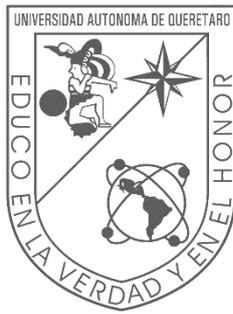


Desarrollo de un recubrimiento comestible antimicrobiano a base de mucílago de nopal, pectinas de naranja y aceite esencial de naranja.

Mora-Palma, R. M.

2021



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Maestría en Diseño e Innovación

**Desarrollo de un recubrimiento comestible antimicrobiano
a base de mucílago de nopal, pectinas de naranja y aceite
esencial de naranja**

Tesis

Que como parte de los requisitos obtener el Grado de
Maestra en Diseño e Innovación

Presenta:

Ing. Roberta Magnolia Mora Palma

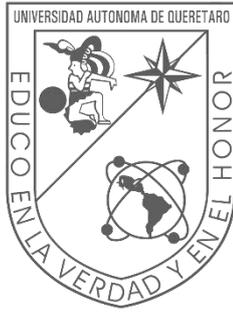
Dirigido por:

Dra. Margarita Contreras Padilla

Co-dirigido por:

Dra. Ana Angélica Feregrino Pérez

Querétaro, Qro. Diciembre, 2021.



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Maestría en Diseño e Innovación

Desarrollo de un recubrimiento comestible antimicrobiano a base de mucílago de nopal, pectinas de naranja y aceite esencial de naranja

Tesis

Que como parte de los requisitos obtener el Grado de
Maestra en Diseño e Innovación

Presenta:

Ing. Roberta Magnolia Mora Palma

Dirigido por:

Dra. Margarita Contreras Padilla

Co-dirigido por:

Dra. Ana Angélica Feregrino Pérez

Dra. Margarita Contreras Padilla
Presidente

Dra. Ana Angélica Feregrino Pérez
Secretario

Dra. Marcela Gaytán Martínez
Vocal

Dr. Mario Rodríguez García
Suplente

Dr. Juan Fernando García Trejo
Suplente

Centro Universitario, Querétaro, Qro.
Diciembre, 2021.
México

Dedicatorias

A mi solecito, Roberto Moisés.

Gracias hijo por acompañarme en esta etapa importante de mi vida.

Te admiro tanto por ser tan valiente y por acompañarme a cumplir este sueño.

Este triunfo te lo dedico a ti.

¡Te amo!

Dirección General de Bibliotecas UAQ

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para realizar este posgrado.

A la Universidad Autónoma de Querétaro, por ser mi casa de estudios y por darme tanto en estos dos años de posgrado.

Al CAIDEP por abrirme sus puertas para trabajar en este proyecto, así como para tomar unas clases grupales dentro de su espacio.

Gracias FONDEC-UAQ por la financiación para llevar a cabo este proyecto.

Gracias Roberto Moisés, por acompañarme a cumplir esta meta, que es de los 2 ahora. Gracias por levantarte cada mañana conmigo e ir a la universidad. Disculpa por siempre traerte a las carreras. Gracias por acompañarme en algunas clases y por ser un niño bien portado y comprensivo. Gracias por entender y aceptar que mamá tenía que estudiar y trabajar en el laboratorio.

A mi familia por apoyarme para cumplir esta meta, por creer y confiar en mí, por estar presente en cada paso que he dado. Infinitas gracias, los amo. Mamá gracias por ser mi pilar de cada día, por confiar en mí y por acompañarme en esta etapa; a pesar de la distancia nunca me sentí sola porque siempre estuviste pendiente de mí y presente en todo momento. Papá, gracias por seguir apostando por mí, por tu apoyo incondicional, por confiar en que lograría esta meta, a pesar de tus dudas y miedos, puedo decirte que estés tranquilo. Espero estés orgulloso de mí.

Karina, César, Humberto, Heriberto, Oscar, Mary y Rosy, gracias por estar presente en cada paso y por apoyarme de una y mil maneras. Los quiero mucho.

Salvador, gracias por llegar a alentarme aún más, por acompañarme en mi vuelo, gracias por tu cariño y apoyo.

A Fátima Ledesma y familia. Agradezco, valoro y aprecio mucho que hayas estado con nosotros durante mi etapa de posgrado; tanto mi hijo como yo, estamos agradecidos por el cariño y apoyo brindado.

Dra Margarita: mil gracias por seguir confiando en mí, por creer que era capaz de lograr esto y muchas cosas más. Gracias por el compromiso con este proyecto y por apoyarme tanto en esta etapa.

Doctor Mario, gracias por aceptarme un período de tiempo como estudiante de estancia. Gracias por comprometerse con el proyecto y por impulsarme a ir por más.

Dra Angélica Feregrino: gracias por brindarme capacitación para realizar algunas pruebas, así como confiar en mí en todo momento y por estar presente y dispuesta para apoyar en lo que pudiera.

Dra. Marcela gracias por su apoyo y por aceptar ser mi sinodal, es un honor que me acompañe en esta etapa.

Dr. Fernando muchas gracias por formar parte de mi sínodo y por apoyarme en el desarrollo de este proyecto.

CFATA-UNAM gracias por abrirme las puertas y permitir que se llevara a cabo parte importante de este proyecto.

Laboratorio de Metabolitos y Nanocompositos, del campus Aeropuerto, UAQ. Gracias por permitirme realizar pruebas importantes que definirían los siguientes pasos de este proyecto.

Maestra Verónica Garfías, por su aportación y por su apoyo en el desarrollo de etiqueta y marca del producto realizado.

Guanda y Edgar, por su apoyo incondicional durante mi estancia en el CAIDEP. Son geniales.

A mi grupo en general. Chicos estoy eternamente agradecida por compartir más de 2 años esta experiencia con ustedes. Siempre me sentí apoyada por ustedes, gracias por el cariño hacia mí y hacia mi hijo. Espero poder compartir más momentos y experiencias con ustedes. Los quiero.

Porfirio Esau, por el compromiso con la etapa final del proyecto. Gracias por capacitarme para realizar los estudios necesarios dentro de CFATA. Eres una persona ejemplar y un profesionalista digno de admirar, gracias, por tanto.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

Índice General	Página
Dedicatorias	3
Agradecimientos	4
Índice general	7
Índice de tablas	12
Índice de figuras	13
Abreviaturas y siglas	17
Resumen	18
Abstract	19
I. Introducción	20
II. Revisión de literatura	22
2.1 Recubrimientos comestibles	22
2.1.1 Definición de recubrimientos comestibles	22
2.1.2 Propiedades de los recubrimientos comestibles	22
2.1.3 Componentes de los recubrimientos comestibles	23
2.1.3.1 <i>Polisacáridos</i>	23
2.1.3.2 <i>Proteínas</i>	24
2.1.3.3 <i>Lípidos</i>	24
2.1.3.4 <i>Compuestos</i>	25
2.1.3.5 <i>Aditivos</i>	26
2.1.4 Investigaciones de aplicaciones de recubrimientos comestibles	26
2.2 Innovación en alimentos	28
2.2.1 Tendencias de innovación en alimentos	28
2.2.2 Preferencias del consumidor	29
2.2.3 Nuevos productos para poscosecha	30
2.2.4 Recubrimientos comestibles como innovación	31
2.2.5 Valorización de subproductos de la agroindustria para uso en recubrimientos comestibles	31

2.2.6	Mucílago de nopal, pectinas y aceite esencial de naranja como oportunidad para desarrollar un recubrimiento comestible	33
2.3	Generalidades del nopal	34
2.3.1	Origen y distribución del nopal	34
2.3.2	Importancia histórica del nopal	35
2.3.3	Importancia económica del nopal en México	36
2.3.4	Taxonomía y descripción botánica del nopal	38
2.3.5	Usos del nopal	40
2.3.6	Mucílago de nopal	41
2.3.7	Usos del mucílago de nopal	41
2.4	Generalidades de la naranja	42
2.4.1	Origen y distribución de la naranja	42
2.4.2	Importancia económica de la naranja en México	43
2.4.3	Taxonomía y descripción botánica de la naranja	44
2.4.4	Usos de la naranja	45
2.4.5	Residuos de cáscara de naranja	45
2.4.6	Pectina de naranja	45
2.4.7	Usos de la pectina de naranja	46
2.4.8	Aceite esencial de naranja	46
2.4.9	Usos del aceite esencial de naranja	46
2.5	Generalidades de la fresa	47
2.5.1	Descripción de la fresa	47
2.5.2	Importancia económica de la fresa	47
2.5.3	Requerimientos de calidad de la fresa en el mercado	48
2.5.4	Factores que afectan la calidad de la fresa en el mercado	48
III.	Hipótesis	50
3.1	Hipótesis estadísticas	50
IV.	Objetivos	51
4.1	Objetivo general	51

4.2	Objetivos particulares	51
V.	Metodología	52
5.1	Metodologías aplicadas a este proyecto	52
5.2	Cuadro metodológico experimental	53
5.3	Cuestionario percepción de calidad de los consumidores	54
5.4	Materiales y métodos	54
5.4.1	Nopal	54
5.4.2	Cáscaras de naranja	55
5.4.3	Fresa	55
5.5	Extracción componentes	56
5.5.1	Extracción mucílago de nopal	56
5.5.2	Extracción pectinas de naranja	57
5.6	Aplicación de prototipo de recubrimiento sobre fresa	58
5.7	Diseño de formulaciones para películas	59
5.7.1	Preparación de la suspensión para formación de películas comestibles	60
5.7.2	Formación de películas comestibles	61
5.8	Caracterización de películas comestibles	61
5.8.1	Espesor	61
5.8.2	Color	62
5.8.3	Transparencia	62
5.8.4	Espectroscopia infrarroja	63
5.8.5	Capacidad antimicrobiana	63
5.8.6	Permeabilidad al vapor de agua	64
5.9	Aplicación del recubrimiento comestible sobre fresa	68
5.9.1	Preparación de la suspensión	68
5.9.2	Aplicación del recubrimiento sobre fresa	68
5.10	Parámetros de calidad	69
5.10.1	Inspección visual	69
5.10.2	Pérdida de peso	69
5.10.3	Color	70

5.10.4 Sólidos solubles totales	71
5.10.5 pH	71
5.10.6 Acidez titulable	72
5.11 Determinación vida útil del recubrimiento envasado	72
5.11.1 Selección de envase para caracterización del recubrimiento	73
5.11.2 Viscosidad	74
5.11.3 pH	74
5.11.4 Color	74
5.12 Análisis estadístico	75
5.13 Diseño de etiqueta y marca del producto	75
5.14 Evaluación de la viabilidad financiera del proyecto	76
VI. Resultados y discusión	77
6.1 Percepción de calidad	77
6.1.1 Descripción de los participantes del cuestionario	77
6.1.2 Importancia a los atributos de calidad de frutas y verduras	79
6.1.3 Productos a granel como mejor opción de compra	81
6.2 Efecto de la aplicación del prototipo de recubrimiento en fresa	82
6.2.1 Pérdida de peso	82
6.2.2 Apariencia visual	83
6.3 Caracterización de películas comestibles	85
6.3.1 Espesor	85
6.3.2 Color	87
6.3.2.1 <i>Croma</i>	87
6.3.2.2 <i>Tono</i>	89
6.3.2.3 <i>Luminosidad</i>	90
6.3.3 Transparencia	91
6.3.4 Espectroscopia infrarroja	94
6.3.5 Capacidad antimicrobiana	95
6.3.6 Permeabilidad al vapor de agua	97

6.4	Efecto de la aplicación del recubrimiento en fresa	98
6.4.1	Apariencia visual	98
6.4.2	Pérdida de peso	99
6.4.3	Color	100
6.4.3.1	<i>Luminosidad</i>	100
6.4.3.2	<i>Croma</i>	101
6.4.3.3	<i>Tono</i>	102
6.4.4	Sólidos solubles totales	103
6.4.5	pH	104
6.4.6	Acidez titulable	105
6.5	Determinación vida útil del recubrimiento	106
6.5.1	Viscosidad	106
6.5.2	pH	107
6.5.3	Color	108
6.5.3.1	<i>Luminosidad</i>	108
6.5.3.2	<i>Croma</i>	109
6.5.3.3	<i>Tono</i>	110
6.6	Selección envase prototipo comercial	111
6.7	Diseño de marca y etiqueta del producto	112
6.7.1	Propuesta de nombre	112
6.7.2	Propuesta de etiqueta	113
6.8	Viabilidad financiera	114
VII.	Conclusiones	115
VIII.	Referencias	116
IX.	Anexos	127

Índice de Tablas	Página
Tabla 1. Estudios de RC en distintos productos hortofrutícolas	26
Tabla 2. Taxonomía del nopal	38
Tabla 3. Taxonomía del naranjo	44
Tabla 4. Tratamientos aplicados a fresa	58
Tabla 5. Formulaciones para la preparación de películas	60
Tabla 6. Tratamientos utilizados para determinar capacidad antimicrobiana	64
Tabla 7. Análisis varianza factorial para espesor	86
Tabla 8. Comparación de medias por Tukey para espesor	83
Tabla 9. Análisis de varianza para croma	89
Tabla 10. Comparación de medias por Tukey para croma	89
Tabla 11. Análisis de varianza para transparencia	92
Tabla 12. Comparación de medias por Tukey para transparencia	93
Tabla 13. Análisis de costo por unidad producida.	114
Tabla 14. Análisis de costo final del producto	114

Índice de Figuras	Página
Figura 1. Producción de nopalitas en México en 2018	37
Figura 2. Producción de nopal forrajero en México en 2018	38
Figura 3. Producción de naranja en México en el 2018	43
Figura 4. Diagrama de la combinación de metodologías	52
Figura 5. Etapas en la metodología del proyecto	54
Figura 6. Recolección de pencas de nopal	55
Figura 7. Cáscara de naranja limpia	55
Figura 8. a) Selección de fresas. b) Lavado de fresas.	56
Figura 9. a) Cortado del nopal. b) Secado del nopal.	56
Figura 10. a) Separación de la fases soluble e insoluble del nopal. b) Precipitación con etanol.	57
Figura 11. Sólidos granulares de mucílago de nopal	57
Figura 12. a) Hidrolisis. b) Extracto acuoso. c) Precipitación con etanol.	58
Figura 13. a) Aplicación recubrimiento en fresa. b) Secado de las fresas. c) Almacenamiento de las fresas.	59
Figura 14. Formulaciones para elaboración de películas	61
Figura 15. Películas formadas	61
Figura 16. Micrómetro digital y película comestible	62
Figura 17. Espectrofotómetro <i>Spectrum two</i>	63
Figura 18. Diagrama esquemático de los componentes del sistema implementado	65
Figura 19. Sistema fotoacústico empleado para determinar PVA	66

Figura 20.	a) Inmersión en recubrimiento. b) Secado de las fresas.	68
Figura 21.	Almacenamiento de las fresas	69
Figura 22.	Determinación de peso de las fresas	70
Figura 23.	Determinación de color de las fresas	70
Figura 24.	Determinación de sólidos solubles totales	71
Figura 25.	Potenciómetro usado para determinación de pH	72
Figura 26.	Determinación acidez titulable	72
Figura 27.	Envase para el recubrimiento comestible	74
Figura 28.	Determinación viscosidad del recubrimiento	74
Figura 29.	Determinación de color del recubrimiento	75
Figura 30.	Edad de los participantes del cuestionario	77
Figura 31.	Sexo de los participantes del cuestionario	78
Figura 32.	Escolaridad cursada de los participantes del cuestionario	78
Figura 33.	Importancia de los atributos de calidad de frutas y verduras	79
Figura 34.	Porcentaje de personas que están de acuerdo con compras a granel	80
Figura 35.	Importancia que dan hombres y mujeres a los atributos de calidad de frutas y verduras	81
Figura 36.	Nivel de acuerdo de productos a granel mejor opción que productos con empaque	82
Figura 37.	Pérdida de peso de fresas recubiertas y sin recubrir	83

Figura 38.	Apariencia visual de las fresas al día 1 y día 7 de almacenamiento	84
Figura 39.	Película adherida a la estructura soporte	85
Figura 40.	Intervalos del espesor vs tratamiento (formulación)	86
Figura 41.	Intervalos de croma vs tratamiento (formulación)	88
Figura 42.	Intervalos de Hue vs tratamiento (formulación)	90
Figura 43.	Intervalos de luminosidad vs tratamiento (formulación)	91
Figura 44.	Intervalos de transparencia vs tratamiento (formulación)	92
Figura 45.	Espectro de FT-IR para las películas	94
Figura 46.	Intervalo del halo de inhibición de <i>Salmonella</i> y <i>E. coli</i> respecto a la concentración en la suspensión formadora de recubrimiento	96
Figura 47.	Permeabilidad de agua de la película seleccionada	97
Figura 48.	Apariencia visual de fresas con recubrimiento y fresas control	98
Figura 49.	Efecto en la pérdida de peso en fresas con y sin recubrimiento	99
Figura 50.	Efecto en luminosidad de fresas con y sin recubrimiento.	101
Figura 51.	Efecto del croma en fresas con y sin recubrimiento	101
Figura 52.	Efecto en Hue de fresas con recubrimiento y fresas control	102
Figura 53.	Espacio de color Hunter Lab	103

Figura 54.	Sólidos solubles totales de fresas con recubrimiento y fresas control	104
Figura 55.	pH en fresas con recubrimiento y fresas control	105
Figura 56.	Interacciones en fresas con recubrimiento y fresas control	105
Figura 57.	Viscosidad (cP) del recubrimiento envasado	107
Figura 58.	pH del recubrimiento envasado	108
Figura 59.	Luminosidad del recubrimiento envasado	109
Figura 60.	Croma del recubrimiento envasado	109
Figura 61.	Hue del recubrimiento envasado	110
Figura 62.	Envase polietileno alta densidad	111
Figura 63.	Propuesta de nombre del recubrimiento	112
Figura 64.	Etiqueta producto comercial	113

Abreviaturas y Siglas

AOAC	Internacional (Asociación de Químicos Analíticos Oficiales)
CO₂	Dióxido de Carbono
FAO	Food and Agricultural Organization
HPMC	Hidroxipropilmetilcelulosa
HR	Humedad Relativa
IR	Infrarrojo
mV	miliVolts
O₂	Oxígeno
PC	Películas Comestibles
PVA	Permeabilidad al Vapor de Agua
RC	Recubrimientos Comestibles
SADER	Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural
SAGARPA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Ahora SADER)
SIAP	Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera
V	Volts

Resumen

Hoy en día, existe un creciente interés por diseñar materiales que sustituyan al plástico, que sean biodegradables, seguros y que ayuden a extender la vida de anaquel de los alimentos. Se han estudiado diversos materiales para ser aplicadas como recubrimientos comestibles y así extender la vida de anaquel de productos hortofrutícolas. En el presente trabajo se llevó a cabo el diseño y caracterización de películas hechas a base de mucílago, pectinas y aceite esencial de naranja, para su aplicación como recubrimiento comestible. Se encontró que la concentración de pectinas afecta de manera significativa, el espesor, color, transparencia en las películas comestibles. Además, se encontró que la concentración de aceite esencial de naranja tiene efecto antimicrobiano sobre algunas bacterias de interés en la inocuidad de alimentos. Se seleccionó la formulación de 0.5% mucílago-0.25% pectina-0.5% aceite esencial de naranja. En las pruebas de permeabilidad al vapor de agua se observó que la película seleccionada para ser aplicada como recubrimiento comestible tiene una baja permeabilidad al agua. Esta formulación fue aplicada como recubrimiento comestible a fresa. Las fresas se almacenaron durante 18 días y se evaluaron 2 días por semana sus parámetros de calidad. Se evaluaron las propiedades de viscosidad, pH y color para el recubrimiento comestible en envase durante 28 días, a 3 diferentes temperaturas (10, 30 y 40 °C). La película seleccionada para ser aplicada como recubrimiento comestible mostró baja permeabilidad al vapor de agua. El recubrimiento comestible aplicado sobre fresa no tuvo efecto significativo sobre sólidos solubles totales, pérdida de peso y pH. Sin embargo, este recubrimiento tiene efecto positivo sobre acidez titulable y color, debido a que las fresas se mantuvieron de un color rojo claro, mostraron retener mayor ácido cítrico y mantener la apariencia visual aceptable en fresa. La temperatura tiene un efecto sobre la viscosidad del recubrimiento envasado y el color se ve afectado por el tiempo de almacenamiento. Finalmente se diseñó la marca del producto, la etiqueta y ficha técnica del recubrimiento comestible para su presentación de 1 L. También se determinó el costo de venta del recubrimiento que indica que es competitivo el producto desarrollado.

Palabras clave: *recubrimiento comestible, vida de anaquel, mucílago, pectinas.*

Abstract

Nowadays, there is a growing interest for designing materials that: replace plastic, be biodegradable, be safety and help to extend the food shelf life. Various materials like edible films have been studied for their application as edible coating over fruit and vegetable products and in this way extend their shelf life. In the present work was carried out the design and characterization films based on mucilage, pectin and orange essential oil, for their application as edible coating over strawberry. It was found that pectin affects significantly the thickness, color and transparency of edible films. In addition, orange essential oil added to the film-forming mixed has an antimicrobial effect on some bacteria of interest in food safety. The formulation selected was the one that contained 0.5% mucilage-0.25% pectin-0.5% orange essential oil. This formulation showed a low thickness, a low transparency, better color and a best antimicrobial capacity. In the water vapor permeability test, it was observed that the film to be applied as an edible coating, over strawberry, has a low water permeability. The strawberry (with and without edible coating) were stored for 18 days and the quality parameters were evaluated 2 days per week. The properties evaluated of packaged coating, were: viscosity, pH and color, during 28 days, one day per week, at three different temperatures (10, 30 and 40 °C). The films selected to be applied as edible coating showed to have low water vapor permeability. The edible coating applied over strawberry has no significant effect on total soluble solids, weight loss and pH. However, this edible coating has a significant positive effect on titratable acidity and color of the strawberry. In addition, the coated strawberries showed a better visual appearance than the control strawberries, due to they showed more firmness and a more striking red color. Temperature has a significant effect on the viscosity of the packaged coating; however, color is affected by storage time. Finally, the brand and label of the product were designed for its presentation of 1 L. The cost of sale was determined which indicates that this product is competitive.

Key words: *edible coating, shelf life, mucilage, pectins.*

I. Introducción

A través de la historia y de los cambios necesarios de una moderna sociedad, los envases han jugado diferentes e importantes papeles, cubriendo nuevos requisitos y características (Solano-Doblado *et al.*, 2018). Actualmente, el plástico es uno de los materiales más utilizados por la industria alimentaria para el envasado y almacenado de los alimentos. Sin embargo, se ha convertido en el enemigo número uno de la población mundial, dada su alta acumulación y su baja tasa de reciclaje. Aunque se han implantado medidas para ser reciclados, muchos de estos materiales no pueden ser reutilizados, por lo que, dada la situación crítica en la que nos encontramos, los esfuerzos están siendo orientados hacia la reducción de su uso y no en disposiciones para su reutilización. En base a ello y a la preocupación creciente del consumidor por esta problemática, la industria alimentaria está buscando nuevas alternativas para reducir el uso del plástico e, incluso, de sustituir este material en la medida posible (Innofood, 2019).

Otro problema en la actualidad es la pérdida y desperdicio de alimentos al año. En América Latina se pierden o desperdician hasta 127 millones de toneladas de alimentos al año, de los cuales el 55 % corresponden a frutas y hortalizas (FAO, 2016). Las pérdidas poscosecha ocurren en cualquier etapa del proceso de mercadeo, se pueden iniciar durante la cosecha, después durante el almacenamiento, distribución y finalmente cuando el consumidor compra y utiliza el producto (FAO, 1989). En México se desperdicia el 37% de los alimentos que se producen, que son aproximadamente 10 millones 431 mil toneladas de alimentos al año (Índice de Desperdicio de Alimentos en México, 2013).

Los recubrimientos comestibles, hoy en día, son una tecnología encaminada a reducir las pérdidas poscosecha, ya que tienen como objetivo extender la vida de anaquel de los alimentos al mantener la calidad, generar valor agregado y direccionarlos de acuerdo con las necesidades y gustos del consumidor (Quintero *et al.*, 2010). Además, los recubrimientos comestibles son considerados una tecnología prometedora y respetuosa con el medio ambiente, al reducir la utilización del envasado tradicional como films plásticos; ya que son

biopolímeros naturales y biodegradables, es decir, pueden ser obtenidos a partir de recursos naturales o extraídos a partir de los subproductos de las agroindustrias (Elsabee y Abdou, 2013), son susceptibles a la degradación por la exposición de distintos factores del medio ambiente, que pueden ser tanto de naturaleza aeróbica como anaeróbica (Escobar *et al.*, 2009), y son envases activos al incorporarse en su matriz polimérica aditivos naturales con propiedades antimicrobianas y antioxidantes (Begoña *et al.*, 2015).

Por lo anterior mencionado el propósito de este proyecto fue el desarrollo de un recubrimiento comestible antimicrobiano y biodegradable a base de mucílago de nopal, pectinas de naranja y aceite esencial de naranja para aplicarlo a un producto hortofrutícola con el fin de extender su vida de anaquel.

II. Revisión de literatura

2.1 Recubrimientos comestibles

2.1.1 Definición de recubrimientos comestibles

Se considera película o recubrimiento, cualquier tipo de material usado para envolver varios alimentos con el objetivo de prolongar su vida de anaquel y pueden ser consumidos junto con el alimento, además pueden proporcionar esterilidad superficial y prevenir pérdidas de otros componentes importantes. Generalmente su espesor es menor que 0.3 mm (Pavlath y Orts, 2009).

Un recubrimiento comestible (RC) es definido como una capa delgada de material comestible formado por un revestimiento sobre el alimento, mientras que una película comestible (PC) es una capa preformada y delgada elaborada con material comestible y a la cual a su vez elaborada puede ser colocada sobre el alimento o entre los componentes de este (McHugh, 2000).

2.1.2 Propiedades de los recubrimientos comestibles

Algunas de sus funciones son proteger el producto de daños mecánicos, actividades físicas, químicas y microbiológicas. Su uso en aplicaciones alimentarias y especialmente en productos altamente perecederos, como los hortícolas, se basa en algunas propiedades particulares como el costo, la disponibilidad, los atributos funcionales, las propiedades mecánicas (flexibilidad, tensión), las propiedades ópticas (brillo y opacidad), el efecto de barrera contra flujo de gases, resistencia estructural al agua y microorganismos y aceptabilidad sensorial (Falguera *et al.*, 2011).

Las características funcionales importantes dependerían de la aplicación particular al producto alimenticio y de su modo primario de deterioro (Kester y Fennema, 1986):

- ✓ Retardan la migración de humedad.
- ✓ Retardan el transporte de gases (O_2 y CO_2).
- ✓ Retardan la migración de grasas y aceites.
- ✓ Retardan el transporte de solutos.
- ✓ Mejoran las propiedades mecánicas y de manejo del alimento.

- ✓ Imparten integridad adicional a la estructura de los alimentos.
- ✓ Retienen compuestos volátiles de aroma.
- ✓ Contienen aditivos alimentarios.

2.1.3 Componentes de los recubrimientos comestibles

Los principales componentes de las películas y recubrimientos comestibles pueden clasificarse, básicamente, en tres categorías principales; hidrocoloides (polisacáridos y proteínas), lípidos y mezclas o combinaciones de las dos anteriores. Las propiedades de cada PC y cada RC dependerán del tipo de material con el que estén elaboradas (Baldwin y Hagenmaier, 2012; Tharanathan, 2003). Además, la adición de aceites esenciales tiene como función proporcionar al recubrimiento actividad antimicrobiana (Ramos-García, 2010).

2.1.3.1 Polisacáridos

Los polisacáridos son cadenas largas lineales o ramificadas formadas por unidades glucosídicas, aunque también pueden contener unidades de fructano, entre otras. Además, poseen grupos hidroxilo por lo que son capaces de formar puentes de hidrógeno con el agua y en consecuencia hidratarse y disolverse total o parcialmente haciendo que la viscosidad de la fase acuosa aumente o inclusive se dé la formación de un gel (Gijón-Arreortúa, 2010).

Los recubrimientos hechos a base de polisacáridos han sido los más utilizados para recubrir frutos, y esto debido a sus propiedades mecánicas de adherencia y flexibilidad en la superficie en los productos hortofrutícolas, muestran mejores propiedades de barrera a los gases, aunque tienen alta permeabilidad al vapor de agua (Meza, 2006; Oms-Oliu *et al.*, 2008; Sothornvit y Rodsamran; 2008). Además, estos recubrimientos tienen ciertas ventajas potenciales, no son grasosos, son películas de bajas calorías y pueden emplearse para extender la vida de anaquel de frutas y hortalizas sin alto riesgo de desarrollar condiciones de anaerobiosis, por lo que su aplicación en la agricultura se ha vuelto popular debido a sus propiedades para modificar la

atmósfera interna de una manera similar a las atmósferas controladas (Bósquez, 2003).

Dentro de los polisacáridos que han sido probados, para ser usados en películas y recubrimientos comestibles, se incluyen derivados de celulosa, almidón y sus derivados, quitosano, carrageninas, pectinas, alginatos y gomas como el agar de algas marinas y el mucílago de nopal, entre otros (Del-Valle *et al.*, 2005; Abraján-Villaseñor, 2008; Zapata *et al.*, 2008; May-Gutiérrez, 2009; Espino-Díaz *et al.*, 2010; Soliva-Fortuny *et al.*, 2012).

2.1.3.2 Proteínas

Las PC y RC a base de proteínas proveen una buena barrera a gases como el O₂ y el CO₂, pero con barreras más débiles al vapor de agua por su naturaleza hidrofílica, tienen una gran susceptibilidad a los cambios de pH y pueden proporcionar un valor nutricional agregado, además de poseer buenas propiedades mecánicas (Baldwin *et al.*, 1995; Tharanathan, 2003; Baldwin y Hagenmaier, 2012).

La capacidad de diferentes proteínas para formar recubrimientos depende de su peso molecular, conformaciones, propiedades eléctricas y estabilidad térmica. Las proteínas de leche son la fuente más común para obtener recubrimientos (Campos *et al.*, 2011).

Las proteínas utilizadas para la formación de películas y recubrimientos son derivadas de diferentes fuentes de animales y plantas, tales como tejidos de animales, leche, huevo, granos y oleaginosas (Han y Gennadios, 2005; Vargas *et al.*, 2008). Las proteínas más comunes para elaborar PC y RC son caseínas, colágeno, gelatina (grentina), proteínas de leche y derivadas de cereales, entre otras.

2.1.3.3 Lípidos

Los recubrimientos a base de lípidos son muy eficientes para reducir la deshidratación de los productos debido a su baja polaridad y presentan una escasa permeabilidad al vapor de agua (Kester y Fennema, 1986). Las PC y RC preparadas con lípidos, debido a su naturaleza hidrofóbica, tienen una baja

afinidad al agua lo que les confiere buenas propiedades de barrera al vapor de agua. Además, conforme aumenta la polaridad, ramificación e insaturación en ellos, su permeabilidad a vapor de agua se incrementa. Las películas a base de estos compuestos son relativamente inflexibles, gruesas y con pobres propiedades mecánicas, debido a su naturaleza hidrofóbica, aunque en ciertas ocasiones son más brillantes. Asimismo, los lípidos y las ceras tienden a ser más permeables a gases (Baldwin y Hagenmaier, 2012).

Existe una amplia lista de compuestos lipídicos usados para la elaboración de PC y RC, la cual incluye lípidos neutros o triglicéridos, ácidos grasos y resinas, entre otros. Dentro de los compuestos hidrofóbicos más utilizados, se encuentran las ceras de origen animal (de abeja, de grasa de lana y lanolina), vegetal (carnuba, laurel y candelilla, entre otras), sintéticas, (ésteres, amidas, etc.) y minerales (Andrade *et al.*, 2014; Rhim y Shellhammer, 2005; Kester y Fennema, 1986).

2.1.3.4 Compuestos

Las PC y RC pueden producirse a partir de la mezcla de polisacáridos, proteínas y/o lípidos, lo que permite aprovechar las características funcionales distintas de cada compuesto, además de disminuir las ventajas de cada uno (Kester y Fennema, 1986). Algunas de las combinaciones que se utilizan son: proteínas y polisacáridos, proteínas y lípidos, carbohidratos y lípidos.

El principal objetivo al hacer estas combinaciones es mejorar las propiedades mecánicas y de permeabilidad a gases y/o vapor de agua. Las películas son aplicadas en forma de emulsión, suspensión o dispersión de los constituyentes no miscibles o en capas sucesivas (películas y/o recubrimientos multicapa) en la forma de solución en un solvente común. En recubrimientos compuestos el lípido puede estar emulsionado en la matriz del hidrocoloide, formando lo que se denomina recubrimientos emulsionados o separados de la matriz hidrocoloide formando doble capa, lo que se denomina recubrimiento bicapa (Navarro-Tarzaga, 2007). El método de aplicación influye de manera considerable en sus propiedades de barrera (Bourtoom, 2008).

2.1.3.5 Aditivos

Además de los componentes principales, existen varios materiales que se pueden incorporar a las PC Y RC para ayudar a modificar, principalmente, sus propiedades mecánicas, de barrera, sensorial y su funcionalidad en general. Los recubrimientos se pueden utilizar como vehículo de aditivos, los cuales pueden proporcionar al producto vegetal funciones más específicas como una actividad antimicrobiana, para evitar o reducir el crecimiento de microorganismos en su superficie (Rodríguez *et al.*, 2005). Pueden ser plastificantes, emulsionantes o compuestos antimicrobianos.

2.1.4 Investigaciones de aplicaciones de recubrimientos comestibles

Diversas investigaciones se han centrado en estudiar diferentes compuestos, principalmente de origen natural, para aplicarlos como recubrimientos comestibles en diversas frutas y hortalizas. Algunas de estas investigaciones se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Estudios de RC en distintos productos hortofrutícolas

Referencia	Producto	Recubrimiento	Efecto
Aguilar-Mendez, 2005	Aguacate	Almidón y glicerol	✓ Disminuir pérdida de peso y firmeza ✓ Ralentizar cambio de color
Zapata et al., 2008	Tomate	Alginato y glicerol Zeína y ácido oleico	✓ Ralentizar la tasa de respiración y la producción de etileno. ✓ Disminuir el cambio de color y la pérdida de firmeza.
García et al., 2009	Pimiento	Quitosano y ácido láctico	✓ Disminuir la pérdida de peso y firmeza. ✓ Actividad antifúngica. ✓ Mejorar el brillo y apariencia del producto
Andrade et al, 2014	Tomate de árbol	Cera de laurel, aceite de oliva, Tween 80, propilenglicol, glicerol y glucosa.	✓ Disminuir la pérdida de peso y firmeza. ✓ Ralentizar la tasa de respiración.

			<ul style="list-style-type: none"> ✓ Mejorar el brillo y la apariencia del producto.
Ghidelli et al., 2014	Berenjena fresca cortada	Proteína de soya y cisteína	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Reducir el pardeamiento enzimático. ✓ Mantener firmeza y calidad visual.
Ordoñez-Bolaños et al., 2014	Pimiento	Almidón de yuca y aceite de tomillo	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Disminuir la pérdida de peso, firmeza y cambio de color.
Salinas-Salazar, 2014	Ciruela	Mucílago de nopal, grenetina y cera de abeja	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Disminuir la pérdida de peso y firmeza. ✓ Mejorar el brillo y apariencia del producto.
Ghidelli et al., 2015	Alcachofa	Proteína de soya y cisteína	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Reducir el pardeamiento enzimático. ✓ Mantener la actividad antioxidante del fruto.
Guerreiro et al., 2015	Madroño	Alginato, ácido ascórbico, geranial y eugenol	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Reducir daño microbiano. ✓ Conservar apariencia, textura, aroma y sabor.
Allegra et al., 2016	Kiwi (en rebanadas)	Mucilago de nopal y glicerol	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Disminuir la pérdida de firmeza y de peso. ✓ Mantener calidad visual y sabor. ✓ Mantener contenido de ácido ascórbico y pectina.
Morerira et al. 2016	Manzanas frescas cortadas	Pectina, extracto de fibra de manzana, glicerol + Tratamiento de luz pulsada	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Inhibir el crecimiento de microorganismos en las frutas cortadas.
Allegra et al., 2017	Higo	Mucilago de nopal	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Disminuir la pérdida de peso. ✓ Mantener el brillo, apariencia visual y firmeza. ✓ Reducir el crecimiento de <i>Enterobacteriaceae</i>. ✓ Reducir transpiración.
Alves et al., 2017	Manzanas frescas cortadas	Proteína de soya, glicerol y ácido ferúlico.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Disminuir la pérdida de peso y firmeza. ✓ Mantiene el color de las manzanas cortadas.
Ali et al. 2019	Litchi	Aloe vera	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Reducir pardeamiento enzimático.

			✓ Disminuir pérdida de peso.
Maftoonazad <i>et al.</i> , 2019	Lima	Pectina comercial y sorbitol	✓ Ralentizar la tasa de respiración. ✓ Disminuir la pérdida de peso, cambio de color y la pérdida ácido ascórbico.

Fuente: Elaboración propia

2.2 Innovación en alimentos

2.2.1 Tendencias de innovación en alimentos

La innovación es un tema actualmente presente en todas las áreas del desarrollo, particularmente en la industria de los alimentos. La innovación requiere esfuerzo creativo, audacia, habilidades tecnológicas y/o comerciales (Valenzuela-Bonomo y Valenzuela-Baez, 2015).

De acuerdo con Innofood (2017), las industrias alimentarias buscan continuamente la manera de sorprender, atraer, enganchar y llamar la atención sobre sus productos. Para ello, una de sus principales armas reside en la investigación, el desarrollo y la innovación. Algunas de las características que demandan los consumidores son:

- ✓ Procesos de conservación más prolongada.
- ✓ Alimentos lo más naturales posible.
- ✓ Alimentos “cómodos” o fáciles de preparar.
- ✓ Comidas ligeramente procesadas.
- ✓ Productos sabrosos, saludables y seguro.
- ✓ Precio competitivo.

Las tendencias actuales de investigación e innovación en relación con poscosecha de frutas y hortalizas están marcadas por diferentes partes interesadas que demandan, y por lo tanto justifican, la investigación en este campo. Entre las partes interesadas los consumidores constituyen una parte

fundamental. Una demanda importante de los consumidores en relación con los productos hortícolas es la baja calidad sensorial de los productos que consumen (Valero, 2018). Hoy en día los consumidores prefieren adquirir productos más “naturales”; libres de aditivos sintéticos, saborizantes y colorantes artificiales, libres de productos químicos para su conservación, mínimamente procesados, saludables, eco-amigables y principalmente frescos (Román et al., 2017).

Por esta razón, la colaboración del sector científico con la industria es importante, debido a que en conjunto se pueden aplicar los conocimientos generados para obtener un beneficio económico gracias a la disminución de pérdidas en la producción por el rechazo del producto; mejorando la condición microbiológica y reduciendo riesgos a la salud (Ávila-Vega, 2010).

2.2.2 Preferencias del consumidor

Los consumidores son, cada vez más exigentes y demandan productos de elevada calidad sensorial (Valero, 2018). Hoy en día los consumidores prefieren adquirir productos más “naturales”; libres de aditivos sintéticos, saborizantes y colorantes artificiales, libres de productos químicos para su conservación, mínimamente procesados, saludables, eco-amigables y principalmente frescos (Román et al., 2017); el grado de maduración es un aspecto esencial, así como la conservación de su valor nutritivo (Directorio Poscosecha, 2019). Atributos extrínsecos, como son precio, marca y empaque, no afectan la percepción de calidad por parte de los consumidores. Caso contrario a los factores sensoriales, o atributos intrínsecos, la apariencia visual, el sabor, la frescura, el color, el aroma, la textura, la forma, la calidad nutricional, son atributos importantes para las frutas y verduras (Moser et al., 2011; Schreiner et al., 2013; Demattè et al., 2014). Mientras que, los defectos en algún fruto si es de suma importancia en la actitud del consumidor al momento de compra, ya que está asociado al rechazo del producto (Jaeger et al., 2016).

La investigación en poscosecha, por lo tanto, está encaminada a mejorar aspectos de los productos hortícolas, garantizar su seguridad toxicológica y microbiológica, optimizar su calidad para su llegada al consumidor. Una parte importante de la investigación poscosecha está dirigida a la aplicación de nuevas

tecnologías o la adaptación de las ya conocidas para lograr el objetivo de productos “frescos durante más tiempo” (Valero, 2018). Por otro lado, también las investigaciones se han centrado en la búsqueda de nuevos compuestos que eviten la contaminación de los alimentos (hongos, bacterias y levaduras) durante la manipulación y almacenamiento (Badawy y Rabea, 2009).

2.2.3 Nuevos productos para poscosecha

Hoy en día existe un interés por extender la vida de anaquel de los alimentos, de tal manera que se satisfagan las necesidades del consumidor y además que los productos se posicionen en grandes cadenas de supermercados.

Un ejemplo de estas nuevas tecnologías es “Bluapple”, un dispositivo capaz de absorber el gas etileno, que se desprende naturalmente, en una nevera doméstica común, en un contenedor de producción o en un contenedor de almacenamiento de alimentos durante unos tres meses (después de este tiempo, hay la posibilidad de adquirir paquetes de recarga). Los creadores lo consideran una forma económica e innovadora de reducir los desechos de los alimentos (Alimentación sin desperdicio, 2020).

Otro ejemplo es “Zeo-Eco”, un granulado compuesto a base de ingredientes químicos básicos y orgánicos que tienen la finalidad de alargar la vida de frutas y verduras. La función del producto innovador es absorber el gas etileno, lo que provoca que las frutas y verduras tengan un proceso más lento de maduración y pueda preservarse más tiempo, lo que contribuiría a la mejora de los procesos de distribución agrícola. La idea es ayudar a preservar en el refrigerador las frutas y verduras evitando así el desperdicio del alimento y que también se pueda usar en cajas de exportación agrícola (Moreno Dihort, 2016).

Otro producto es “Edipeel”, creado a partir de extractos de pieles de uva, hojas de fresa y tallos de brócoli. Edipeel es una alternativa natural, invisible, comestible, basada en plantas y genera una alternativa para fungicidas, ceras y conservantes químicos. Edipeel amplía la vida útil de las frutas y verduras para mantener intacto el sabor, la nutrición y la frescura; ayuda a mantener la

humedad dentro, protegiéndola del aire y la actividad microbiana, mejorando drásticamente la vida útil de los productos frescos”. Este producto es capaz de ayudar a los productores y distribuidores a reducir los costos de envío y crear nuevos flujos de ingresos al permitir ofrecer productos de sabor y calidad superiores y obtener ganancias de los productos que de otro modo se habrían perdido con el deterioro. Además, los consumidores también se benefician desperdiciando menos comida y dinero debido al deterioro y llegar a disfrutar de fruta y verduras en su valor nutritivo más alto (Spievak, 2016).

2.2.4 Recubrimientos comestibles como innovación

Las investigaciones, en cuanto a conservación de frutas y hortalizas, se han centrado en desarrollar técnicas amigables con el medio ambiente, que permitan el uso de materiales naturales. Un ejemplo de esto, son los recubrimientos comestibles aplicados sobre frutas y hortalizas, con el fin de extender su vida de anaquel y ofertar productos de apariencia fresca, elevada calidad nutricional y libres de patógenos (Fernández *et al.*, 2017). Además, el creciente interés de los consumidores hacia productos sanos, nutritivos, naturales y que sean beneficiosos para la salud, ha orientado y motivado hacia el desarrollo de películas y recubrimientos comestibles, como alternativa para cubrir estas necesidades (Fernández-Valdés *et al.*, 2015). Aplicar recubrimientos comestibles en frutas y hortalizas a partir de fuentes renovables es una alternativa de investigación de gran alcance, debido a la necesidad del consumo de alimentos saludables, con un mínimo procesamiento y libres de aditivos sintéticos (Vázquez-Briones, 2013).

2.2.5 Valorización de subproductos de la agroindustria para uso en recubrimientos comestibles

La generación de residuos o subproductos agroindustriales en las diferentes etapas de los procesos productivos es actualmente una problemática a nivel mundial, ya que no son procesados o dispuesto adecuadamente, situación que contribuye al proceso de contaminación ambiental (Vargas-Corredor y Pérez-Pérez, 2018), estos productos pueden servir para consumo humano o animal y aplicación industrial (Rojas-Bravo, 2018). Además, cuentan

con un alto potencial para ser aprovechados en diferentes procesos que incluyen elaboración de nuevos productos, agregación de valor a productos originales y recuperación de condiciones ambientales alteradas (Anchundia *et al.*, 2016; Vargas-Corredor y Pérez-Pérez, 2018).

Un ejemplo de estos subproductos son la cáscara de plátano que representa un 30% de peso del fruto, este componente puede ser utilizado para la elaboración de películas y recubrimientos comestibles, por su resistencia a la tensión, baja opacidad, baja solubilidad y bajo espesor (Anchundia *et al.*, 2016).

El quitosano se encuentra principalmente en exoesqueletos (caparazones) de crustáceos, alas de insectos (cucarrones, cucarachas) paredes celulares (hongos y algas) y la industria pesquera generalmente desecha estos exoesqueletos de camarones disponiéndolos como residuos sólidos no aprovechables. Los recubrimientos a partir de quitosano, proveniente del exoesqueleto del camarón, es un excelente compuesto con actividad antimicrobiana, buenas propiedades mecánicas y baja permeabilidad a los gases (Cáceres *et al.*, 2017; Ubaque y Hernández, 2018), son una alternativa para prolongar la vida de anaquel de los alimentos.

Las cáscaras de naranja son residuos generados principalmente por la industria de jugos, debido a su gran volumen de generación y características ocasionan diversos problemas ambientales como la contaminación de suelo y agua. Por tal motivo, la valorización de cáscaras de naranja se ha convertido en un tema de interés para diversas investigaciones; tanto para la extracción de pectina, elaboración de carbón activado (Tovar-Arce, 2017), uso como fuente de generación de calor, biometanización y composta (Siles *et al.*, 2016). La pectina se ha utilizado para la elaboración de recubrimientos comestibles para extender la vida de anaquel de productos hortofrutícolas frescos y mínimamente procesados (Valdés *et al.*, 2015).

El género *Opuntia* (*Nopales*) en México presenta la diversidad genética más amplia y el más alto consumo del mundo (Reyes-Agüero *et al.*, 2005). Las estadísticas disponibles confirman su importancia, la superficie plantada con nopal tunero actual alcanza 53 876 hectáreas, y es el sexto frutal más importante

del país. Se estima que 200 mil familias obtienen ingreso del cultivo del nopal tunero, la producción anual alcanza 428 763 ton/año (Gallegos-Vázquez *et al.*, 2013). Sin embargo, debido a la sobreproducción de nopal que hay en México, este tiene pérdidas poscosecha, ya que un 53.26% de la producción de nopal se pierde y desperdicia (FAO, 2017). El mucílago de nopal se ha usado de manera exitosa, en diversos estudios, en la elaboración de recubrimientos comestibles, aplicados en fresa, guayaba, manzana, ciruela, mora de castilla y naranja (Del-Valle *et al.*, 2005; May-Gutiérrez, 2009; INIFAP, 2012; Salinas-Salazar, 2014; Ramírez *et al.*, 2013; Molina *et al.*, 2019), lo cual resulta un método efectivo para prolongar la vida de anaquel y preservar la calidad poscosecha de los alimentos.

En la industria láctea, los efluentes son caracterizados por desprender un alto grado de contaminante. Especialmente en las queserías, uno de los efluentes que más contaminación genera y no tiene un buen aprovechamiento es el lacteosuero. Una alternativa más viable para solucionar este problema, surge la opción del empleo de películas o recubrimientos comestibles (Gastelo-Gastelo y Neciosup-Burga, 2016).

El aprovechamiento de estos residuos o subproductos de la agroindustria se ha convertido en un tema de gran interés por diversos beneficios ambientales y económicos, que promueven un desarrollo sostenible (Vargas-Corredor y Pérez-Pérez, 2018).

2.2.6 Mucílago de nopal, pectinas y aceite esencial de naranja como oportunidad para desarrollar un recubrimiento comestible

En México, debido a la sobreproducción de nopal, se tienen pérdidas poscosecha importantes, ya que un 53.26% de la producción se pierde y desperdicia (FAO, 2017). En todo el año hay temporadas altas de producción y temporadas bajas; y en los meses que hay sobreproducción el precio del nopal baja considerablemente, por esta razón es importante darle enfoque a la transformación de esta materia prima para darle valor agregado y mejorar los ingresos de los productores (FAO, 2019). Por otra parte, las pencas de nopal,

que actualmente no tienen un valor comercial, pueden ser utilizadas para la obtención de mucílago (Contreras-Padilla *et al.*, 2016).

Las cáscaras de naranja, al salir de la industria, poseen un nivel elevado de materia orgánica y bajo pH, indicadores que demuestran el potencial contaminante que tienen estos residuos (Martínez-Melo *et al.*, 2008) y de ahí la necesidad de emplearlos como materia prima en la producción de diferentes productos de interés nacional (Castro-Maldonado y Sepúlveda-Patiño, 2012), buscando incrementar su “valor agregado” con el proceso de valorización y al mismo tiempo de disminuir el impacto ambiental que estos producen (Tovar-Arce, 2017), por lo tanto pueden ser usadas para la obtención de pectinas y aceite esencial (Cerón-Salazar, 2011).

El mucílago de nopal, la pectina y aceite esencial de naranja han demostrado tener excelentes propiedades para ser utilizados en la elaboración de recubrimientos comestibles (May-Gutiérrez, 2009; Rico *et al.*, 2012; Salinas-Salazar, 2014; Valdés *et al.*, 2015). De esta manera se les da una valorización a los residuos agroindustriales y aprovechamiento a materia prima sin uso comercial.

2.3 Generalidades del nopal

2.3.1 Origen y distribución del nopal

La familia *Cactaceae*, es endémica del continente americano, donde por lo general crece en regiones áridas y semiáridas (Flores-Valdez *et al.*, 1995). México es considerado el centro de origen del nopal y en donde la mayoría de las 104 especies del género *Opuntia* crecen de manera silvestre, de las cuales 60 son endémicas (Labra *et al.*, 2003; Griffith, 2004).

El nombre científico le fue asignado por Tournefort en 1700, por su semejanza con una planta espinosa que crecía en el poblado de Opus en Grecia (Velásquez, 1998; Scheinvar, 1999). Esta especie una vez introducida en España desde México, se distribuyó por toda la cuenca del Mediterráneo. Probablemente los primeros nopales fueron cultivados cerca de Sevilla o Cádiz, puntos terminales de los viajes a las Indias (Barbera, 1999). Es así como

actualmente existen en forma silvestre o cultivada en el sur de España, y en toda la cuenca del Mediterráneo: Francia, Grecia, Italia y Turquía, llegando hasta Israel. Los árabes la llevaron desde España a África, difundiéndose en Argelia, Egipto, Eritrea, Etiopía, Libia, Marruecos y Túnez. Sin embargo, su distribución es aún mayor; en el continente americano, se encuentra desde Canadá a Chile, en Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, Chile, Estados Unidos de América, México, Perú, y Venezuela y varios países de América Central y el Caribe; en otros continentes se encuentra en Angola y Sudáfrica, en Australia y la India, existiendo especies tanto cultivadas como silvestres. En estos países, se encuentra parte de las más de 5 000 millones de hectáreas de zonas áridas y semiáridas del planeta y sus pueblos buscan especies que puedan desarrollarse y prosperar en ese peculiar y restrictivo hábitat (FAO, 2006).

2.3.2 Importancia histórica del nopal

El interés del ser humano por los nopales data de miles de años. Su origen e historia están íntimamente relacionados con las antiguas civilizaciones mesoamericanas, en particular con la cultura azteca. Existen evidencias arqueológicas que permiten afirmar que fueron las poblaciones indígenas en las zonas semiáridas de Mesoamérica las que iniciaron su cultivo de modo formal (Pimienta, 1990).

Los nopales están ligados de modo particular a la historia de México y Mesoamérica, su centro de origen genético; por ejemplo, en el escudo de México figura un águila posada sobre un nopal, un símbolo que ha llegado hasta nuestros días del jeroglífico de la Gran Tenochtitlán y significa sitio del nopal que crece sobre la piedra. Esta era la ciudad de los sacrificios de los náhuatlés, capital del Imperio azteca, hoy ciudad de México, para los que tuvo especial relevancia en la vida económica, social y religiosa (Granados y Castañeda, 1996; Flores-Valdez, 2003).

La evidencia del conocimiento y uso del nopal por los primeros pobladores mexicanos se encuentra en las excavaciones de Tamaulipas y Tehuacán, Puebla, donde se encontraron fosilizadas semillas y cáscaras de tuna, así como

fibras de pencas de nopal, de una antigüedad de siete mil años (Flores-Valdez, 2003).

Los brotes tiernos (nopalitos) de *Opuntia ficus indica* y de otras especies se utilizan, principalmente en México, para la producción de nopal verdura. Para la cría de la cochinilla se destinan tanto *O. ficus indica* como *O. cochenillifera* (*Nopalea cochenillifera*). En Brasil, Chile y México, entre otros, se utiliza primordialmente *Opuntia ficus indica* para la obtención de forraje (Sáenz, 2006).

2.3.3 Importancia económica del nopal en México

En México, la superficie destinada al cultivo de nopalitos en el 2017 alcanzó las 12,731 ha y el volumen exportado por México de nopalitos alcanzó en 2017 su mayor cantidad: 49,663 toneladas. El tamaño que más se comercializa de esta hortaliza es de entre 15 a 20 cm de largo, y con un peso promedio de 100 g por pieza. Una oportunidad para la captación de mayores ingresos por su venta internacional se perfila en la comercialización del vegetal procesado (SIAP, 2018a).

La mayor producción de nopalitos se localiza en la zona centro de México; sin embargo, también se puede aprovechar las condiciones geográficas de Chihuahua, Coahuila y Durango por su implementación. En 2018, la producción de nopalitos en México fue 853,495.23 toneladas, el estado de Morelos es el principal estado productor (SIAP, 2018b). La Figura 1 muestra los principales estados productores de nopalitos.

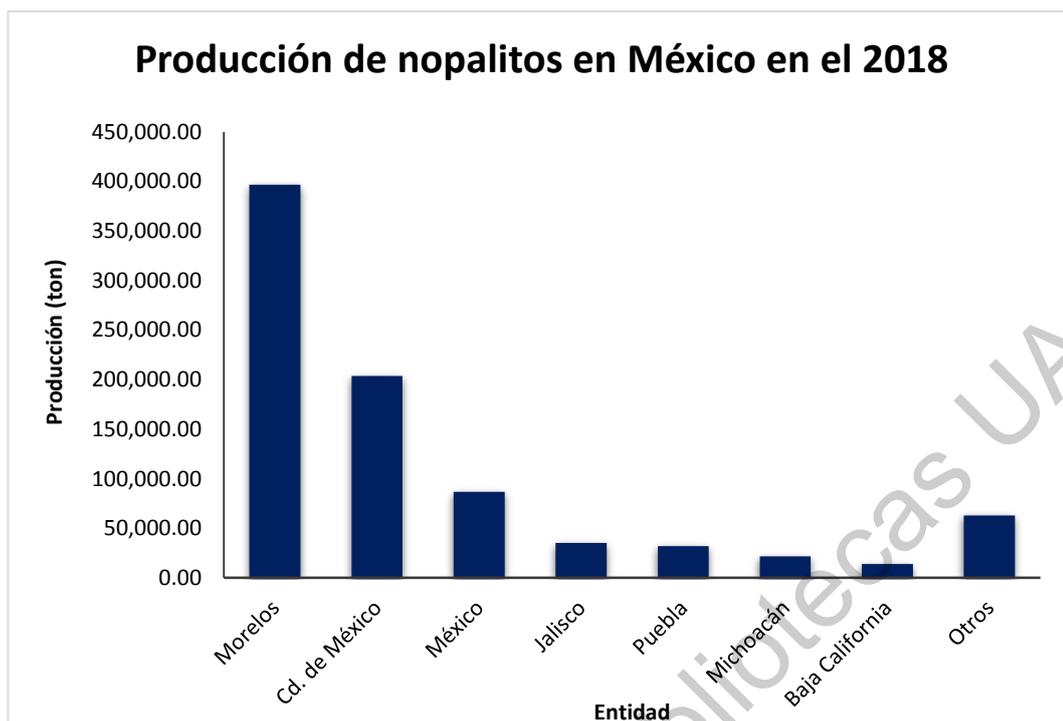


Figura 1. Producción de nopalitos en México en 2018

Fuente: SIAP (2018b)

Otro uso reconocido del nopal es para forraje ganadero. Esta aplicación es muy tradicional, sobre todo en las zonas áridas y semiáridas donde esta especie abunda y donde los pastizales y otras pasturas escasean en el tiempo de estío (SAGARPA, 2015). La producción de nopal forrajero en México, en el 2018, fue de 177,182.87 toneladas, el estado de Coahuila concentró la mayor producción (SIAP, 2018b). La Figura 2 muestra la producción de nopal forrajero en México.

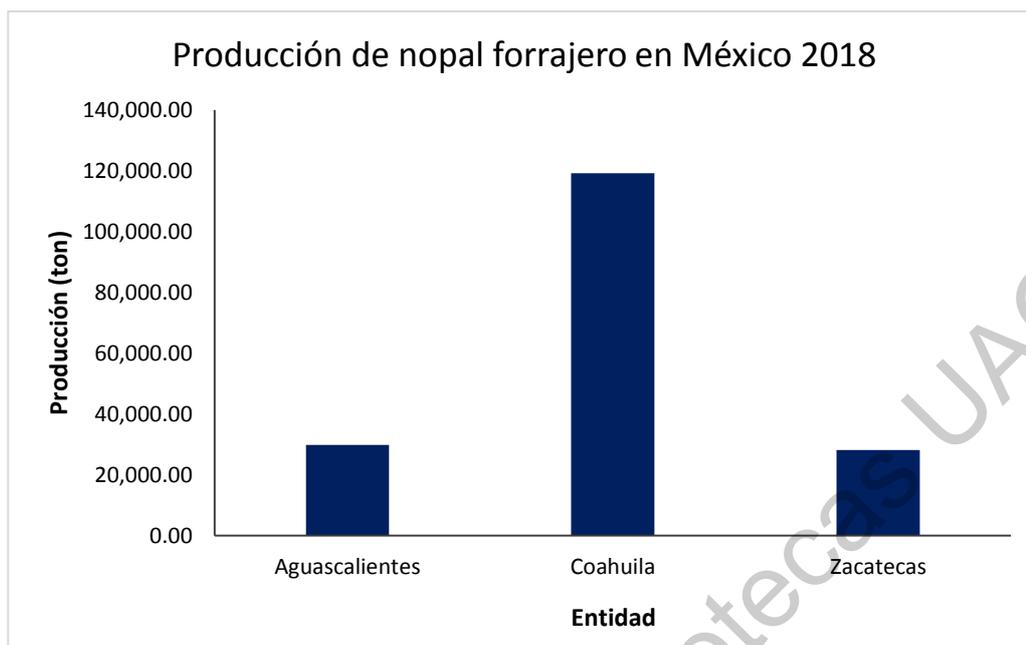


Figura 2. Producción de nopal forrajero en México en 2018

Fuente: SIAP (2018b)

2.3.4 Taxonomía y descripción botánica del nopal

Según diversos autores (Bravo, 1978; Sáenz *et al.*, 2006), la taxonomía del nopal es la indicada en la Tabla 2:

Tabla 2. Taxonomía del nopal

Nombre común: "Nopal" (México)
Nombre científico: <i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Millar
Reino: <i>Plantae</i>
Subreino: <i>Embryophita</i>
División: <i>Angiospermae</i>
Clase: <i>Dicotyledoneae</i>
Subclase: <i>Dialipetalas</i>
Orden: <i>Opuntiales</i>
Familia: <i>Cacatceae</i>
Subfamilia: <i>Opuntioideae</i>
Tribu: <i>Opuntiae</i>
Género: <i>Opuntia</i>
Subgénero: <i>Platyopuntia</i>

Los nopales son plantas arbustivas, rastreras o erectas que pueden alcanzar 3.5 a 5 m de altura. Uno de sus mayores atractivos es su anatomía y morfología adaptada a condiciones de fuerte estrés ambiental, por lo que son una alternativa de cultivo para regiones donde difícilmente crecen otras especies. Los nopales han sido descritos por numerosos autores, a continuación, se muestra una breve descripción (Sáenz; 2006):

Raíz: El sistema radical es muy extenso, densamente ramificado, rico en raíces finas o absorbentes y superficiales en zonas áridas de escasa pluviometría. La longitud de las raíces está en relación con las condiciones hídricas y con el manejo cultural, especialmente el riego y la fertilización (Sudzuki *et al.*, 1993; Villegas y de Gante, 1997; Sudzuki, 1999).

Tallos: Los tallos suculentos y articulados o cladodios, comúnmente llamados pencas, presentan forma de raqueta ovoide o alongada alcanzando hasta 60-70 cm de longitud, dependiendo del agua y de los nutrientes disponibles. Cuando miden 10-12 cm son tiernos y se pueden consumir como verdura. El aumento del área del cladodio dura alrededor de 90 días. Sobre ambas caras del cladodio se presentan las yemas, llamadas aréolas, que tienen la capacidad de desarrollar nuevos cladodios, flores y raíces aéreas según las condiciones ambientales (Sudzuki *et al.*, 1993). Las aréolas presentan en su cavidad espinas, que generalmente son de dos tipos: algunas pequeñas, agrupadas en gran número (gloquidios) y las grandes que son, según algunos botánicos, hojas modificadas (Granados y Castañeda, 1996). Cuando el hombre entra en contacto con la planta las espinas se pueden desprender y penetrar en la piel, constituyendo un serio inconveniente tanto para la cosecha de los frutos como para el procesamiento y consumo de los mismos. Los tallos se lignifican con el tiempo y pueden llegar a transformarse en verdaderos tallos leñosos, agrietados, de color ocre blancuzco a grisáceo.

Flor: Las flores son sésiles, hermafroditas y solitarias, se desarrollan normalmente en el borde superior de las pencas. Su color es variable: hay rojas, amarillas, blancas, entre otros colores. En la mayor parte del mundo la planta florece una vez al año; sin embargo, en Chile bajo ciertas condiciones

ambientales y con suministro de agua en verano, se presenta una segunda floración en marzo, que da origen a la llamada fruta «inverniza» (Sudzuki *et al.*, 1993).

Fruto: El fruto es una falsa baya con ovario ínfero simple y carnoso. La forma y tamaño de los frutos es variable. Chessa y Nieddu (1997) y Ochoa (2003) describen en detalle los tipos de frutos; los hay ovoides, redondos, elípticos y oblongos, con los extremos aplanados, cóncavos o convexos. Los colores son diversos: hay frutos rojos, anaranjados, púrpuras, amarillos y verdes, con pulpas también de los mismos colores. La epidermis de los frutos es similar a la del cladodio, incluso con aréolas y abundantes gloquidios y espinas que, a diferencia del cladodio, persisten aún después de la sobre madurez del fruto. La cáscara de los frutos difiere mucho en grosor, siendo también variable la cantidad de pulpa. Esta última presenta numerosas semillas, que se consumen junto con la pulpa. Hay frutos que presentan semillas abortadas, lo que aumenta la proporción de pulpa comestible. Debido a que existen preferencias en algunos mercados por frutos con pocas semillas o sin semillas, el mejoramiento genético está orientado hacia la búsqueda y multiplicación de variedades que presenten esta característica (Mondragón-Jacobo, 2004).

2.3.5 Usos del nopal

El nopal en la actualidad tiene usos variados, desde la producción de tunas, producción de nopal forrajero para la nutrición animal, producción para nopalitos como verdura, para la cría de grana cochinilla, producción para la reducción de erosión del suelo, uso de desechos de nopal para producir biogás, para la obtención de mucílago, deshidratación de las tunas para productos naturales masticables, deshidratación de los cladodios para consumo directo en polvo, concentrados de tuna, mermeladas de nopal, jugos de nopal, fermentaciones para bebidas alcohólicas, alimentos funcionales y nutraceuticos (Inglese *et al.*, 2018).

2.3.6 Mucílago de nopal

El mucílago es una sustancia polimérica compleja compuesta principalmente de carbohidratos con estructuras altamente ramificadas, entre ellas L-arabinosa, D-galactosa, L-ramosa, D-xilosa y ácido galacturónico en varias proporciones, también contiene glicoproteínas y otras sustancias como taninos, alcaloides y esteroides (Sepúlveda *et al.*, 2007; Gebresamuel y Gebre-Marian, 2012, Pichler *et al.*, 2012). La composición del mucílago difiere entre las diversas especies del género *Opuntia* y las regiones en las que crecen (Sáenz *et al.*, 2004; Gebresamuel y Gebre-Marian, 2012).

El mucílago tiene la propiedad osmótica de atrapar y de retener agua en las células buliformes. Los estudios de tejidos han demostrado que el mucílago está presente sólo en el aparato de Golgi y que la síntesis de mucílago se lleva a cabo probablemente en ella y en las vesículas derivadas de la misma. Estos polisacáridos se hinchan cuando se disuelven en agua, o en algunos casos, forma suspensiones coloidales muy viscosas, pero también ayudan a conservar el agua ya contenida en algún alimento (Sepúlveda *et al.*, 2007).

Algunas investigaciones se han enfocado estudiar las propiedades del mucílago de nopal. Contreras-Padilla *et al.* (2016) caracterizaron el mucílago de nopal de pencas en tres estados de maduración (50, 100 y 150 días), en dicho estudio encontraron que hay mayor elasticidad en el mucílago de pencas de 100 días de maduración, sin embargo, el mucílago extraído de pencas de 50 días mostró un mejor rendimiento. Además, el uso de etanol en la extracción de mucílago es mejor opción como solvente ya que es menos perjudicial para el medio ambiente.

2.3.7 Usos del mucílago de nopal

Se han encontrado diferentes usos para el mucilago de nopal, por ejemplo, como espesante alimentario, emulsificante alimentario, como purificador de agua (molécula de polielectrolito), como adhesivo para la cal (CaOH_2), como súper plastificantes natural en morteros y como producto alimenticio (Cárdenas *et al.*, 1997; Medina-Torres *et al.*, 2000; Miller *et al.*, 2008;

Sáenz *et al.*, 2004; Torres-Acosta y Cano-Barrita, 2007). Tiene un importante valor nutricional al consumirse como parte de la fibra alimenticia; se le confieren propiedades medicinales como antiinflamatorio, analgésico, antiviral, sirve para controlar enfermedades como colesterol alto, diabetes, glicemia, reduce la formación de radicales libres y el riesgo de padecer riesgos de cáncer, además de ser considerado como una fuente potencial de hidrocoloides industriales (Medina-Torres *et al.*, 2000; Saéñz *et al.*, 2004). El mucílago de nopal se ha usado de manera exitosa, en diversos estudios, en la elaboración de recubrimientos comestibles, aplicados en fresa, guayaba, manzana, ciruela, mora de castilla y naranja (Del-Valle *et al.*, 2005; May-Gutiérrez, 2009; INIFAP, 2012; Salinas-Salazar, 2014; Ramírez *et al.*, 2013; Molina *et al.*, 2019), lo cual resulta un método efectivo para prolongar la vida de anaquel y preservar la calidad poscosecha de los alimentos.

2.4 Generalidades de la naranja

2.4.1 Origen y distribución de la naranja

El origen del género *Citrus* se sitúa en el sureste de Asia y el centro de China, Filipinas y el archipiélago Indomalayo hasta Nueva Guinea. Las primeras variedades e híbridas de cítricos fueron el resultado de un largo proceso de identificación, colecta y reproducción de plantas silvestres (EARTH, 2004). La naranja se originó hace miles de años en Asia, en la región del sur de China a Indonesia, de la que se extendió a la India. Las naranjas dulces se introdujeron en Europa alrededor del siglo XV por varios grupos, incluyendo a los moros y los portugueses, así como los comerciantes italianos, y los exploradores que encontraron en sus viajes a Asia y el Oriente Medio (Ecured, 2011).

Con el descubrimiento de América, la exploración y la conquista de las tierras del nuevo continente, los españoles extendieron el cultivo de la naranja (Fernández-Pombo, 1968). El naranjo después de difundirse por la región europea, a través de la agricultura andalusí fue gracias a Cristóbal Colón quien, en su segundo viaje en 1493, trajo al continente americano, semillas de naranja, de limón, y de cidra a las islas La Española y la Isabela. Las semillas procedían

de La Gomera, una de las siete islas principales de Las Canarias (Ruenes-Morales y Montañez-Escalante, 2018).

2.4.2 Importancia económica de la naranja en México

Veracruz es el máximo productor de naranja en el país; alrededor del 50% del volumen cosechado se obtiene de los campos de esta entidad. Entre los cítricos que México oferta al exterior, el volumen de naranja participa con 9%. La fruta registró un máximo histórico en cantidad y valor exportado en 2017. El 95% de las exportaciones tienen por destino los mercados regionales de Estados Unidos. El fruto también se comercializa con naciones distantes como: Japón, Reino Unido e Israel, por referir algunas. En 2012, la fruta se exportó a ocho naciones, y en 2017 a nueve. (SIAP, 2018a).

En la Figura 3 se muestra la producción de naranja en México, ya que en 2018 alcanzó una producción de 4,737,990.29 toneladas, de acuerdo con datos del SIAP (2018b):

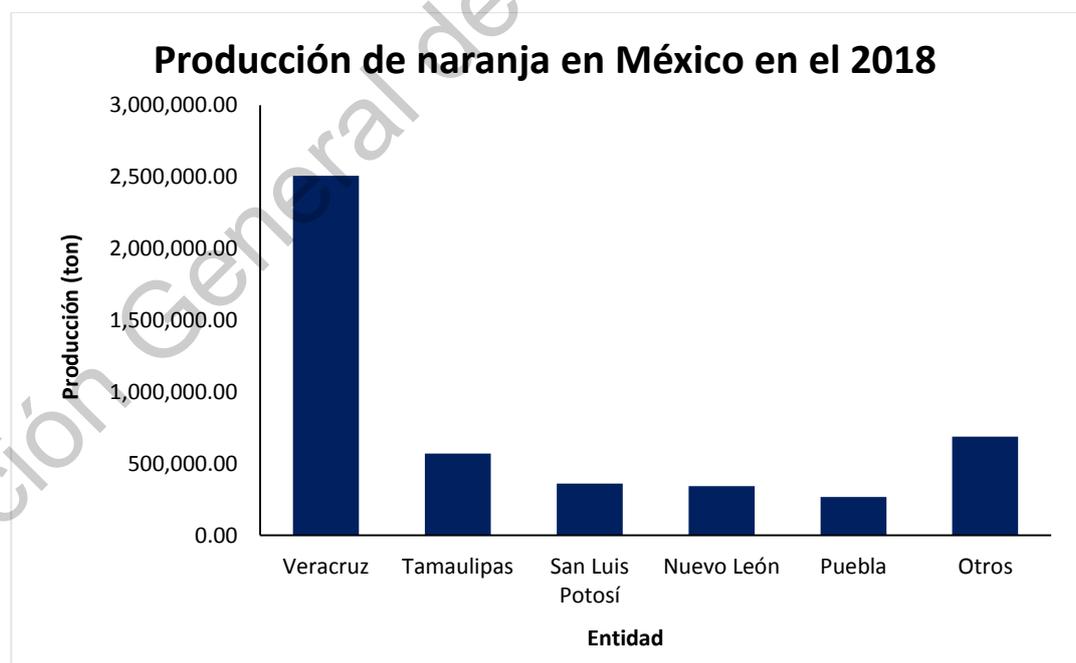


Figura 3. Producción de naranja en México en el 2018.

Fuente: SIAP (2018b)

2.4.3 Taxonomía y descripción botánica de la naranja

De acuerdo con la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2016) la taxonomía del fruto del naranjo es la siguiente: que se muestra en la tabla 3:

Tabla 3. Taxonomía del naranjo

Nombre común: Naranjo
Reino: <i>Plantae</i>
Subreino: <i>Magnoliophyta</i>
Clase: <i>Magnoliopsida</i>
Subclase: <i>Rosidae</i>
Orden: <i>Sapindales</i>
Familia: <i>Rutaceae</i>
Género: <i>Citrus</i>
Especie: <i>C. x sinensis</i> OSBECK

La naranja dulce es el fruto o producto del árbol del naranjo dulce. *Citrus x sinensis*, el naranjo, naranjero o naranjo dulce, es un árbol frutal del género *Citrus*, que forma parte de la familia de las rutáceas. Se trata de un árbol de porte mediano -aunque en óptimas condiciones de cultivo llega hasta los 13 m de altura-, perenne, de copa grande, redonda o piramidal, con hojas ovales de entre 7 a 10 cm de margen entero y frecuentemente estipuladas y ramas en ocasiones con grandes espinas (más de 10 cm). Sus flores blancas, llamadas azahar, nacen aisladas o en racimos y son sumamente fragantes (CONABIO, 2016). El fruto del naranjo, la naranja, es redondo, color naranja. Consta de: exocarpo (flavedo; presenta vesículas que contienen aceites esenciales), mesocarpo (albedo; pomposo y de color blanco) y endocarpo (pulpa; presenta tricomas con jugo) (InfoAgro, s.f.).

2.4.4 Usos de la naranja

La naranja es una fruta muy exquisita y muy jugosa que, además de su consumo en fresco, en general se emplea como tentempié, como postre y para hacer zumo. Pero las naranjas no sólo se pueden consumir enteras o en zumo, también se pueden emplear en infinitas de recetas y platillos en la gastronomía (Gartzia, 2012). Además, se usa para la preparación de cosméticos como cremas, lociones, champús, aceites esenciales para masajes, jabones perfumes y aromatizantes. El uso de las cáscaras de naranja se emplea para la creación de abonos que favorezcan un cultivo ecológico de los alimentos (Mundo ecológico, 2018).

2.4.5 Residuos de cáscara de naranja

Las cáscaras de naranja son residuos generados principalmente por la industria de jugos, debido a su gran volumen de generación y características ocasionan diversos problemas ambientales como la contaminación de suelo y agua. Por tal motivo, la valorización de cáscaras de naranja se ha convertido en un tema de interés para diversas investigaciones; tanto para la extracción de pectinas, elaboración de carbón activado (Tovar-Arce, 2017), uso como fuente de generación de calor, biometanización y composta (Siles *et al.*, 2016).

2.4.6 Pectina de naranja

De acuerdo con Brett y Waldron (1996) citados por Abid *et al.* (2017), la pectina es un biopolímero gelificante procedente de plantas y es un componente esencial en el crecimiento celular inicial, así como en el proceso de maduración. La pectina está presente principalmente en la pared celular primaria y en la lámina media de las plantas, además, constituye alrededor del 40% (base materia seca) de la pared celular de frutas y verduras. La pectina se presenta en la naturaleza como elementos estructurales del sistema celular de las plantas y contiene al menos 65% de unidades de ácido poligalacturónico, este componente existe parcialmente esterificado con metanol (Herbstreith, 2001; Voragen *et al.*, 2003).

2.4.7 Usos de la pectina de naranja

La pectina es empleada como aditivo natural en diversas industrias de alimentos, como gelificante, espesante, estabilizante y emulsificante de otros productos. Asimismo, en la industria farmacéutica y el área de biotecnología, la pectina se utiliza en la formulación de fármacos, cosméticos, con fines terapéuticos y otros (Sriamornsak, 2003; Mamani, 2012). May (1990), citado por Abid *et al.* (2017), menciona que la pectina es también uno de los agentes gelificantes agregados a los productos alimenticios para lograr la textura o consistencia deseada, particularmente en la fabricación de mermeladas y jaleas. En particular, la pectina se ha utilizado para la elaboración de recubrimientos comestibles para extender la vida de anaquel de productos hortofrutícolas frescos y mínimamente procesados (Valdés *et al.*, 2015).

2.4.8 Aceite esencial de naranja

De la naranja, no solamente se aprovechan los jugos alimenticios, sino que de la cáscara de la naranja se pueden obtener aceites que se utilizan como aromatizantes en diferentes industrias. Su aceite esencial es uno de los ingredientes básicos en las industrias de perfumería, alimentos, agronómica y farmacéutica (Díaz, 2002).

El aceite esencial de naranja es un antidepresivo, sedante, los aromaterapéutas creen que este aroma ayuda a mejorar la comunicación y es muy efectivo en contra de la celulitis, porque ayuda a activar la circulación (Fowler, 1998, citado por Cerón-Salazar y Cardona-Alzate, 2011). El aceite esencial de naranja es inhibidor del desarrollo de *Aspergillus flavus*, eliminando la producción de aflatoxina (Katayama, 1960, citado por Rodríguez-Sauceda, 2011).

2.4.9 Usos del aceite esencial de naranja

Es utilizado para la fabricación de bebidas no alcohólicas, elaboración de jarabes y complejos vitamínicos, perfumes, aguas de colonia, jabones, entre otros. En un estudio se extrajo aceite esencial de naranja y se elaboró gel, loción para la piel y enjuague bucal (Juárez, 2010; Bernal-Villavicencio, 2012)

Existen antecedentes del aceite esencial de naranja usado como antimicrobiano en recubrimientos comestibles de quitosano para extender la vida de anaquel del mango mínimamente procesado. En este estudio, en los frutos recubiertos se encontró una reducción significativa ($p < 0.05$) en la presencia de coliformes, psicrófilos, hongos y levaduras, comparado contra una muestra control sin recubrimiento (Rico *et al.*, 2012), por lo tanto, debido a sus propiedades antimicrobianas es una excelente opción para usarlo en los recubrimientos comestibles.

2.5 Generalidades de la fresa

2.5.1 Descripción de la fresa

La fresa es un fruto de color rojo brillante, succulento y fragante que se obtiene de la planta que recibe su mismo nombre. En Occidente es considerada la "reina de las frutas". Además de poderse comer cruda se puede consumir como compota, mermelada. Es empleada con fines medicinales ya que posee excelentes propiedades que ayudan a preservar la salud (Frutas & Hortalizas, 2021). Perteneciente al género *Fragaria* con varias especies, todas rastreras, integrante de la familia *Rosaceae*, su nombre deriva del latín *fraga* que significa fragancia. Existe una gran variedad de híbridos entre los que se encuentra *Fragaria x ananassa* con un fruto de mayor talla, proviene de la especie silvestre *Fragaria vesca* (García-Suárez, 2010).

2.5.2 Importancia económica de la fresa

De acuerdo con SAGARPA (2017), EL 52.21% de la producción nacional de fresa se destina al mercado externo, por lo que la fresa es un producto exitoso en el mercado internacional. México es el tercer proveedor de fresa fresca al mercado internacional con 14.83% de las exportaciones mundiales. En particular, las exportaciones mexicanas representaron un 87.79% de las importaciones a Estados Unidos. Este fruto ha adquirido reconocimiento en productos agroindustriales, principalmente en las mermeladas, ya que la elaborada a base de fresa representa un 85.5% del consumo nacional.

2.5.3 Requerimientos de calidad de la fresa en el mercado

De acuerdo con la NMX-FF-062-1987, especifica que la fresa debe cumplir con lo siguiente:

Las fresas deben:

- Ser frescas, limpias, sanas, enteras y bien desarrolladas
- Tener forma, sabor y olor característicos de la variedad.
- Tener consistencia firme.
- Tener pedúnculo con una longitud máxima de 1.5 cm.
- Estar exentas de humedad exterior anormal.
- Estar prácticamente libres de descomposición o pudrición.
- Estar prácticamente libres de defectos de origen mecánico, entomológico, microbiológico, genético fisiológico u otros.
- Presentar en su superficie una coloración roja, que se extiende del ápice hacia la base del pedúnculo, y cubrir del 50% hasta 100%.
- Presentar un aspecto firme en cuanto a color y tamaño.
- En cuanto a la pudrición: en un lote de fresas se permite en punto de embarque de 0 a 1 % de producción con pudrición visible y en punto de arribo un 2 % de producto con pudrición.

2.5.4 Factores que afectan la calidad de la fresa en el mercado

Los daños producidos por patógenos son los que causan un grave problema en cuanto a la vida de anaquel de la fresa. Dado que, los fungicidas no se utilizan después de la recolección, las enfermedades son las principales causas de las pérdidas poscosecha de las fresas (Frutas & Hortalizas, s.f.).

Las dos podredumbres más importantes que se producen en las fresas son la producida por el *Botrytis cinerea* y la producida por el hongo *Rhizopus stolonifer*. *Botrytis cinerea* es la enfermedad más importante de las fresas. Esta podredumbre se denomina podredumbre gris. Los frutos se recubren de un micelio algodonoso y los tejidos se ablandan. Causa muchísimas pérdidas de fresas en poscosecha. Este hongo continúa creciendo sobre los 0°C, aunque de cualquier manera el crecimiento es muy lento a esta temperatura. En el caso del

segundo, *Rhizopus stolonifer*, sus esporas normalmente se hallan circulando en el aire y son de fácil propagación. Origina una podredumbre blanda en la que los tejidos pierden jugos que gotean de los envases. Este hongo no suele crecer a temperaturas por debajo de los 5°C.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

III. Hipótesis

La aplicación de un recubrimiento a base de mucílago de nopal, pectinas y aceite esencial de naranja presenta actividad antimicrobiana y extiende la vida de anaquel de la fresa por 5 días más, conservando su calidad fisicoquímica, organoléptica y microbiológica.

3.1 Hipótesis estadísticas

H0: La vida de anaquel de fresas con recubrimiento y fresas control es estadísticamente igual.

H1: Si existe diferencia estadísticamente significativa en la vida de anaquel de fresas con recubrimiento y fresas control.

$H_0: \alpha_i = 0$ $i = 1, 2, \dots$

$H_1: \text{no todos los } \alpha_i = 0$

IV. Objetivos

4.1 Objetivo general

Desarrollar un recubrimiento comestible y antimicrobiano a base de mucílago de nopal, pectinas y aceite esencial de naranja que permita extender la vida de anaquel de la fresa conservando su calidad fisicoquímica, organoléptica y microbiológica.

4.2 Objetivos particulares

1. Evaluar la percepción de calidad de frutas y hortalizas mediante un cuestionario a consumidores finales.
2. Seleccionar una formulación para ser aplicada como recubrimiento comestible, mediante caracterización de películas de mucílago – pectina – aceite esencial de naranja.
3. Aplicar el recubrimiento en fresa para evaluar su funcionamiento a través de los parámetros de calidad fisicoquímicos y microbiológicos.
4. Seleccionar envase de acuerdo con las características del producto para contener el producto y poder comercializarlo.
5. Diseñar una etiqueta y marca para identidad del producto considerando la NOM-050-SCFI-2004 y la NOM-030-SCFI-2006.
6. Determinar la vida útil del recubrimiento envasado para conocer sus posibilidades de comercialización mediante los parámetros de viscosidad, pH y color.
7. Evaluar viabilidad financiera del producto para ver la posibilidad de su comercialización.

V. Metodología

5.1 Metodologías aplicadas a este proyecto

La metodología de este proyecto fue retomada del Design Thinking y el Método Científico (Figura 4).

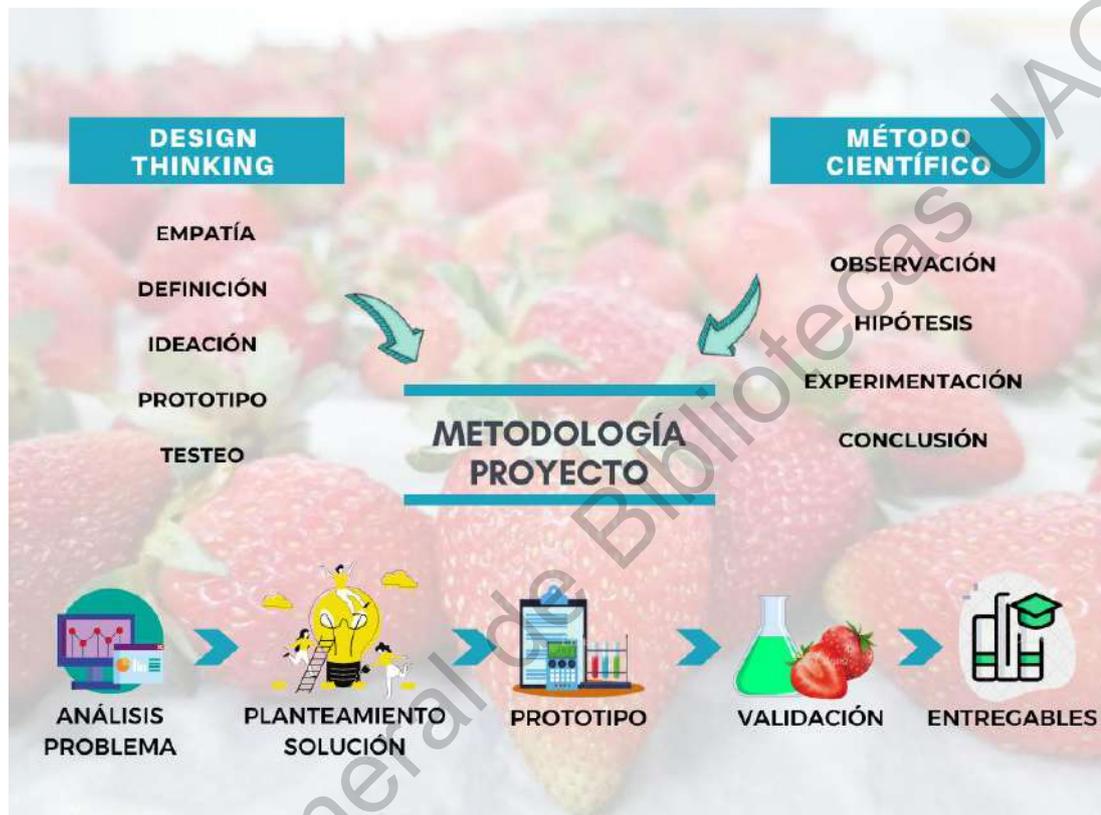


Figura 4. Diagrama de la combinación de metodologías

Para Brown (2008), el *Design Thinking* es una metodología que impregna todo el espectro de actividades de innovación con un espíritu centrado en las personas. Esta metodología es relevante tanto para el diseño de productos, espacios, sistemas, como para tratar problemas abstractos, como el diseño de servicios. Se basa en el diseño centrado en las personas y su principal objetivo es la innovación disruptiva para obtener una ventaja competitiva en el mercado global.

El método científico es el procedimiento intelectual o material que se utiliza un sujeto para penetrar, comprender, analizar, transformar o construir un objeto de conocimiento. La relación objeto-sujeto, que comienza con Descartes, puede

ser consecuencia de una simple relación sensible, copia refleja, entre la percepción subjetiva del objeto, lo que se conoce como un simple conocimiento primario o vulgar. En cambio, cuando esa relación sujeto-objeto, puede explicarse, describirse, interpretarse y evaluarse a través del razonamiento humano, estamos frente a un conocimiento racional o crítico (Lara Sáenz, 1991).

La implementación de ambas metodologías, descritas anteriormente, es necesaria para complementar la metodología de este proyecto, ya que enfoca desde el primer diseño de un prototipo experimental hasta la validación del prototipo final a nivel laboratorio.

5.2 Etapas en la metodología del proyecto

La Figura 5 muestra las etapas en la metodología llevada a cabo durante el proyecto.



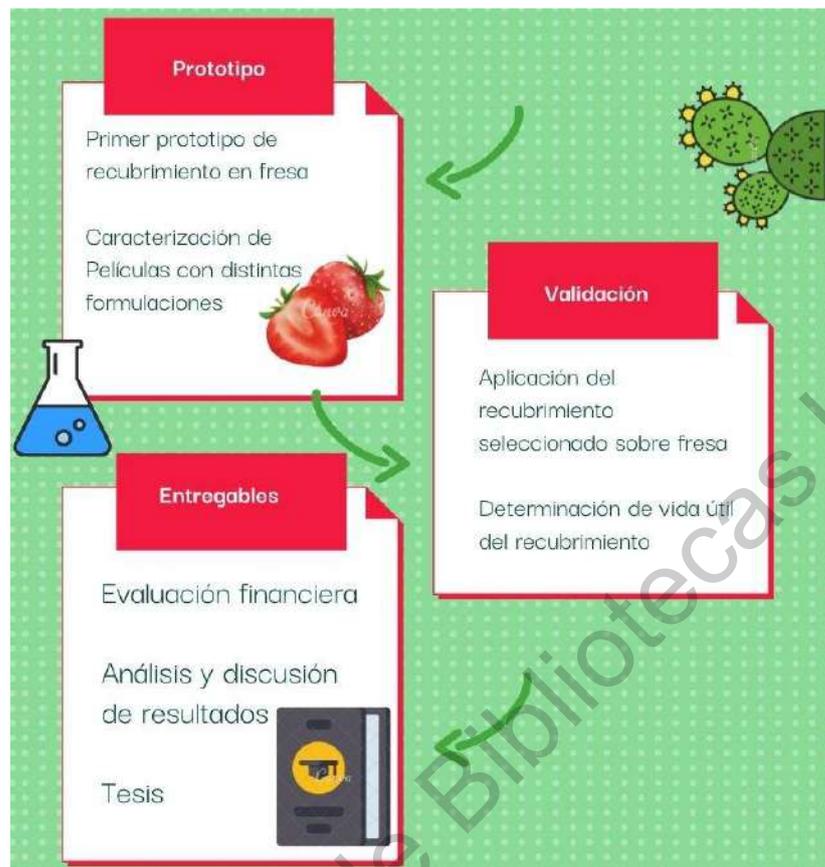


Figura 5. Etapas en la metodología del proyecto

5.3 Cuestionario percepción de calidad de los consumidores

Se realizó un cuestionario mediante un Formulario de Google, utilizando la escala de Likert, para conocer la percepción de atributos de calidad que tienen los consumidores al momento de seleccionar y comprar frutas y hortalizas. El cuestionario se dejó abierto 2 semanas.

Se realizaron 8 preguntas: 3 para fines estadísticos, 4 para conocer la importancia de los atributos de calidad y 1 para saber si están o no de acuerdo sobre comprar a granel de frutas y hortalizas. (Anexo 1).

5.4 Materiales y métodos

5.4.1 Nopal

Se utilizaron pencas de nopal (*Opuntia ficus indica*) de aproximadamente 100 días de maduración (Figura 6), de un huerto casero ubicado en la comunidad de Santa Teresita de Don Diego, San Miguel de Allende.



Figura 6. Recolección de pencas de nopal.

5.4.2 Cáscaras de naranja

Se recolectaron las cáscaras de naranjas de un local de jugos (mercado local), para la extracción de la pectina en el mismo día (Figura 7).



Figura 7. Cáscara de naranja limpia.

5.4.3 Fresa

Se compraron fresas del mercado de abastos de la ciudad de Querétaro (Figura 8). Se seleccionaron las de grado de madurez 4, sin golpes ni daños superficiales. Se lavaron con agua potable y se sumergieron en una solución de hipoclorito de sodio a 5 ppm durante 15 minutos para desinfección y se dejaron secar sobre toallas absorbentes durante 15 minutos a temperatura ambiente (Barco-Hernández *et al.*, 2010).



Figura 8. a) Selección de fresas. b) Lavado de fresas.

5.5 Extracción componentes

5.5.1 Extracción mucílago de nopal

La extracción de mucílago de nopal se realizó de acuerdo con la metodología usada por Contreras-Padilla *et al.* (2016) con algunas modificaciones. A las pencas de nopal se les quito la corona y espinas, se cortó en cubos y se secaron durante 12 h y a 45 °C (Figura 9).

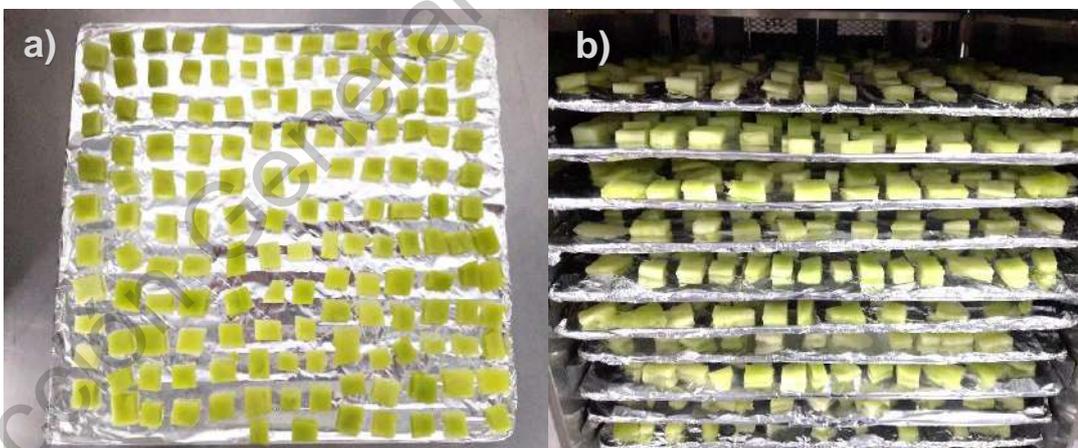


Figura 9. a) Cortado del nopal. b) Secado del nopal.

Los cubos de nopal se molieron en un molino Pulvex mini-100, con restricción de salida de 0.5 mm. Se preparó una suspensión de 4 L al 8% de sólidos granulares de nopal, usando agua destilada y se mezcló, se dejó reposar por 2 h. Para la extracción del mucílago se utilizó una centrifuga de mesa Velocity 14 R, marca METRIX; la suspensión se centrifugó la suspensión a 10,000 RPM,

durante 10 min y a 20 °C. Se obtuvieron 2 fases (soluble e insoluble), la soluble, que es la que contenía el mucílago, se precipitó con etanol al 96% en proporción 1:2 (1 de fracción soluble: 2 de etanol) (Figura 10).

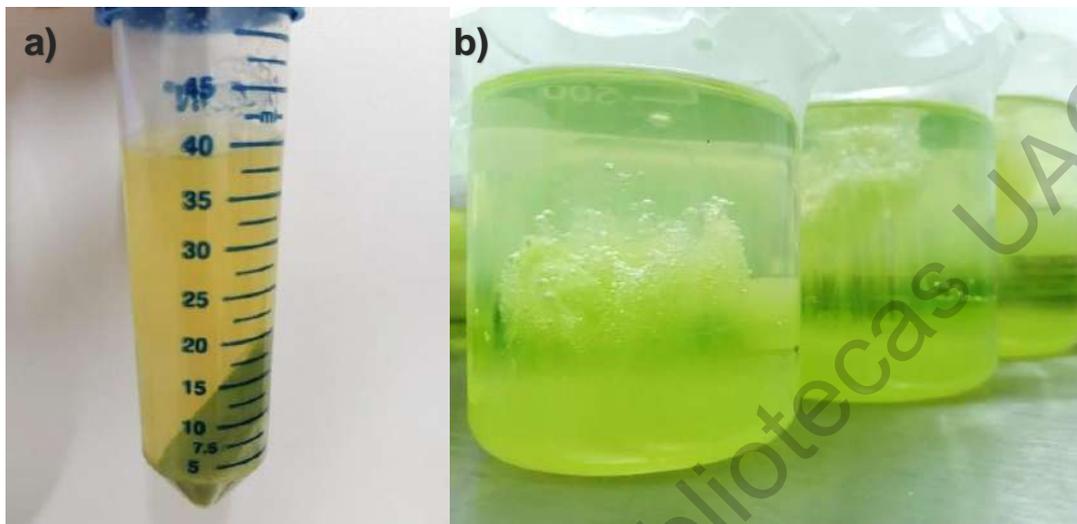


Figura 10. a) Separación de la fases soluble e insoluble del nopal.
b) Precipitación con etanol.

El resultante de esta precipitación se secó a 40 °C durante 30 min. Finalmente, el mucílago seco se molió en un molino pulvex con una restricción de salida de 1 mm (Figura 11).



Figura 11. Sólidos granulares de mucílago de nopal

5.5.2 Extracción pectinas de naranja

La extracción de pectinas de naranja se llevó a cabo de acuerdo con la metodología utilizada por Cerón-Salazar y Cardona-Alzate (2011), utilizando los

residuos después de la extracción de aceite esencial. Se llevó a cabo el hidrolisis de la cáscara con agua acidulada, durante 60 min, a una temperatura constante de 80 °C con una relación de cáscara húmeda: agua de 1:2. La mezcla obtenida se filtró para separar el extracto líquido de los sólidos gruesos (cáscaras) y concentrada hasta obtener una reducción del 1/3 de volumen del extracto líquido en un evaporador al vacío, a una temperatura no mayor de los 40 °C. Se precipitó el concentrado se le adicionó un volumen doble de etanol al 95% (Figura 12).



Figura 12. a) Hidrolisis. b) Extracto acuoso. c) Precipitación con etanol.

La pectina obtenida fue decantada, prensada y secada a una temperatura de 40 °C en un deshidratador de bandejas durante 15 h. Finalmente la pectina se molió en un molino Pulvex y se almacenó.

5.6 Aplicación de prototipo de recubrimiento sobre fresa

Para probar el efecto antimicrobiano del aceite esencial de naranja se realizó una prueba preliminar, de recubrimiento de mucílago y aceite esencial de naranja. Dicho recubrimiento se aplicó sobre fresa. La Tabla 4 muestra los distintos tratamientos y sus variaciones en cuanto al tiempo de inmersión.

Tabla 4. Tratamientos aplicados a fresa.

Tratamiento	Clave	Especificaciones	Tiempo inmersión
Tratamiento 1	T1	Recubrimiento con Aceite Esencial de Naranja	1 min 30 s
Tratamiento 2	T2	Recubrimiento con Aceite Esencial de Naranja	3 min
Tratamiento 3	T3	Recubrimiento sin Aceite Esencial de Naranja	1 min 30 s

Tratamiento 4	T4	Recubrimiento sin Aceite Esencial de Naranja	3 min
Control	C	Sin recubrimiento	--

Las fresas se sumergieron en la suspensión de acuerdo con cada tratamiento (ver Tabla 4) para formación del recubrimiento. Y se dejaron secar en un bastidor con malla hexagonal a temperatura ambiente. Finalmente se colocaron en cajas de PET para identificación de cada tratamiento y se almacenaron a una temperatura de 4°C ±1 en un refrigerador convencional (Figura 13).



Figura 13. a) Aplicación recubrimiento en fresa. b) Secado de las fresas.
c) Almacenamiento de las fresas.

Se registró el peso durante los 7 días de almacenamiento, en una báscula digital de vidrio, marca Truper. Para determinar la pérdida de peso respecto del tiempo se utilizó la siguiente ecuación (Barco-Hernández *et al.*, 2010):

$$PP = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 \quad \text{Ec. 1}$$

5.7 Diseño de formulaciones para películas

El diseño experimental de esta etapa de caracterización fue un Diseño Factorial Mixto 2 × 2 × 3; con 3 factores: mucílago de nopal con 2 niveles, pectina de naranja con 2 niveles y el aceite esencial de naranja con 3 niveles. Cada prueba en las películas se realizó por triplicado.

Las formulaciones para preparación de películas y caracterización de estas se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Formulaciones para la preparación de películas

Formulación películas	Componente y concentración (%)		
	Mucílago	Pectina	Aceite esencial
1	0.25	0.25	0
2	0.25	0.5	0
3	0.5	0.25	0
4	0.5	0.5	0
5	0.25	0.25	0.25
6	0.25	0.5	0.25
7	0.5	0.25	0.25
8	0.5	0.5	0.25
9	0.25	0.25	0.5
10	0.25	0.5	0.5
11	0.5	0.25	0.5
12	0.5	0.5	0.5

A todas las formulaciones se le agregó un 0.2% de propilenglicol como plastificantes, de acuerdo con lo establecido por el Codex Alimentarius (FAO, 2018).

5.7.1 Preparación de la suspensión para formación de películas comestibles

La suspensión se preparó de acuerdo con lo reportado por Seslija *et al.* (2018) y Salinas Salazar (2014) con algunas modificaciones.

El mucílago y la pectina se rehidrataron en agua destilada a 70°C, se mantuvo en agitación constante. Se dejó reposar por 30 min y posteriormente se añadió el aceite esencial de naranja y el propilenglicol (0.2%) como plastificante. Se mezclaron todos los componentes en una licuadora Osterizer con vaso de 300 ml, para formar los distintos tratamientos (ver Tabla 5). Finalmente se filtró cada suspensión y se dejaron reposar 1 h para que se eliminaran las burbujas formadas (Figura 14).



Figura 14. Formulaciones para elaboración de películas

5.7.2 Formación de películas comestibles

Para la formación de las películas, las diferentes suspensiones se vaciaron en platos de plástico con diámetro de 13 cm. A cada recipiente se le adicionó 30 ml de cada una de las suspensiones. Finalmente se dejaron secar a temperatura ambiente, por 48 h y por evaporación de formaron las películas (Salinas-Salazar, 2014) (Figura 15).



Figura 15. Películas formadas.

5.8 Caracterización de películas comestibles

5.8.1 Espesor

El espesor se midió de acuerdo con lo reportado por Salinas-Salazar (2014) e Imran *et al.* (2010) con algunas modificaciones, en 6 posiciones aleatorias para cada película, 4 en el perímetro y 2 en el centro utilizando un

micrómetro digital marca SURTEK (Figura 16). El espesor se expresó en mm y se realizó por triplicado.



Figura 16. Micrómetro digital y película comestible

5.8.2 Color

Se evaluó de acuerdo con lo reportado por Salinas-Salazar (2014) y Átares *et al.* (2010), con algunas modificaciones. Los parámetros de color tono (Hue/h°), croma (C*), y luminosidad (L*) de las diferentes películas se determinaron con ayuda de un colorímetro marca HIGH-QUALITY COLORIMETER, modelo NH310. Las muestras se analizaron por triplicado.

5.8.3 Transparencia

Se evaluó de acuerdo con lo reportado por Salinas-Salazar (2014) y Al-Hassa y Norziah (2011) con algunas modificaciones. Se midió a través de muestras rectangulares de 0.5 x 0.4 cm y se colocaron en celdas de un espectrofotómetro en forma perpendicular al paso de luz. En cada muestra se evaluó la absorbancia en una longitud de onda de 550 nm. La transparencia de las películas se calculó de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$T = \frac{A_{550}}{X} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

A_{550} es la absorbancia y X el espesor de la película (mm).

De acuerdo con la ecuación, un valor de **T** alto indica un grado de transparencia alto. Como blanco se utilizó una celda vacía. Las muestras se analizaron por triplicado.

5.8.4 Espectroscopia infrarroja

Se realizó espectroscopia infrarroja de las películas comestibles, mediante un espectrofotómetro (Figura 17) Spectrum two, marca Perkin Elmer de acuerdo con la metodología reportada por Contreras-Padilla *et al.* (2016) con algunas modificaciones. Las muestras para esta caracterización fueron de 1 cm², se colocaron sobre la celda de lectura, el barrido fue de 4000 a 500 cm⁻¹. Esta técnica es utilizada para la identificación de grupos funcionales característicos de los materiales empleados para las películas, así como la interacción entre ellos y si se produjo reacción o formación de nuevos compuestos (Del Angel-Purata, 2019).



Figura 17. Espectrofotómetro *Spectrum two*.

5.8.5 Capacidad antimicrobiana

La actividad antimicrobiana de la suspensión formadora de recubrimiento y/o películas, se realizó mediante el método de difusión en disco utilizando la técnica de Kirby Bauer con algunas modificaciones (Pineda-Nieto, 2020).

Los microorganismos utilizados fueron cepas de bacterias *Escherichia coli* ATCC 25922 y *Salmonella typhimurium* ATCC 14028.

Para la activación de las cepas bacterianas, se prepararon 3 mL de diluyente de caldo soya tripticaseína y fue esterilizado el caldo en tubos de ensaye. Del inóculo de la cepa se tomaron 100 µL y se agregaron al tubo de ensaye con caldo soya tripticaseína, se mezclaron y se llevaron a incubar por 48 horas a 37 °C.

Los diferentes tratamientos para el antibiograma se describen en la Tabla 6. Todas las determinaciones fueron analizadas por triplicado para cada bacteria, con un total de 18 muestras para analizar.

Tabla 6. Tratamientos utilizados para determinar capacidad antimicrobiana

Tratamiento	
0.5% M - 0.25% P - 0% AEN	T1
0.5% M - 0.25% P - 0.25% AEN	T2
0.5% M - 0.25% P - 0.5 %AEN	T3

M: mucílago; P: pectina; AEN: aceite esencial de naranja

Para la preparación del antibiograma se inocularon 100 µL de la cepa de interés con 7 mL de agar Müller-Hinton, previamente esterilizado. Este medio fundido con el microorganismo se vertió en una caja Petri y se dejó secar por 10 min. Posteriormente se colocó un disco de papel filtro estéril de 5 mm de diámetro sobre las cajas Petri, y se le adicionó 25 µL de la suspensión formadora de recubrimiento. La actividad antimicrobiana se determinó a las 44 h de incubación a 37 °C. El diámetro de las zonas de inhibición se midió en mm.

5.8.6 Permeabilidad al vapor de agua

La determinación de vapor de agua de la película del tratamiento 3 (Tabla 6), cuya formulación fue seleccionada para aplicar el recubrimiento, se realizó de acuerdo con la metodología de Martínez-Muñoz (2019) y Astorga-Torres (2019).

El equipo consiste en un modelo de celda cilíndrica cerrada de aluminio, con 8mm de diámetro y 10 mm de largo, conteniendo un volumen de 0.502656

cm³. Se diseñó el dispositivo utilizando el modelo de celda fotoacústica cerrada. En esta configuración, la fuente de radiación no excita directamente la muestra, si no que primero pasa por una ventana transparente con un bajo coeficiente de absorción óptica. En uno de los extremos de la celda se colocó una ventana de cuarzo, debido al bajo coeficiente de absorción de este material. El lado de la ventana que quedó hacia la celda se recubrió con grafito, que absorbe la radiación incidente es absorbida por el recubrimiento y luego dispersada al interior de la celda y así evitar filtraciones de luz del exterior. A mitad de la pared interna de la celda, se colocó un micrófono electrore para captar la señal acústica, como se muestra en la Figura 18.

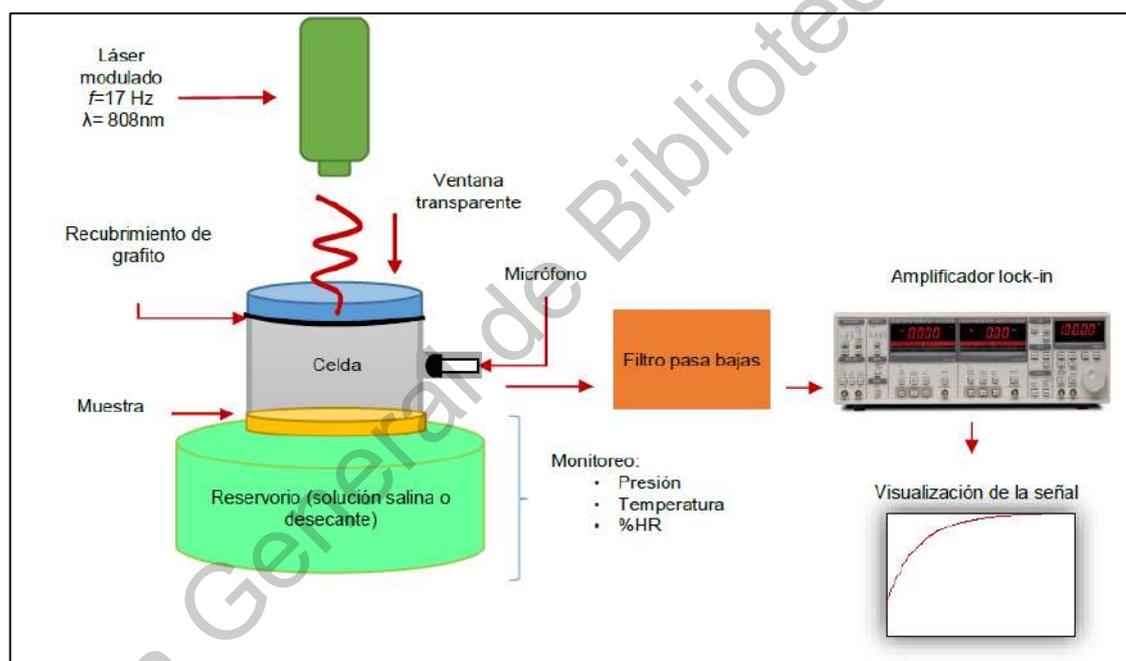


Figura 18. Diagrama esquemático de los componentes del sistema implementado

Fuente: Astorga-Torres (2019)

El otro extremo de la celda se cerró con una de las caras de la muestra (1 cm² de la muestra de película), mientras que la otra queda expuesta a un reservorio con condiciones de humedad controladas, de las cuales se monitorearon además del porcentaje de humedad relativa (%HR), temperatura y presión durante el tiempo de prueba, con sensores DHT22 y MPX4250AP.

Como fuente de radiación se utilizó un láser Coherent con longitud de onda de 808 nm y una potencia de 250mW, modulado a una frecuencia de 17 Hz que se encuentra fuera de la frecuencia de resonancia del tipo de micrófono utilizado para este sistema. La amplitud de referencia fue de 4.5 Vpp modulada utilizando un amplificador lock-in Stanford Research Systems modelo SR830. Los amplificadores lock-in son ampliamente utilizados en la física, como lo son la evaluación de sistemas acústicos y propagación de ondas electromagnéticas. Son utilizados para detectar señales en CA y proporcionar una salida en CD. Este tipo de amplificadores permiten obtener medidas precisas incluso si la señal es muy pequeña y contiene otras frecuencias que se consideran ruido para la señal de estudio. La adquisición de datos se realizó mediante una tarjeta GPIB National Instruments, y la visualización de amplitud y fase de la señal se llevó a cabo a través de Matlab.

El montaje completo del equipo se muestra en la Figura 19.



Figura 19. Sistema fotoacústico empleado para determinar PVA

Para el cálculo del coeficiente efectivo de permeabilidad, se siguió el modelo propuesto por Tomás et al., (1998), la evolución en el tiempo de la señal fotoacústica a causa de la difusión de vapor de agua a través de la muestra se describe mediante ecuaciones de cinética de primer orden. La configuración experimental propuesta y la expresión modelada permiten no solo calcular el

coeficiente de adsorción, sino también de desorción del soluto. Ésta puede describirse por cinética de primer orden, mediante la siguiente ecuación:

$$S = S_0 + \Delta S [1 - \exp(-t/t_0 \tau_d)] \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

S = amplitud de la señal fotoacústica al llegar al estado estacionario [V, mV].

S_0 = Amplitud inicial de la señal fotoacústica, la muestra es apenas expuesta a la humedad del reservorio [V, mV].

ΔS = Trayecto que sigue la señal antes de llegar al equilibrio.

t_0 = tiempo en el que cambia la humedad relativa de la atmósfera del reservorio [s].

τ_d = tiempo de difusión de vapor de agua de la muestra [s].

El tiempo de difusión viene definido por la ecuación:

$$\tau_d = \frac{l_s^2}{2D} \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

τ_d = tiempo de difusión [s]

l_s = Espesor de la muestra [cm, m]

D = coeficiente de difusión de vapor de agua [cm²/s, m²/s]

Realizando una regresión la regresión exponencial se encuentra ΔS y τ_d de la ecuación (1). Sustituyendo el tiempo de difusión al despejar D de la ecuación (2) se obtiene el coeficiente de difusión de vapor de agua.

La expresión de permeancia Π se define como sigue:

$$\Pi = \frac{D}{RAT_0 l_s} (1000) \quad \text{Ec. 5}$$

Donde:

Π = permeancia en mPerm (metric Perm) [g/s.m.Pa]

A = masa molecular relativa del agua [g/mol]

R = constante universal de los gases $R= 0.062361$ [mmHg ·m³/mol·K], a 298 K

T_0 = temperatura al inicio de la prueba [K]

5.9 Aplicación del recubrimiento comestible sobre fresa

5.9.1 Preparación de la suspensión

La suspensión se preparó de acuerdo con lo reportado por Seslija *et al.* (2018) y Salinas Salazar (2014) con algunas modificaciones.

El mucílago y la pectina se rehidrataron en agua destilada a 70°C, se mantuvo en agitación constante. Se dejó reposar por 30 min y posteriormente se añadió el aceite esencial de naranja y el propilenglicol (0.2%) como plastificante. Se mezclaron todos los componentes en una licuadora industrial marca Veca International, modelo VI-5A, y se dejó reposar 1 h para que se eliminaran las burbujas formadas.

5.9.2 Aplicación del recubrimiento sobre fresa

Las fresas se recubrieron de acuerdo con Ordoñez-Bolaños (2014) con algunas modificaciones, por el método de inmersión durante 30 s y se secaron a temperatura ambiente sobre bastidores rectangulares con malla hexagonal, para facilitar su secado.



Figura 20. a) Inmersión en recubrimiento. b) Secado de las fresas.

Una vez secas, las fresas con recubrimiento y fresas control se almacenaron en una cámara climática, marca Memmert a 10 °C y a 40% HR (Fornaris, 2005 y García *et al.*, 2009).



Figura 21. Almacenamiento de las fresas

5.10 Parámetros de calidad

Todas las pruebas de calidad se realizaron por triplicado, una vez por semana, durante 6 semanas.

5.10.1 Inspección visual

Se realizó inspección visual cada 3 o 4 días, de las fresas con recubrimiento con el fin de observar el cambio respecto al tiempo en cuanto apariencia visual, pérdida de firmeza de la superficie o aparición de hongos.

5.10.2 Pérdida de peso

Se registró el peso de las muestras durante el tiempo de almacenamiento y se obtuvo la pérdida con la siguiente ecuación (Barco-Hernández *et al.*, 2010):

$$PP = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 \quad \text{Ec. 1}$$

Dónde: PP = Pérdida de peso promedio; Pi = peso inicial; Pf = peso final.



Figura 22. Determinación de peso de las fresas

5.10.3 Color

Se evaluó de acuerdo con lo reportado por Salinas-Salazar (2014) y Átares *et al.* (2010), con algunas modificaciones. Los parámetros de tono (Hue/h°), croma (C*), y luminosidad (L*) de las fresas se determinaron con ayuda de un colorímetro marca HIGH-QUALITY COLORIMETER, modelo NH310. Las muestras se analizaron por triplicado.



Figura 23. Determinación de color de las fresas

5.10.4 Sólidos solubles totales

Se determinaron de acuerdo con San Martín-Hernández *et al.* (2012) y Manoj *et al.* (2016) con algunas modificaciones. La fresa fue cortada de la región longitudinal y se agregaron 3 gotas del jugo sobre la celda del refractómetro, marca DIGITAL REFRACTOMETER, modelo DBR45, con valores límites de 0 a 45, el porcentaje de sólidos solubles, que son principalmente azúcares se expresó como grados Brix (°Brix).



Figura 24. Determinación de sólidos solubles totales

5.10.5 pH

Se molieron 3 fresas + 10 ml de agua con una licuadora Osterizer, con vaso de 300 ml, se tomaron 10 g de la pulpa y se homogenizaron con 50 ml de agua destilada. El pH del jugo se midió introduciendo el electrodo, previamente calibrado se esperó a que se estabilizara y se registró la lectura que se indicaba en el potenciómetro (AOAC, 1990; May-Gutiérrez, 2009).



Figura 25. Potenciómetro usado para determinación de pH

5.10.6 Acidez titulable

Se molieron 3 fresas + 10 ml de agua con una licuadora Osterizer, con vaso de 300 ml, se tomaron 10 g de la pulpa y se homogenizaron con 50 ml de agua destilada. Se tomaron alícuotas de 10 ml del jugo y se adicionaron 3 gotas de fenolftaleína para su titulación con NaOH 0.1N (AOAC, 1990; San Martín-Hernández *et al.*, 2012).



Figura 26. Determinación acidez titulable

El resultado de acidez titulable se expresó: mediante contenido de ácido cítrico. La acidez se obtuvo con la Ecuación 6:

$$AT (\%) = V \text{ NaOH} \times N \text{ NaOH} \times 0.064V \text{ jugo} \times 100 \quad \text{Ec. 6}$$

Dónde:

$V \text{ NaOH}$ = Volumen del NaOH (ml)

$N \text{ NaOH}$ = Normalidad del NaOH (meq/ml)

$V_{\text{jugo}} = \text{Volumen del jugo de tomate (ml)}$

0.064 corresponde a los miliequivalentes de ácido cítrico (g/meq)

5.11 Determinación vida útil del recubrimiento envasado

La caracterización del recubrimiento envasado, para determinar su vida útil, se determinó considerando un Diseño parcialmente escalonado, metodología descrita por Giraldo-Gómez (1999). Se determinaron los parámetros de viscosidad, color y pH con el paso del tiempo, durante 4 semanas (1 día por semana de medición) Las condiciones para evaluar la vida útil fueron a tres temperaturas 10, 30 y 40 °C.

5.11.1 Selección de envase para caracterización del recubrimiento

Se seleccionó el envase de acuerdo con las disposiciones de la Norma Oficial Mexicana NOM-130-SSA1-1995, que establece las disposiciones y especificaciones sanitarias que deben cumplir los alimentos envasados en recipientes de cierre hermético y sometidos a tratamiento térmico, con excepción de los productos que cuenten con Normas Oficiales Mexicanas específicas.

Este tipo de producto se debe envasar en recipiente de tipo sanitario, elaborado con materiales inocuos y resistentes a distintas etapas del proceso, de tal manera que no reaccione con el producto o altere las características físicas, químicas y organolépticas del producto.

Por lo cual se seleccionó un envase de PET de 60 ml de color azul marino (Figura 27) para evitar la oxidación del antimicrobiano, con rosca ciega; se escogió de este volumen para la caracterización. Estos envases de PET se usan habitualmente para el envasado de alimentos y además están aprobado por la FDA para entrar en contacto con los alimentos. El PET es mucho más resistente a los impactos que ayuda a proteger al alimento o líquido contenido (Chemical Safety Facts, 2020), esto, gracias a sus excelentes propiedades mecánicas y relativamente tiene baja permeabilidad a los gases (Giraldo-Gómez, 1999).



Figura 27. Envase para el recubrimiento comestible

5.11.2 Viscosidad

Se realizó de acuerdo con lo reportado por Castro-Parra (2013). La viscosidad se determinó con un viscosímetro CScientific VE-8S (Figura 28), con el huso L1, a 600 RPM. Se tomaron 150 ml del recubrimiento. La viscosidad se determinó mediante cP (centi Poise).



Figura 28. Determinación viscosidad del recubrimiento

5.11.3 pH

Se determinó de acuerdo con lo reportado por Castro-Parra (2013) y a lo establecido en AOAC (1990) con algunas modificaciones, con ayuda de un potenciómetro marca HACH, modelo H260G, con valores límites entre 0 y 14.

5.11.4 Color

Los parámetros de color Hue (h°), croma (C^*), y Luminosidad (L^*) de la suspensión se determinaron con ayuda de un colorímetro marca HIGH-QUALITY COLORIMETER, modelo NH310.



Figura 29. Determinación de color del recubrimiento

5.12 Análisis estadístico

Los datos recopilados se analizaron con el software Minitab 19.

Para la caracterización de las películas se realizó análisis trifactorial para conocer los efectos de cada componente (variable respuesta vs mucílago; pectina; aceite esencial de naranja) y para la comparación de medias se aplicó el método Tukey con una confianza del 95%.

Para los parámetros de calidad de las fresas se realizó un análisis bifactorial, siendo el tiempo y el tratamiento los 2 factores analizados.

Para la prueba de vida útil del recubrimiento se realizó un análisis bifactorial, siendo el tiempo de almacenamiento y la temperatura los dos factores analizados.

5.13 Diseño de etiqueta y marca del producto

Se diseñó un isologo como marca y nombre del producto, considerando las características de los productos similares en el mercado. La etiqueta del producto considero el Codex Alimentarius para el etiquetado de alimentos envasados.

5.14 Evaluación de la viabilidad financiera del proyecto

Se evaluó la viabilidad financiera del proyecto para determinar la capacidad de producir dicho producto y el costo del producto para analizar tenga posibilidades de venta y desarrollo en el mercado. Los cálculos se realizaron con ayuda del software Excel.

VI. Resultados y discusión

6.1 Percepción de calidad

6.1.1 Descripción de los participantes del cuestionario

Se obtuvieron respuestas de 120 individuos de 18 a 61 años de edad.

En la Figura 30 se muestra la edad de los participantes de este cuestionario, en la cual se observa que la mayor parte son de 21 a 30 años de edad, con un 56% que corresponde a 67 participantes.

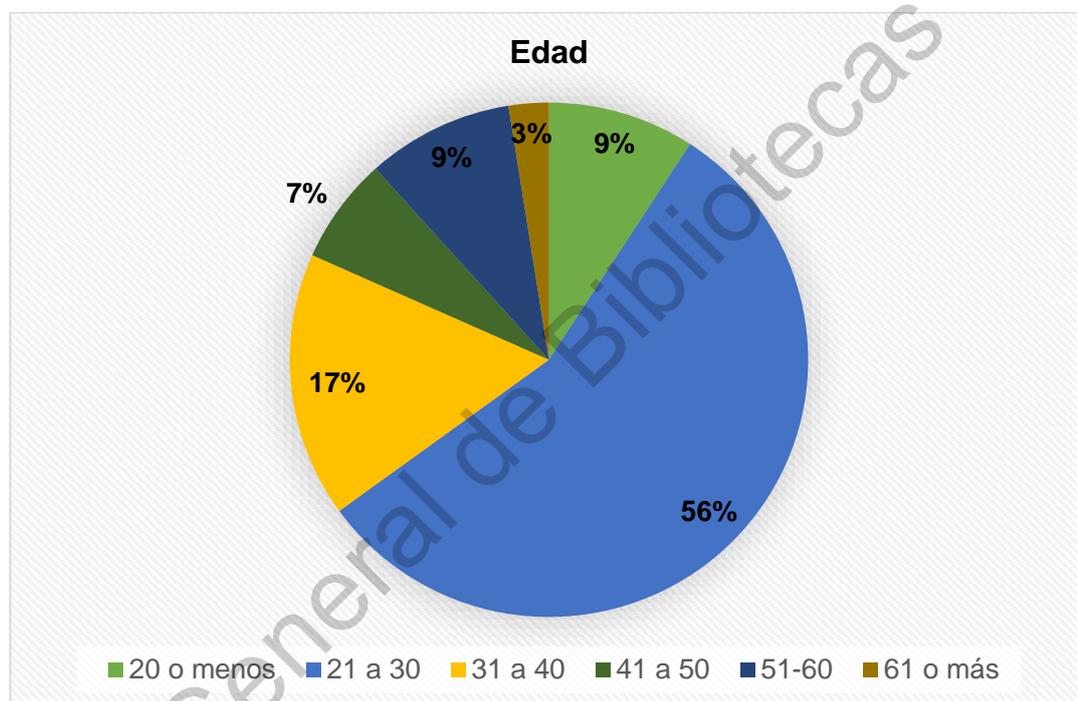


Figura 30. Edad de los participantes del cuestionario

En la Figura 31 muestra que el 62% de los participantes en este cuestionario son mujeres y el otro 38% son hombres, es decir, 75 mujeres y 45 hombres.

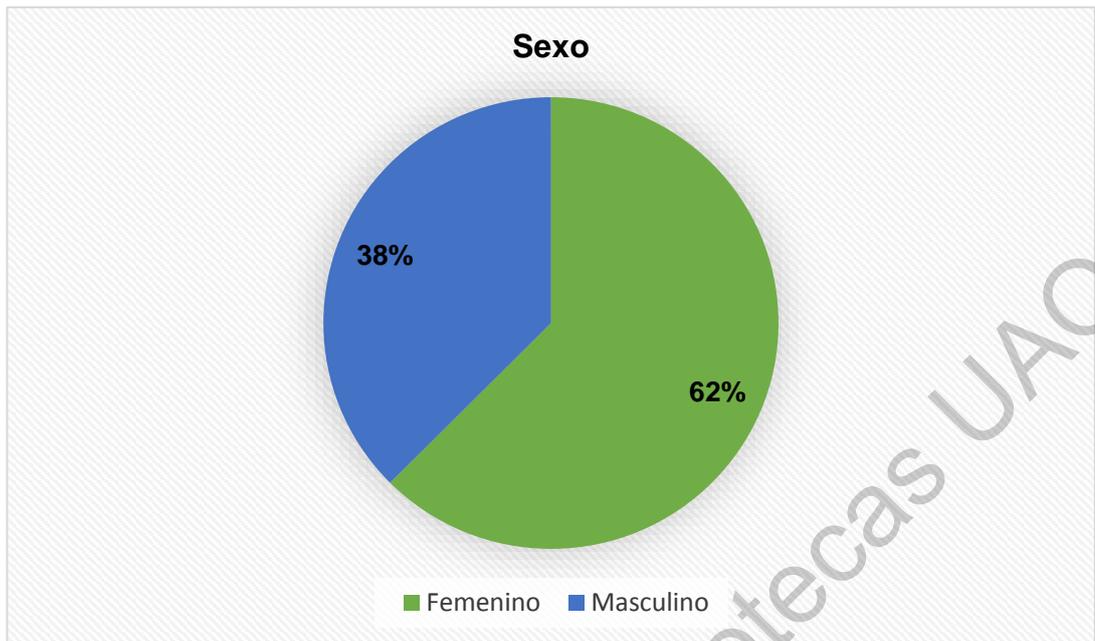


Figura 31. Sexo de los participantes del cuestionario

La Figura 32 muestra la escolaridad cursada de los participantes, en su mayor parte tienen licenciatura cursada, un total de 66 participantes, en segundo lugar, están los que tienen un posgrado y preparatoria.

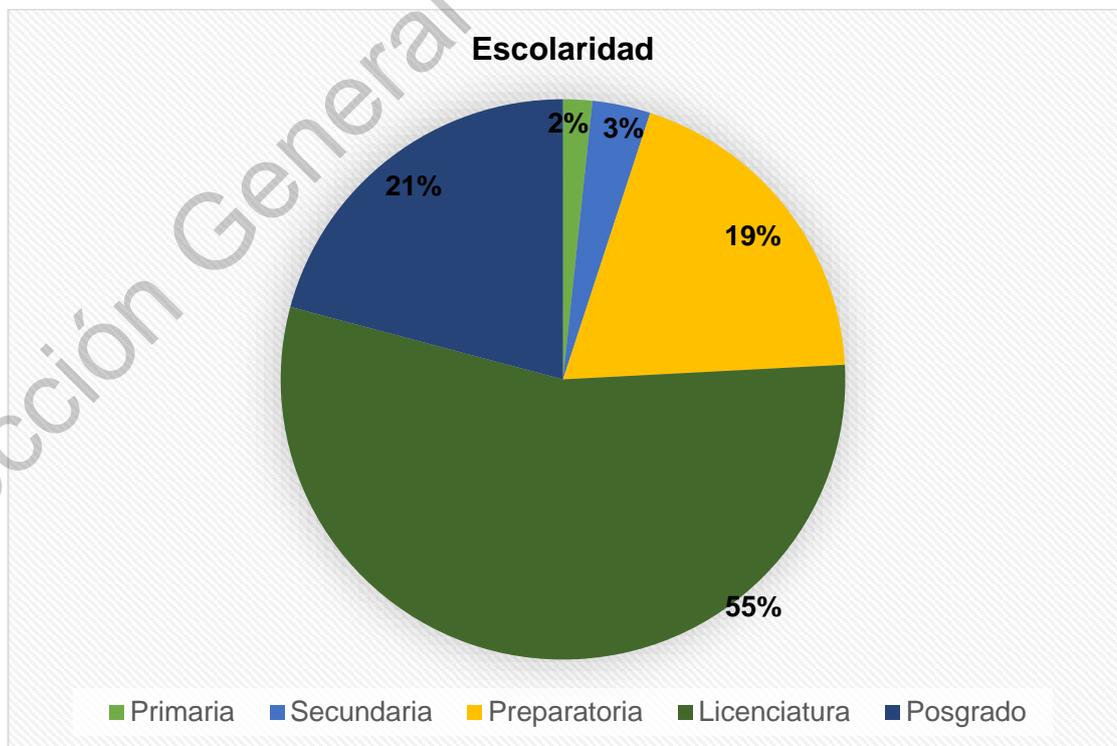


Figura 32. Escolaridad cursada de los participantes del cuestionario

6.1.2 Importancia a los atributos de calidad de frutas y verduras

La escala de Likert para el nivel de importancia es la siguiente:

1. Nada importante
2. Poco importante
3. Moderadamente importante
4. Importante
5. Muy importante

En la Figura 33 se muestra la importancia a cada atributo de calidad. Se observó que la firmeza, maduración/color y aroma son los principales atributos de calidad que influyen en la selección y compra, aunque no existe diferencia estadísticamente significativa entre estos 3, sin embargo, en cuanto al origen del alimento se observa diferencia significativa, ya que no lo consideraron un atributo de importancia que influya en la selección y compra de alimentos. López-Salazar (2019) menciona que el precio es un factor importante, así lo expresaron los consumidores en su estudio, ya que esperan que sean más asequibles por un precio bajo y que haya mayor disposición y oferta en el mercado.

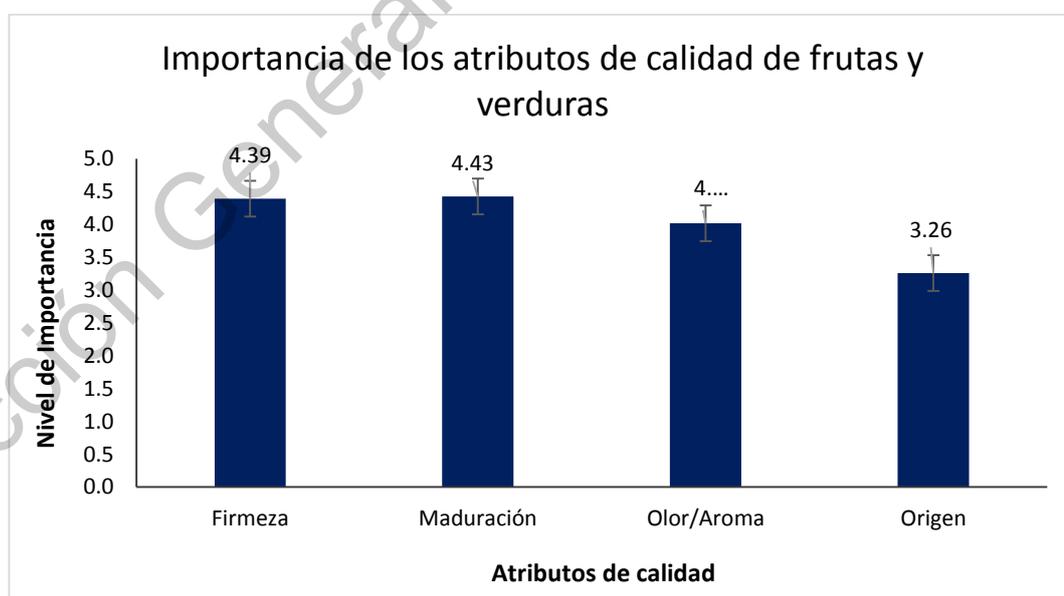


Figura 33. Importancia de los atributos de calidad de frutas y verduras

Además, también se observó (Figura 34) que existe un interés en que se compren los productos hortofrutícolas a granel, ya que el 51% de estos

consumidores está totalmente de acuerdo con que es mejor opción comprar a granel que comprar con envasado tradicional (cajas pet, bolsas). El 33% de los participantes está de acuerdo con los productos a granel. Por lo tanto, el 84% de los participantes de este cuestionario, está consciente del daño ecológico que causan los empaques al medio ambiente, además que le da oportunidad a los recubrimientos comestibles como alternativa al uso de empaque tradicional en los productos hortofrutícolas.

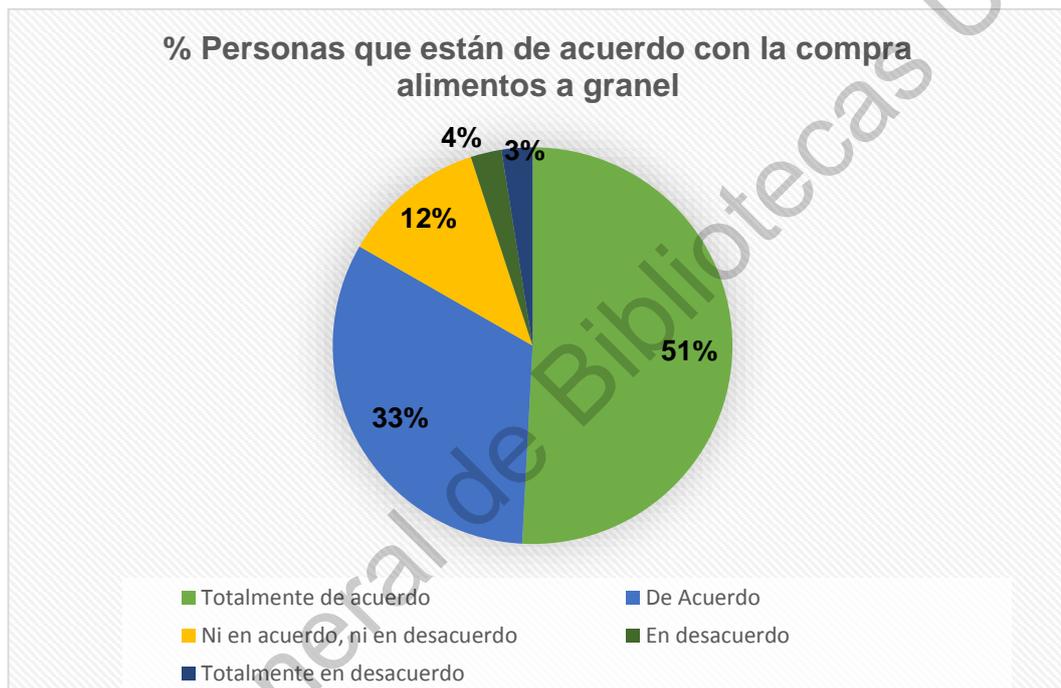


Figura 34. Porcentaje de personas que están de acuerdo con compras a granel.

En la Figura 35 se muestra los resultados de las preferencias en los atributos de calidad tanto para hombres como para mujeres. en ambos casos. Se observa que no existe diferencia estadísticamente significativa entre las preferencias de hombres y mujeres. Tampoco hay diferencia significativa entre los parámetros de textura, maduración y olor, mientras que para el origen del producto si existe diferencia estadísticamente significativa de los otros 3 parámetros. En cuanto al origen, diversos factores influyen para que los consumidores no los compren.

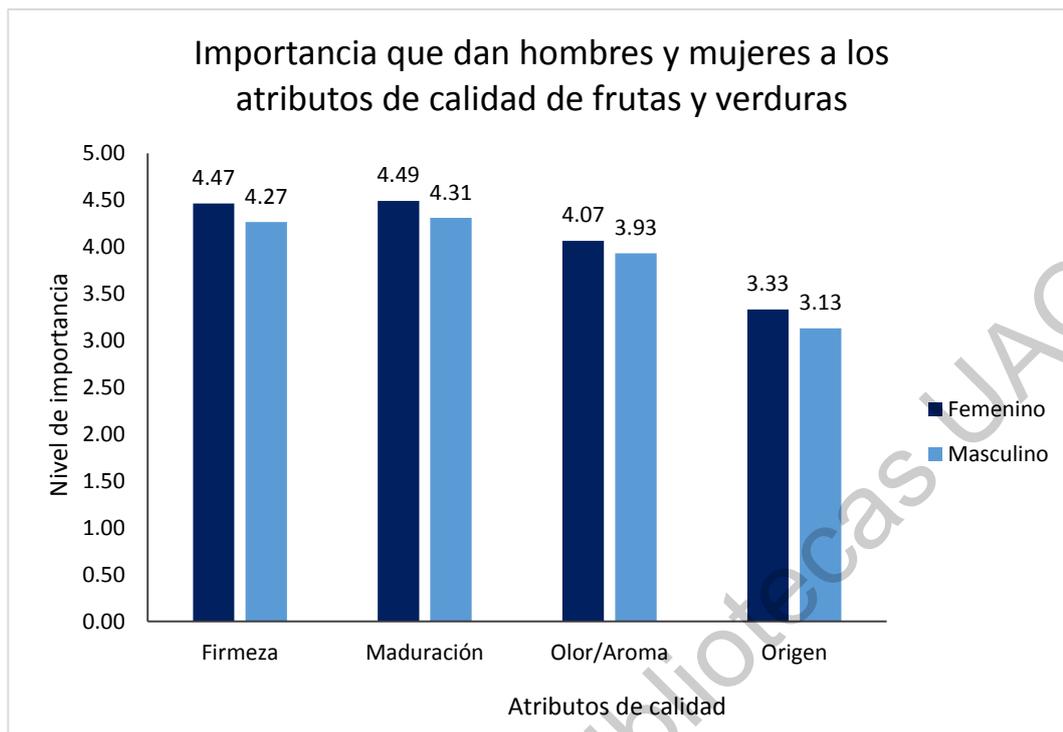


Figura 35. Importancia que dan hombres y mujeres a los atributos de calidad de frutas y verduras

6.1.3 Productos a granel como mejor opción de compra

En la escala de Likert, para determinar el nivel de acuerdo o desacuerdo, se utilizan los siguientes valores:

1. Totalmente en desacuerdo
2. En desacuerdo
3. Ni de acuerdo, ni en desacuerdo
4. De acuerdo
5. Totalmente de acuerdo

En la Figura 36 se muestra que las mujeres están en mayor acuerdo de comprar productos a granel y que es mejor opción que los productos con empaque tradicional. Sin embargo, difiere con la respuesta de los hombres de manera significativa, ya que para estos no es tan importante la opción a granel. Aunque la tendencia es hacia el 4 y 5, que marca de acuerdo y completamente de acuerdo con la opción de comprar productos a granel.

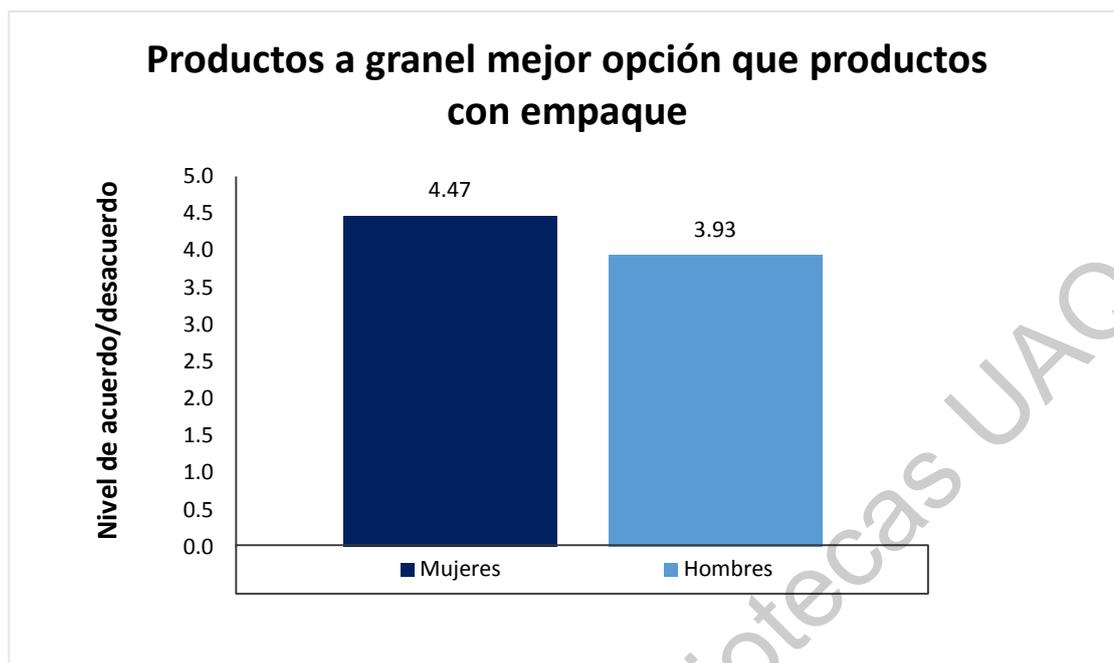


Figura 36. Nivel de acuerdo con productos a granel mejor opción que productos con empaque

6.2 Efecto de la aplicación del prototipo de recubrimiento en fresa

6.2.1 Pérdida de peso

En la Figura 37, se muestra la pérdida de peso de las fresas durante los 7 días de almacenamiento. Se observa que la pérdida de peso fue mayor en las fresas control. Para los tratamientos del 1 al 4 (ver Tabla 4) no hubo diferencia estadísticamente significativa en cuanto a la pérdida de peso; sin embargo, en el T2, la pérdida de peso fue ligeramente menor ya que este corresponde a las fresas que fueron sumergidas por 3 min, lo cual pudo influir en la disminución de pérdida de peso. May-Gutiérrez (2009) y Del-Valle (2005), reportaron una menor pérdida de peso en fresas recubiertas con mucílago.

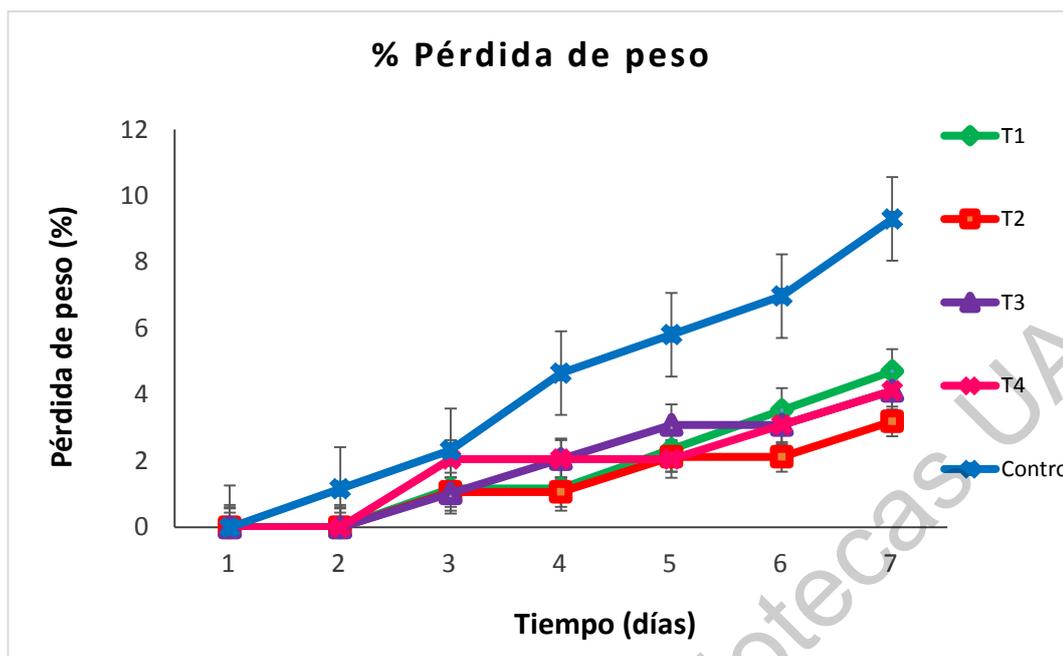


Figura 37. Pérdida de peso de fresas recubiertas y sin recubrir

6.2.2 Apariencia visual

En cuanto a apariencia visual, el T1 y T2 no presentaron crecimiento de microorganismos en los 7 días de almacenamiento. El T3 y T4 mostraron crecimiento de microorganismos en el sexto día, estos 2 tratamientos correspondían a las fresas con recubrimiento sin aceite esencial. El grupo control presentó crecimiento de microorganismos al segundo día de almacenamiento, estos microorganismos se desarrollaron durante los siguientes días de almacenamiento (Figura 38). May Gutiérrez (2009), en su estudio, no encontró crecimiento microbiano sobre la superficie de fresas recubiertas con mucílago, caso contrario a las fresas control, ya que si presentaron crecimiento de microorganismos sobre su superficie.

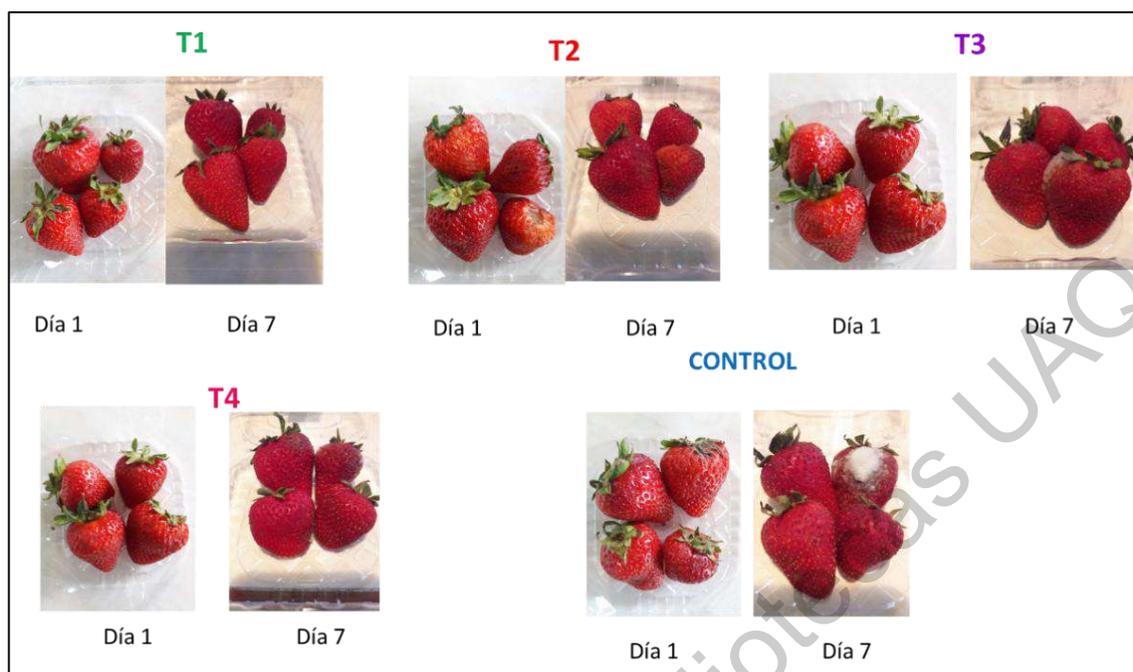


Figura 38. Apariencia visual de las fresas al día 1 y día 7 de almacenamiento

El recubrimiento con aceite esencial de naranja y un tiempo inmersión de 3 minutos tuvo efecto positivo sobre la fresa, ya que perdió menos peso que las fresas control y además no hubo crecimiento de microorganismos, que confirma que la esencia de naranja añadida a este recubrimiento inhibe el crecimiento de microorganismos. Por lo tanto, se confirma que el recubrimiento comestible si ralentiza la pérdida de agua de un fruto, en este caso se evidenció con una menor pérdida de peso, y si se le agrega un antimicrobiano, este evitará la contaminación y crecimiento de microorganismos sobre el producto.

Esta prueba preliminar demostró que el aceite esencial, en combinación con el mucilago de nopal, tiene efecto antimicrobiano en el recubrimiento aplicado sobre fresa, dicho recubrimiento fue capaz de inhibir el crecimiento microbiano y ralentizar la pérdida de peso en fresas, además de mantener su firmeza. Estos resultados conducen a continuar con el desarrollo de este proyecto.

6.3 Caracterización de películas comestibles

Todas películas mostraron una excelente adherencia (Figura 39), ya que fue difícil separarla de la estructura soporte donde fueron formadas, esto se debe a que la pectina tiene propiedades de adherencia a las superficies (Chiriví-Torres y Palencia Suárez, 2019).



Figura 39. Película adherida a la estructura soporte

6.3.1 Espesor

De acuerdo con el análisis de varianza, no hubo diferencia estadísticamente significativa en cuanto al espesor de las películas, por lo tanto, la variación de los componentes si afectó el valor de espesor. En este estudio el espesor de las películas fue de 0.053 a 0.92 mm, lo cual es favorable, ya que no sobrepasa los 0.3 mm sugerido por Pavlath y Orts (2009). La Figura 40 muestra la gráfica de intervalos de Espesor vs Tratamiento.

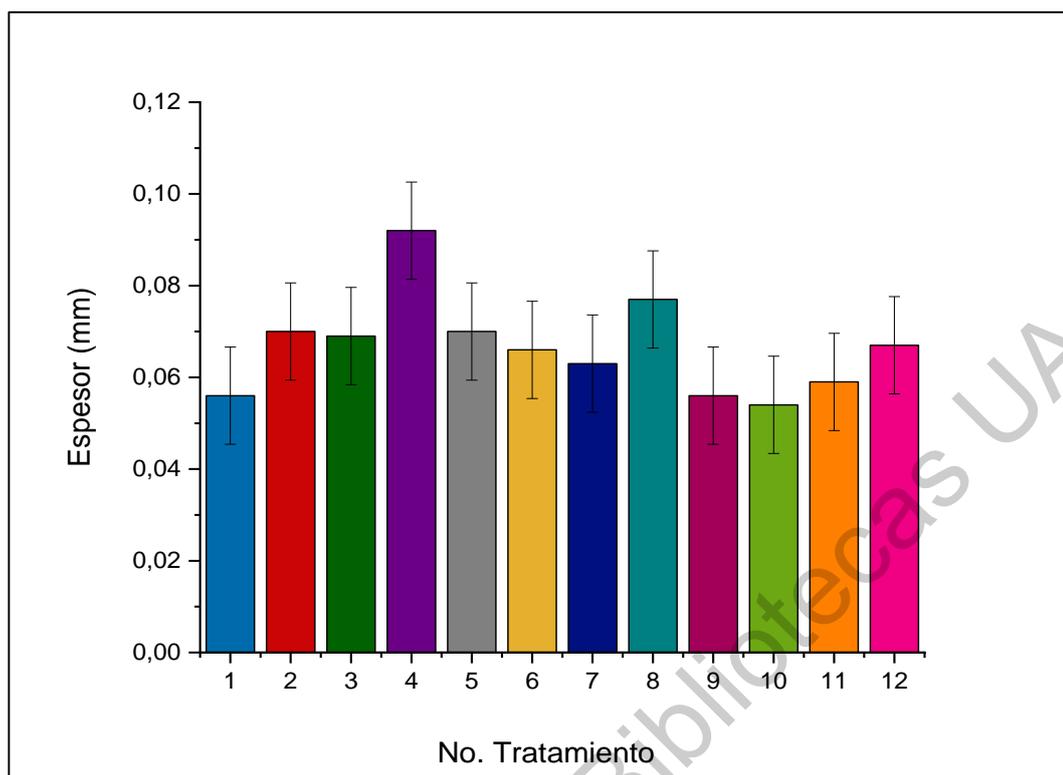


Figura 40. Intervalos del espesor vs tratamiento (formulación)

En cuanto a los efectos principales para espesor, de acuerdo con los tres factores estudiados (mucílago – pectina – aceite esencial de naranja), se realizó un análisis trifactorial para espesor vs mucílago, espesor vs pectina, y espesor vs aceite esencial de naranja. Resultando que el factor pectina si tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el espesor de las películas (ver Tabla 7). El factor pectina tuvo un efecto significativo, ya que a medida que aumenta su concentración, el espesor de la película aumenta también.

Tabla 7. Análisis varianza factorial para espesor

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Mucílago	1	0,000098	0,000098	0,56	0,460
Pectina	1	0,000832	0,000832	4,74	0,037
AE naranja	2	0,001093	0,000547	3,12	0,059
Error	31	0,005440	0,000175		
Falta de ajuste	5	0,001605	0,000321	2,18	0,088
Error puro	26	0,003836	0,000148		
Total	35	0,007291			

En cuanto al análisis de Tukey, se pudo observar (Tabla 8) que hubo diferencia estadísticamente significativa en los tratamientos 4 respecto al 9 y 10.

Tabla 8. Comparación de medias por Tukey para espesor.

Tratamiento	N	Media	Agrupación
4	3	0,0920	A
8	3	0,07658	A B
2	3	0,06967	A B
5	3	0,06950	A B
3	3	0,06875	A B
12	3	0,06742	A B
6	3	0,06608	A B
7	3	0,06250	A B
11	3	0,05867	A B
1	3	0,05617	A B
9	3	0,05592	A B
10	3	0,05383	A B

Galus y Lenart (2013), estudiaron películas comestibles con distintas concentraciones de alginato de sodio y pectina. En cuanto al espesor, hubo diferencia estadísticamente significativa entre sus tratamientos, ya que a medida que aumentó la concentración de pectina en las películas, el espesor aumentó. Esto, fue asociado a las propiedades coloidales únicas del compuesto (pectina).

En otro estudio, Salinas-Salazar (2014), en películas con mucílago de nopal y cera de abeja, reportó que a medida que aumentaron las concentraciones de los componentes en las películas, el espesor también aumentó. El intervalo de espesor en las películas iba de 0.1 a 0.17 mm.

6.3.2 Color

6.3.2.1 Cromo

A continuación, se muestran los valores del análisis de Cromo (Figura 41). De acuerdo con el análisis de varianza, si hubo diferencia estadísticamente significativa entre los diferentes tratamientos. Es decir, la concentración de los componentes si tendrá efecto sobre el valor de croma.

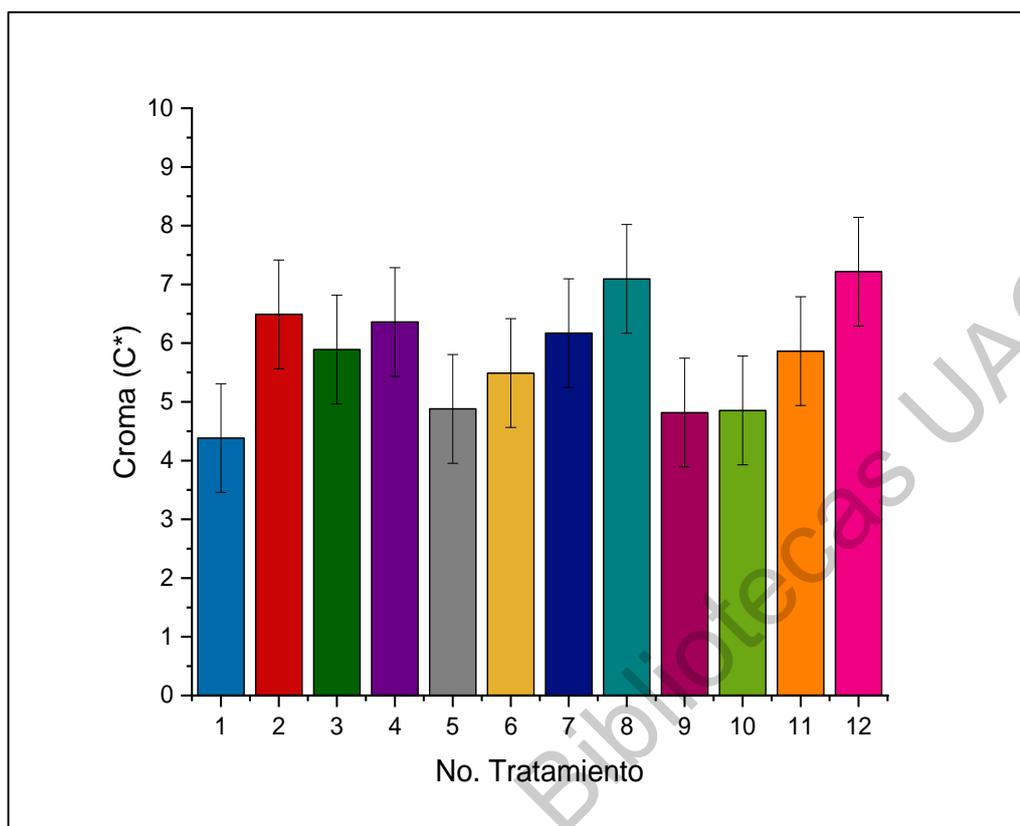


Figura 41. Intervalos de croma vs tratamiento (formulación)

Salinas Salazar (2014) encontró diferencia estadísticamente significativa en películas de mucílago, cera de abeja y grenetina, en cuanto a croma, este valor aumentaba cuando la concentración aumentaba. En este caso, el valor de croma aumenta cuando el valor de pectina aumenta, por lo tanto, la película será menos pálida cuando aumente la concentración de pectina.

De acuerdo con el análisis de varianza para evaluar los efectos de croma vs mucílago; pectina; aceite esencia de naranja, se determinó que el factor pectina es el único que tiene efecto estadísticamente significativo sobre el valor de croma (ver Tabla 9). Se determinó que el factor pectina afecta el valor de croma, ya que a medida que aumenta la concentración de pectina, el valor de croma aumenta también, es decir el color de la película es más intenso.

Tabla 9. Análisis de varianza para Croma.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Mucílago	1	1,7535	1,75355	1,64	0,210
Pectina	1	7,4314	7,43144	6,94	0,013
AE naranja	2	0,1321	0,06607	0,06	0,940
Error	31	33,2155	1,07147		
Falta de ajuste	5	12,4890	2,49780	3,13	0,024
Error puro	26	20,7265	0,79717		
Total	35	42,6648			

En cuanto a las comparaciones de medias por Tukey, se pudo observar que entre los tratamientos 1 y 8; 1 y 12; 5 y 12; 9 y 12; 10 y 12, si hubo diferencia estadísticamente significativa (Tabla 10).

Tabla 10. Comparación de medias por Tukey para cromas

Tratamiento	N	Media	Agrupación	
12	3	7,217	A	
8	3	7,093	A	B
2	3	6,490	A	B C
4	3	6,360	A	B C
7	3	6,170	A	B C
3	3	5,890	A	B C
11	3	5,863	A	B C
6	3	5,490	A	B C
5	3	4,880		B C
10	3	4,853		B C
9	3	4,817		B C
1	3	4,383		C

6.3.2.2 Tono

De acuerdo con el análisis estadístico, no hubo diferencia entre los tratamientos para el valor de Hue o tono. En la gráfica (Figura 42) se muestra el intervalo de los 12 tratamientos de las películas comestibles. Estos resultados son favorables para las películas, ya que las concentraciones de los componentes de las películas no tienen efecto sobre el valor de Hue. Con este

rango de valores de h° , entre 77 y 85, el tono del producto tiende a ser ligeramente amarillo.

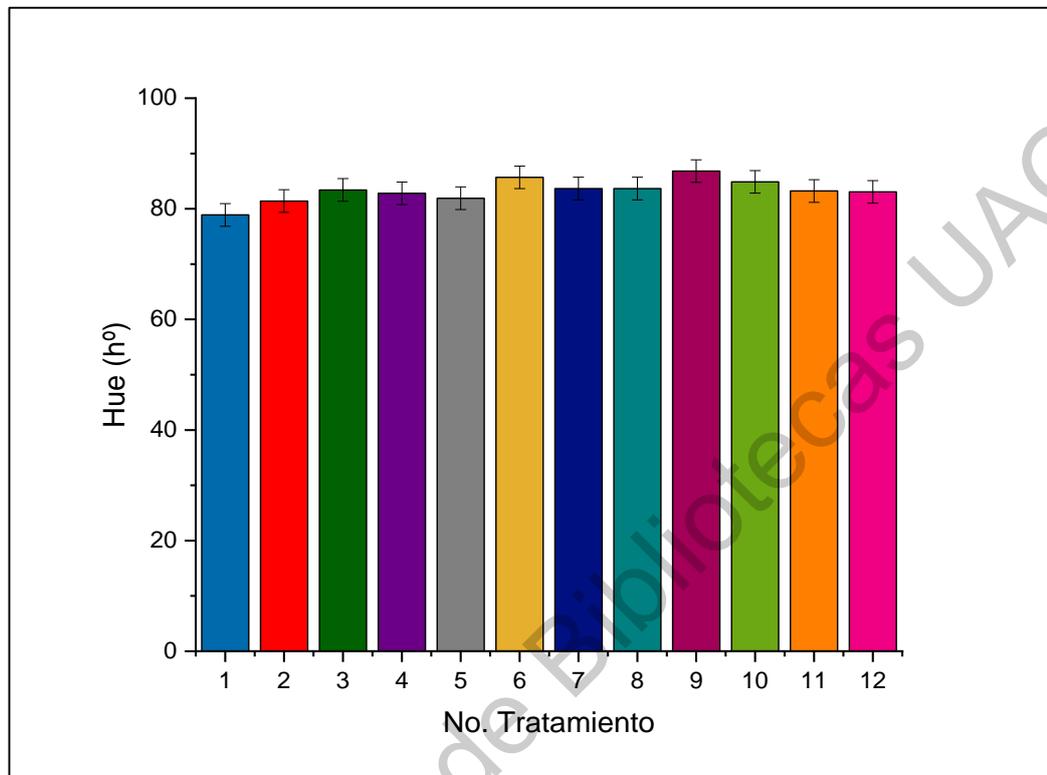


Figura 42. Intervalos de Hue vs tratamiento (formulación)

6.3.2.3 Luminosidad

En el análisis de varianza para esta variable, no hubo diferencia significativa entre los tratamientos (Figura 43), es decir la concentración de los componentes no afecta la luminosidad de las películas. Con estos valores de L^* , entre 89 a 92. las películas tienen una alta luminosidad.

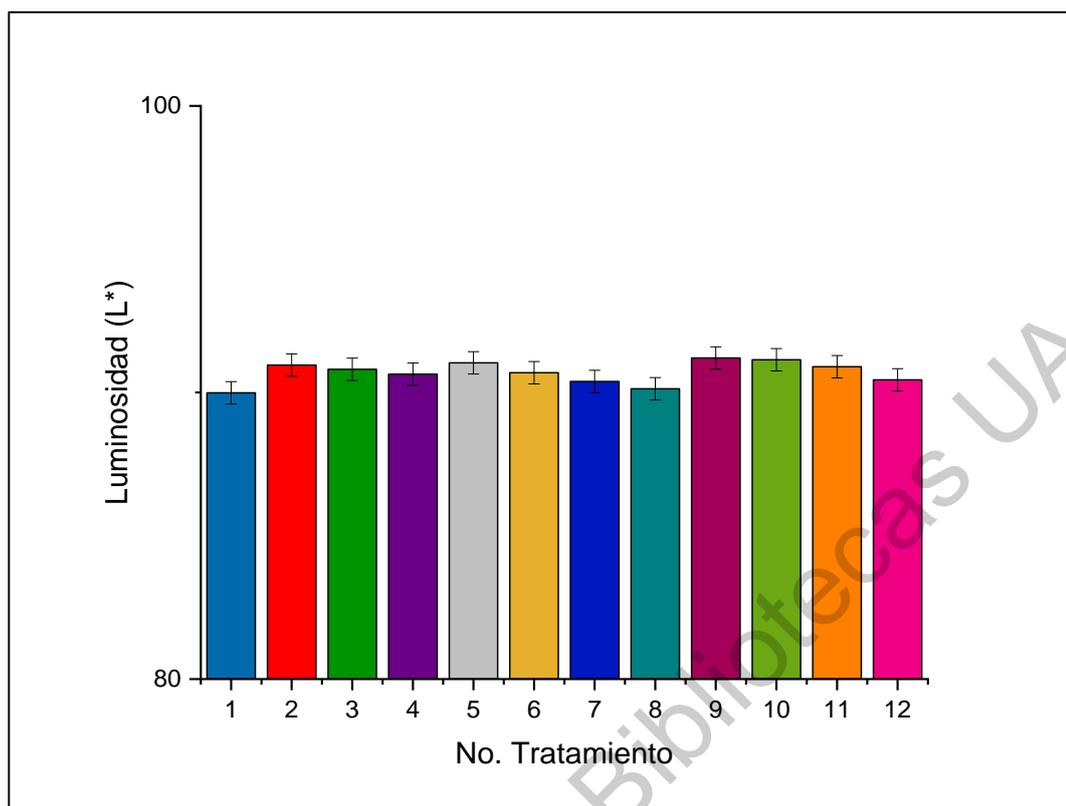


Figura 43. Intervalos de luminosidad vs tratamiento (formulación)

Galus y Lenart (2013), reportaron que no hubo diferencias estadísticamente significativas en cuanto al color en películas de alginato de sodio y pectina.

El color en productos alimenticios es un atributo sensorial de suma importancia y el cual se debe controlar al usar este tipo de tecnologías como películas y recubrimientos comestibles (Falguera *et al*, 2011; Galus y Linart, 2013), por esta razón, lo ideal es que las películas y recubrimientos sean lo más incoloros posible (Rhim *et al*, 2002; Galus y Linart, 2013).

6.3.3 Transparencia

De acuerdo con el análisis de varianza, si hubo diferencia en cuanto al valor de transparencia. Es decir, que la concentración de los componentes si afecta la transparencia de las películas. La Figura 44 muestra la gráfica de intervalos de los 12 tratamientos para la variable de respuesta Transparencia.

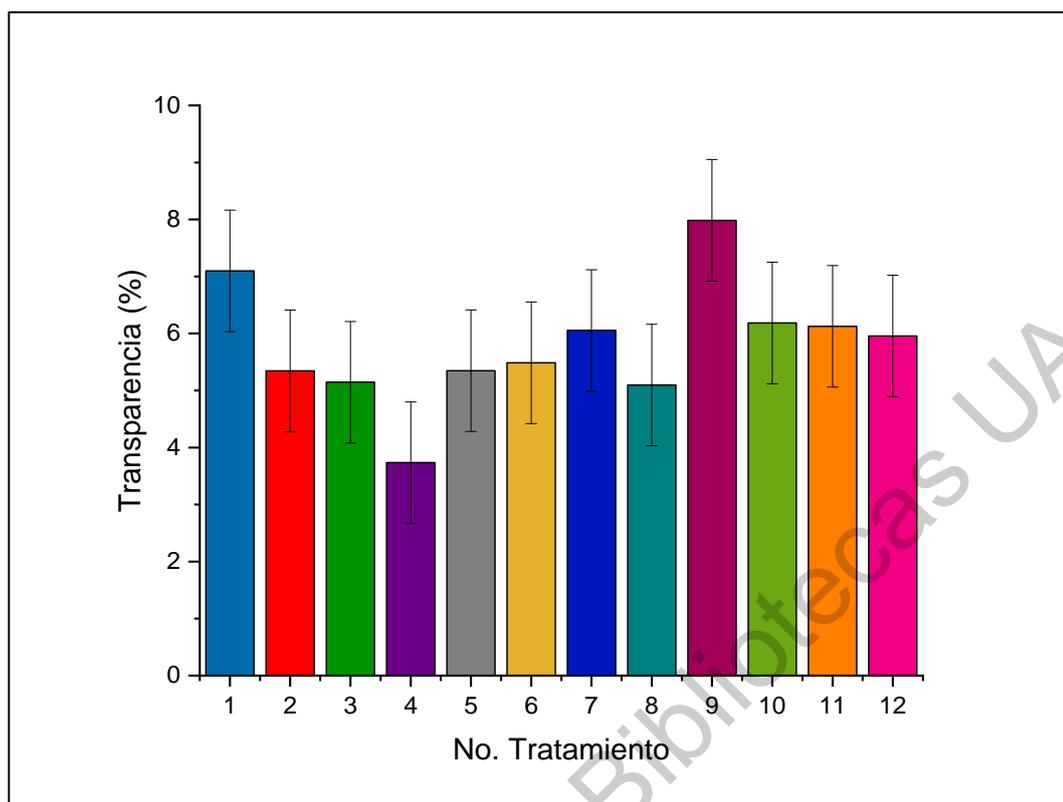


Figura 44. Intervalos de transparencia vs tratamiento (formulación)

De acuerdo con el análisis del modelo lineal general de: transparencia vs mucílago; pectina; aceite esencia de naranja, se determinó que el factor pectina es el único que tiene efecto estadísticamente significativo sobre el valor de transparencia (ver Tabla 11).

Tabla 11. Análisis de varianza para transparencia

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Mucílago	1	0,5177	0,5177	0,31	0,580
Pectina	1	9,9550	9,9550	6,03	0,020
AE naranja	2	10,4647	5,2324	3,17	0,056
Error	31	51,2082	1,6519		
Falta de ajuste	5	16,6759	3,3352	2,51	0,055
Error puro	26	34,5323	1,3282		
Total	35	70,5336			

Se determinó que el nivel de pectina influye en la transparencia de las películas, ya que a mayor concentración de pectina menor transparencia en las películas.

En cuanto al análisis de medias por Tukey (Tabla 12), se pudo observar que entre los tratamientos 9 y 4 se presentó diferencia estadísticamente significativa.

Tabla 11. Comparación de medias por Tukey para transparencia

Tratamiento	N	Media	Agrupación
9	3	7,98	A
1	3	7,098	A B
10	3	6,185	A B
11	3	6,125	A B
7	3	6,054	A B
12	3	5,957	A B
6	3	5,486	A B
5	3	5,348	A B
2	3	5,345	A B
3	3	5,146	A B
8	3	5,097	A B
4	3	3,735	A B

Resultados similares encontró Salinas-Salazar (2014), ya que a medida que aumentó la concentración de mucílago, cera de abeja y grenetina, las películas mostraron menor transparencia. Lo cual está relacionado con el espesor, ya que, si la película es más delgada, la luz puede pasar parcialmente a través de las mismas, provocando una mayor transparencia, sin embargo, si el espesor aumenta, el material se vuelve más opaco debido a un menor paso de luz (Fakhoury *et al.*, 2012; Salinas-Salazar, 2014).

En este caso, las películas con mayor concentración de pectina mostraron menor transparencia, por lo que, lo ideal sería tener un recubrimiento con menor transparencia para que no afecte el color o apariencia visual del producto recubierto.

6.3.4 Espectroscopia infrarroja

De acuerdo con la identificación del número de banda (Figura 45), coinciden con algunos estudios de espectroscopia infrarroja en mucílago (Contreras-Padilla *et al.*, 2016); en pectinas (Chasquibol *et al.*, 2008) y aceite esencial de naranja (Carmona-Hernández, 2015). Se identificaron las siguientes bandas: 3304.26 que corresponde al enlace O-H, que pertenecen al grupo hidroxilo, por vibraciones de tensión; 2921.9 que corresponden a las vibraciones por tensión de C-H de los grupos de piranosa; 2160.83 que corresponde a vibraciones de tensión de los C-C; 1733.93 que pertenecen a los grupos de carbonilos; 1598.38, pertenecen a las vibraciones por tensión de C=C de los grupos carboxilo; 1414.72 corresponde a las vibraciones de flexión de H-C-H; 1368.52 a las vibraciones de tensión de C-O-H y 1328.54 a las vibraciones de tensión de C-O; 1240,77 se asocia a las vibraciones por tensión de los metoxilos C-O-C, 1072.51 y 1044.14 se asocia a los anillos de piranosa; las bandas 1013.33, 975.36 y 920.23 corresponden a la presencia de limonenos; 888.31 a las vibraciones de limoneno + mirceno y a los azúcares alfa; 835.31 a las vibraciones causadas por las flavonas y por último de 801.27, 762.1, 667.86, 631.62, 602.16 corresponden a las vibraciones de limonenos.

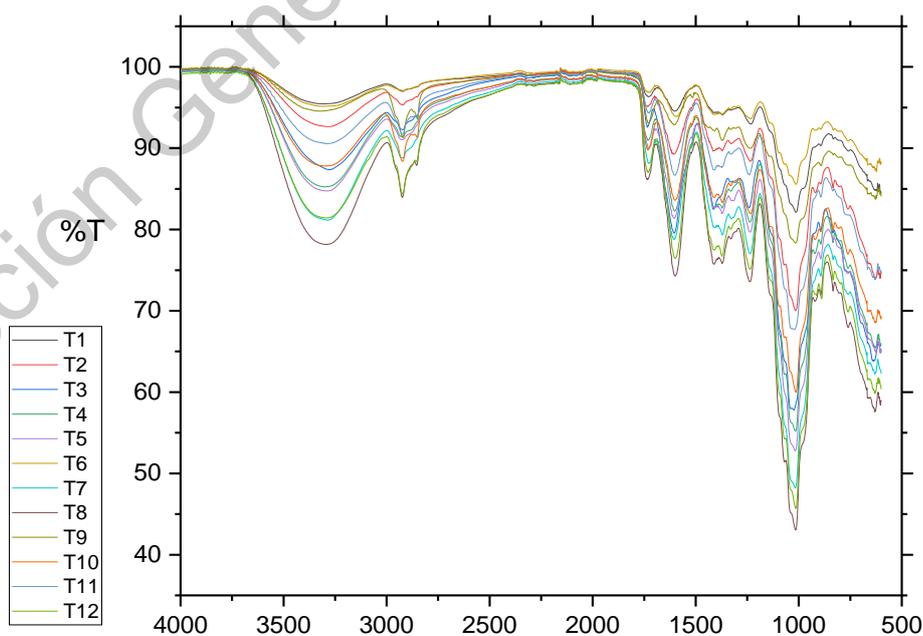


Figura 45. Espectro de FT-IR para las películas

Se observan diferentes intensidades de las bandas debido a la diferencia en concentraciones de los tres componentes principales (mucilago de nopal, pectina y aceite esencial de naranja) en las 12 formulaciones que se estudiaron. Los resultados de IR-FT indican que los componentes del recubrimiento solo son una mezcla y no parece haber formación de nuevos componentes.

6.3.5 Capacidad antimicrobiana

No hubo diferencia estadísticamente significativa entre el T2 y T3 (Tabla 6) que contenía 0.25 % y 0.5 % de aceite esencial de naranja en la suspensión formadora de recubrimiento. Si hubo diferencia significativa en cuanto a la suspensión que contenía aceite esencial de naranja en comparación con la suspensión que no tenía aceite esencial de naranja (T1). Como se puede observar aquellos tratamientos que contenían aceite esencial de naranja son los que presentan un mayor halo de inhibición.

En la Figura 46, se muestra la gráfica de intervalos del halo de inhibición de la suspensión formadora de recubrimiento con aceite esencial de naranja, para las dos cepas de interés. No hubo diferencia estadísticamente significativa entre el T2 y T3 (Tabla 6) que contenía 0.25 % y 0.5 % de aceite esencial de naranja en la suspensión formadora de recubrimiento. Si hubo diferencia significativa en cuanto a la suspensión que contenía aceite esencial de naranja en comparación con la suspensión que no tenía aceite esencial de naranja (T1). Como se puede observar aquellos tratamientos que contenían aceite esencial de naranja son los que presentan un mayor halo de inhibición.

En la Figura 46, se muestra la gráfica de intervalos del halo de inhibición de la suspensión formadora de recubrimiento con aceite esencial de naranja, para las dos cepas de interés.

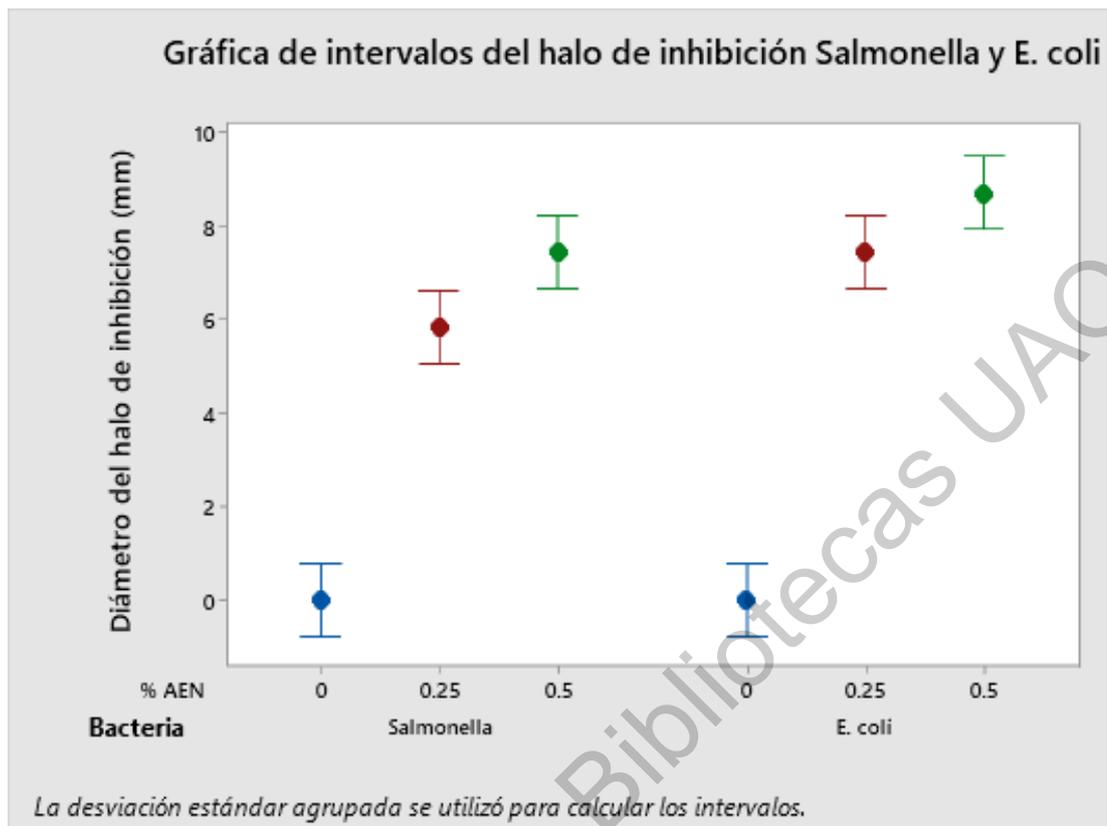


Figura 46: Gráfica de intervalo del halo de inhibición de *Salmonella* y *E. coli* respecto a la concentración en la suspensión formadora de recubrimiento

AEN: % de aceite esencial de naranja usada en la suspensión.

Sagaste *et al.* (2015), en un estudio similar determinaron la actividad inhibitoria del aceite esencial de naranja (sin diluir) en *Escherichia coli*, en el cual reportaron un diámetro de 25 mm, un valor muy alto respecto a lo reportado en este experimento. Sin embargo, cabe mencionar que, en este estudio el aceite esencial de naranja se encuentra como un componente del recubrimiento comestible, por lo que el halo de inhibición menor tiene que ver con la concentración diluida en dicha suspensión formadora de recubrimiento. También se ha encontrado efecto inhibitorio, del subproducto de naranja (polvo) frente a *Escherichia coli* y *Salmonella tipimoryum*, utilizando el método de concentración mínima inhibitoria (Pico-Foronda, 2013).

6.3.6 Permeabilidad al vapor de agua

La Figura 47 muestra la gráfica y datos de permeabilidad al vapor de agua de la película seleccionada (formulación 0.5% mucílago-0.25% pectinas-0.5% aceite esencial de naranja).

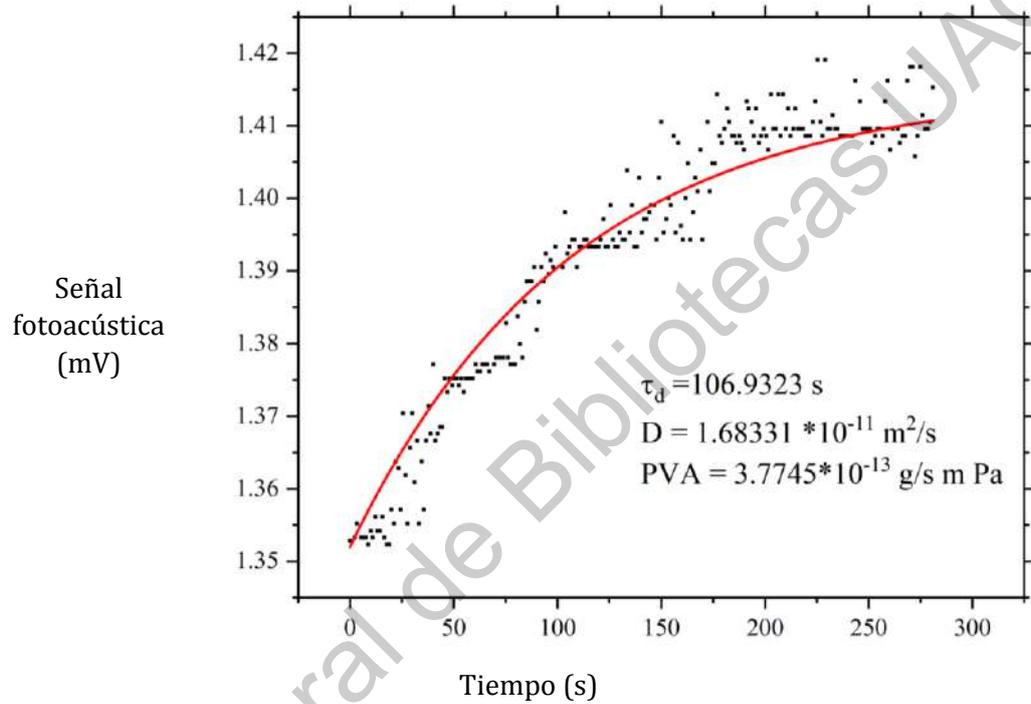


Figura 47. Permeabilidad de agua de la película seleccionada

En un estudio similar (Vázquez-Luna *et al.*, 2019) encontraron valores de PVA en películas de almidón y glicerol, entre 1.624×10^{-10} - 3.033×10^{-10} g/m·s·Pa. Estos valores son mayores que los resultados de este estudio. Dicha diferencia puede ser por el porcentaje de plastificante usado y por el uso de almidón. Además, las películas formadas a base de polisacáridos tienen una buena barrera a los gases, pero debido a su naturaleza hidrofílica son pobres en cuanto a la barrera de agua (Bertuzzi *et al.*, 2007; Vázquez-Luna *et al.*, 2019), por lo tanto, su barrera al vapor de agua será baja en comparación de recubrimientos hechos a base de lípidos; la adición de un aceite esencial de naranja ayuda a disminuir la permeabilidad al vapor de agua.

6.4 Efecto de la aplicación del recubrimiento en fresa

6.4.1 Apariencia visual

La Figura 48 muestra la apariencia visual de la fresa al inicio del experimento y al final (18 días). Los frutos con recubrimiento se mostraron más firmes y de un color rojizo claro a comparación de los frutos control, que perdieron firmeza a partir del día 4; sin embargo, las fresas con recubrimiento empezaron a mostrar disminución de su firmeza al día 12 de almacenamiento.



Figura 48. Apariencia visual de fresas con recubrimiento y fresas control

La fresa es una de las frutas más populares y con mayor demanda a nivel mundial. En otros estudios de recubrimientos aplicados en fresa (Escalante-Varon, 2015; Ramos-Moya y Oñate-Zúñiga, 2018; García-Figueroa *et al.*, 2019), las fresas recubiertas mostraron una mejor apariencia al final del experimento.

La calidad sensorial de la fresa está basada principalmente en su apariencia (Ojeda-Real, 2008). La apariencia es la primera impresión que el consumidor recibe y el componente más importante para la aceptación y eventualmente la compra (FAO, 2003). Para los distribuidores comerciales, la calidad de apariencia es lo más importante, además de las características de

firmeza y la vida de almacenamiento del producto. Finalmente, los consumidores demandan un producto con buena apariencia, buena firmeza, con un agradable sabor y con un adecuado valor nutritivo (Kader, 1988). Para el caso de la fresa, la firmeza es uno de los principales atributos, por lo que un aspecto muy importante a considerar durante su manejo poscosecha es la pérdida de su calidad debido a la alteración de su textura (suavizamiento excesivo) (Buitrago et al., 2004).

6.4.2 Pérdida de peso

De acuerdo con el análisis de varianza, no hubo diferencia estadísticamente significativa en cuanto al porcentaje de pérdida de peso (%PP) entre los dos tratamientos. Al día 18 de almacenamiento, la pérdida de peso del grupo control fue mayor, con una diferencia de 1.87% respecto al grupo con recubrimiento, aunque esta no fue significativa (Figura 49).

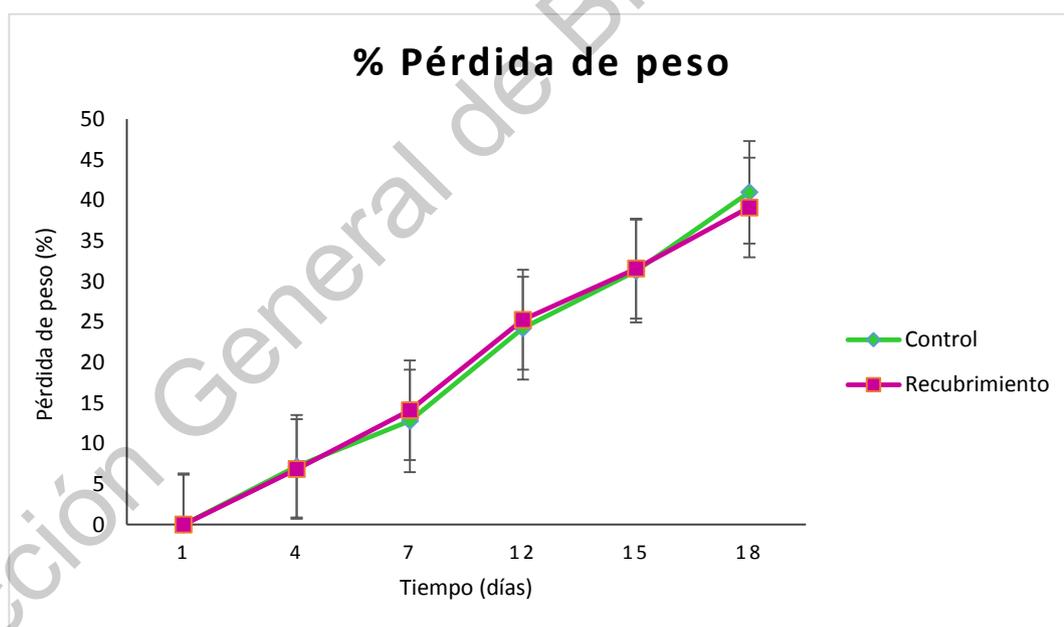


Figura 49. Efecto en la pérdida de peso de fresas con y sin recubrimiento.

En otros estudios, de recubrimiento de aloe vera y alginato de sodio (García-Figueroa *et al.*, 2019) se encontraron diferencias significativas (7-16%) sobre la pérdida de peso de fresa; en la aplicación de un recubrimiento de goma de tara sobre fresa también se encontraron diferencias significativas en cuanto al porcentaje de pérdida de peso de fresa (Escalante-Varon, 2015); en un

recubrimiento de almidón de papa aplicado sobre fresa, las fresas recubiertas también mostraron una menor pérdida de peso (Ramos-Moya y Oñate-Zúñiga, 2018), sin embargo, cabe mencionar que el tiempo de inmersión de la fresa en la suspensión fue de 10 minutos, lo que pudo favorecer una formación homogénea y completa del recubrimiento sobre la fresa, evitando así el transporte de agua de todo el fruto.

Pastor (2010) menciona que las películas elaboradas a partir de polisacáridos ofrecen buenas propiedades de barrera frente a los gases (CO_2 y O_2) dentro de ciertas condiciones, sin embargo, su funcionalidad como barrera contra la pérdida de humedad es pobre debido a su naturaleza hidrofílica. La adición de un lípido a este recubrimiento podría mejorar sus propiedades de barrera contra el agua, ya que, debido a su naturaleza hidrofóbica, pero son más permeables a los gases, además de ser más inflexibles, gruesas y con pobres propiedades mecánicas (Baldwin y Hagenmaier, 2012).

Por lo tanto, películas y recubrimientos comestibles a base de una mezcla de polisacáridos, proteínas y/o lípidos, permiten aprovechar las características funcionales distintas de cada compuesto, además de disminuir las desventajas de cada compuesto (Kester y Fennema, 1986; Vargas et al., 2008).

6.4.3 Color

6.4.3.1 Luminosidad

Se observaron diferencias estadísticamente significativas en cuanto al valor de luminosidad en fresas con recubrimiento y fresas sin recubrir, ya que la luminosidad en los frutos control disminuyó más rápido que en las fresas recubiertas (Figura 50). May-Gutierrez (2009) aplicó un recubrimiento de mucilago de nopal sobre fresa y se almacenó a $10\text{ }^\circ\text{C}$, en el cuál la luminosidad disminuyó al día 15 de almacenamiento, en este caso la tendencia a disminuir es similar a la de este estudio, ya que a partir del día 15 se observa una disminución en cuando al valor de luminosidad. El recubrimiento comestible no presenta alteraciones en el brillo típico del producto

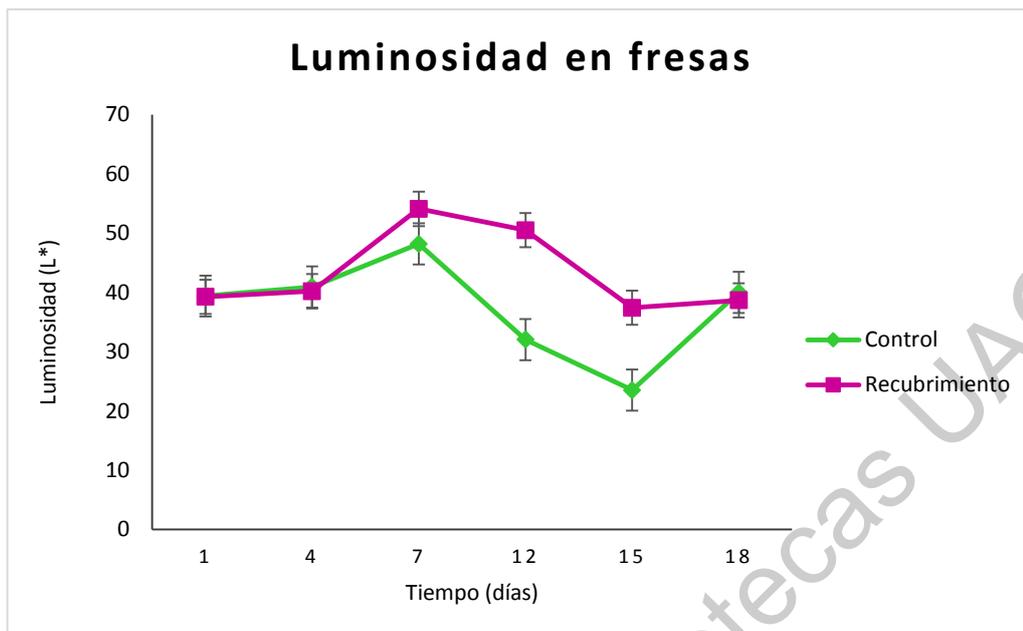


Figura 50. Efecto en la luminosidad de fresas con y sin recubrimiento.

6.4.3.2 Croma

Se observaron diferencias estadísticamente significativas en cuanto al valor de Croma, ya que a medida que pasaban los días el valor de Croma disminuía en las fresas control. Es decir, el color de las fresas recubiertas era más llamativo, que el color de las fresas control, ya que se veían más opacas. Esto está asociado a la apariencia visual (Figura 51)

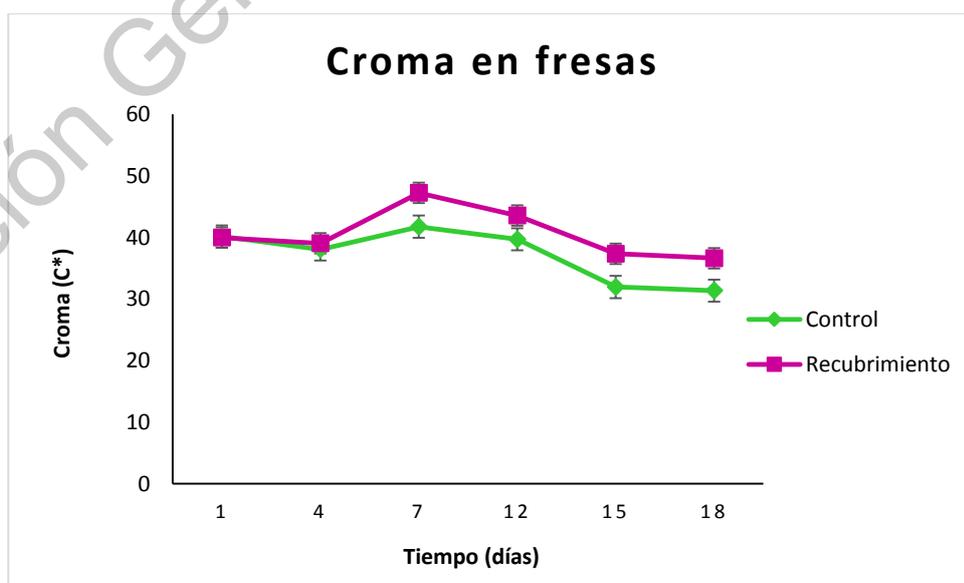


Figura 51. Efecto del cromas de fresas con y sin recubrimiento.

6.4.3.3 Tono

Se observaron diferencias significativas en cuanto al tono (Hue) entre los dos tratamientos. A medida que pasaba el tiempo de almacenamiento el tono de las fresas del grupo control se volvió más rojizo debido a que su valor de hue disminuyó (figura 52).

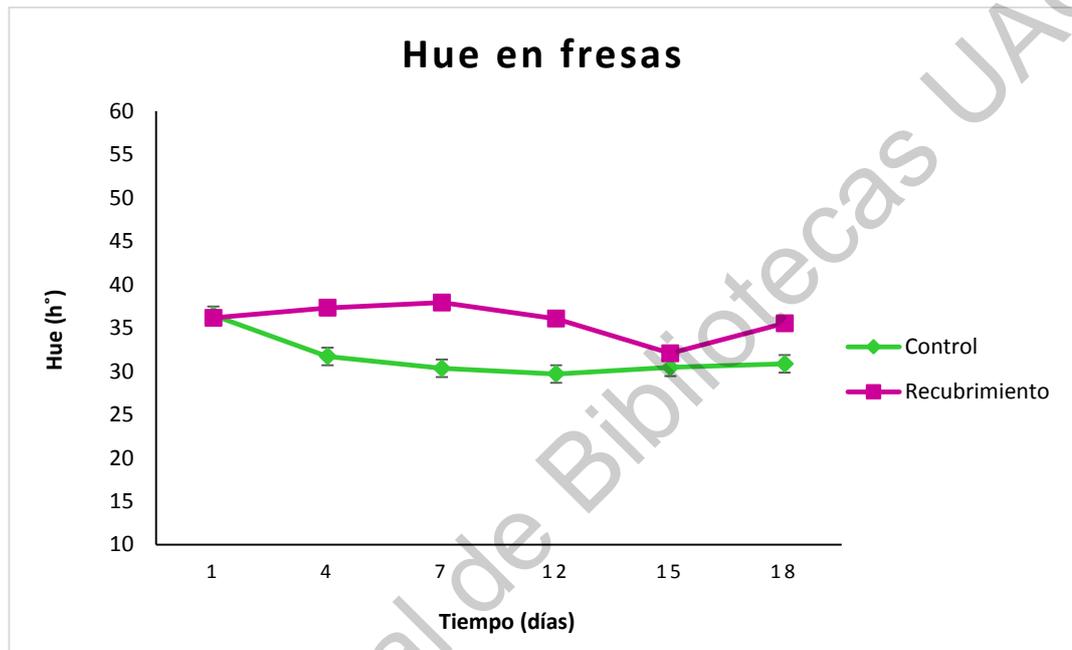


Figura 52. Efecto en Hue de fresas con recubrimiento y fresas control

Un valor más bajo de hue se asocia al color rojo oscuro mientras que un valor alto de hue, se asocia más a color rojo naranja. La figura 53 muestra el espacio de color CIE LCh, que usa el mismo esquema que el espacio de color CIE Lab, pero usa coordenadas cilíndricas en lugar de rectangulares. En este espacio de color, L (Luminosidad) es el brillo, C (Croma) es la saturación y h (Hue) el tono.

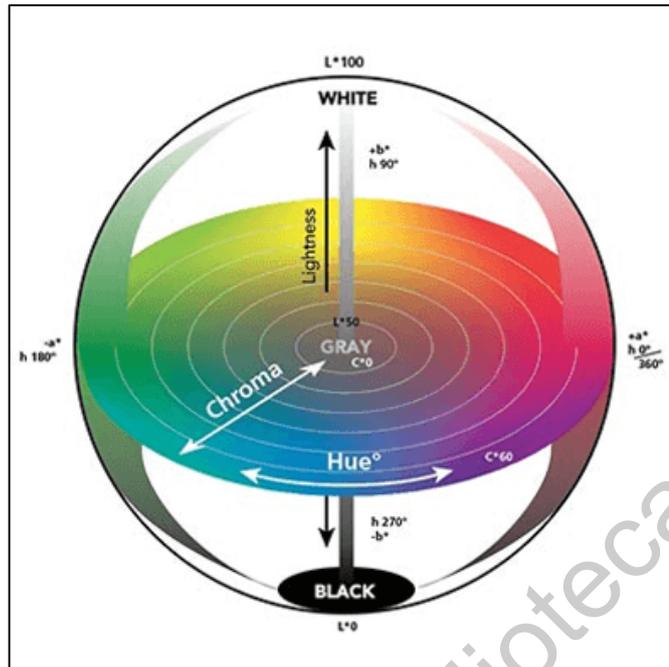


Figura 53. Espacio de color Hunter Lab.

García (2016) y García Figueroa (2019) reportaron una menor disminución de color en fresas recubiertas, se mostraron de un color rojo más claro que las fresas control. Aquellas que no fueron recubiertas mostraron un cambio significativo y notable en cuanto al color.

6.4.4 Sólidos solubles totales

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas respecto al tratamiento utilizado, pero si respecto al tiempo de almacenamiento, hubo un aumento para el parámetro sólidos solubles totales (° Brix) (Figura 54).

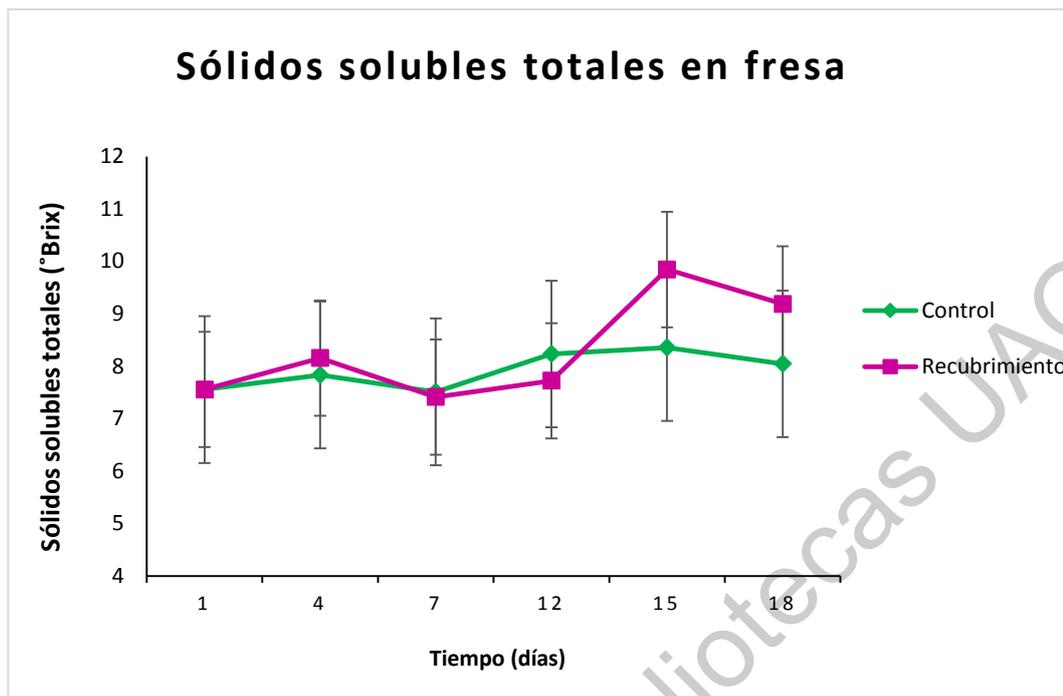


Figura 54. Sólidos solubles totales de fresas con recubrimiento y fresas control.

Salinas-Salazar (2014) aplicó un recubrimiento a base de mucílago de nopal y cera de abeja en ciruelas, tampoco presentó diferencia significativa ($P > 0.05$) en el contenido de sólidos solubles en todos los tratamientos durante y al final de todo el período de almacenamiento. May-Gutierrez (2009), reportó una diferencia significativa y un aumento de los °Brix a lo largo del tiempo.

6.4.5 pH

No encontraron diferencias estadísticamente significativas en cuanto al valor de pH (Figura 55) entre los tratamientos ni en el tiempo de almacenamiento. May-Gutierrez (2009) que aplicó recubrimiento de mucílago a fresa, y observó un ligero aumento en el pH. Paliyath y Murr (2008), Díaz-Mula *et al.* (2009 y 2011), Navarro-Tarazaga *et al.* (2011) y Valero *et al.* (2013) asocian que el uso de recubrimiento comestible genera una barrera semipermeable al O_2 y CO_2 modificando la atmósfera interna del fruto, funcionando como una atmósfera modificada que contribuye a reducir el metabolismo y respiración del fruto y por lo tanto a ralentizar el consumo o uso de ácidos orgánicos como sustratos para el metabolismo y respiratorio de los mismos.

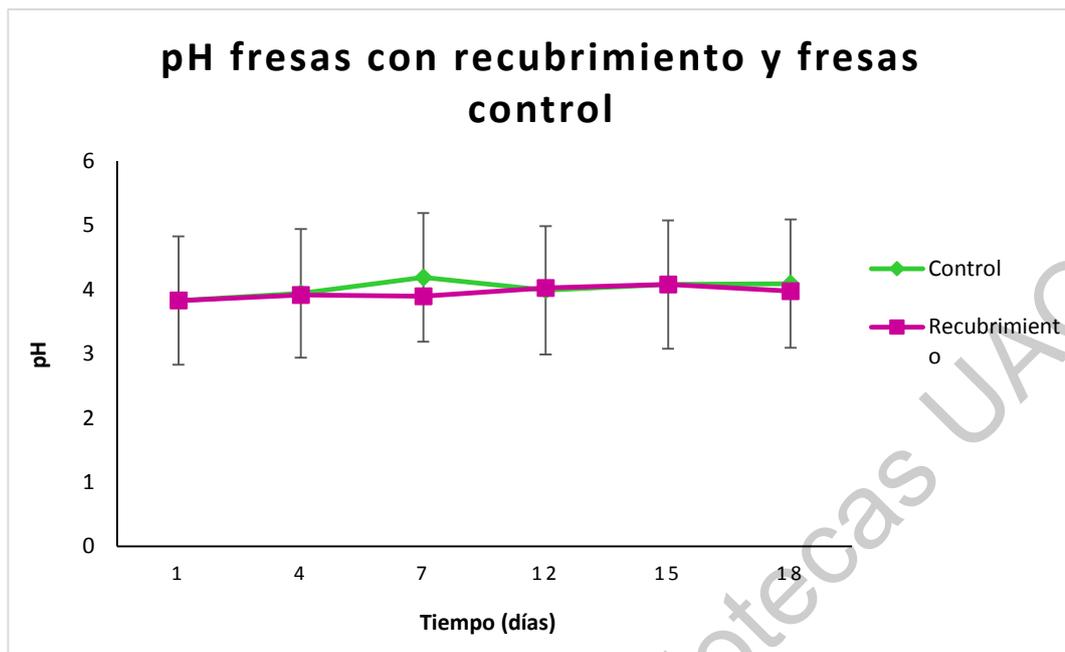


Figura 55. pH en fresas con recubrimiento y fresas control.

6.4.6 Acidez titulable

Si hubo diferencia estadísticamente significativa en cuanto al contenido de ácido cítrico de las fresas, ya que las fresas recubiertas mostraron una mayor acidez titulable durante el tiempo de almacenamiento, que aquellas fresas que no fueron recubiertas ver Figura 56.

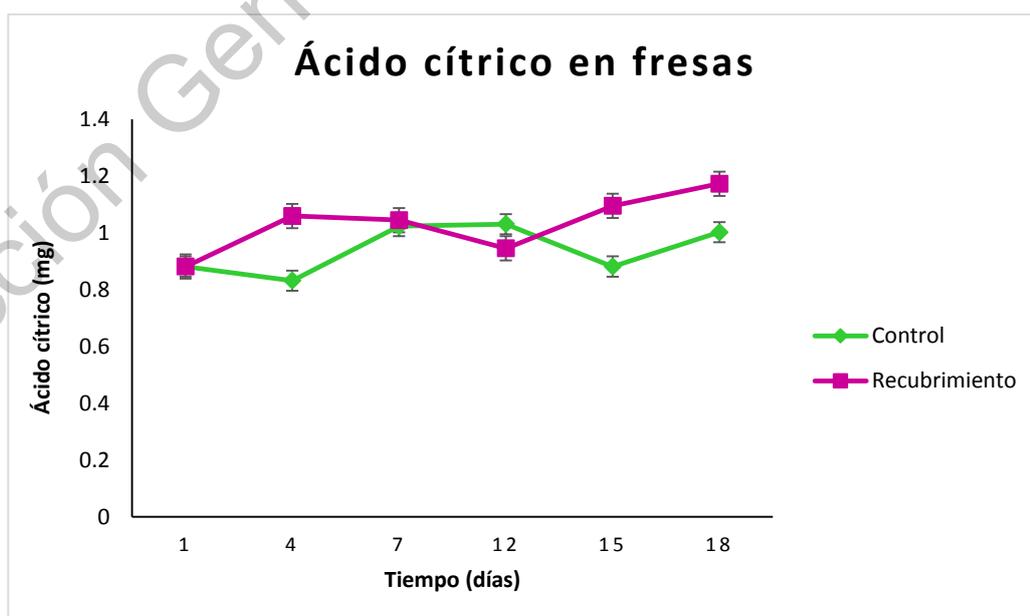


Figura 56. Interacciones en fresas con recubrimiento y fresas control.

En otros estudios se reportaron resultados similares, en un recubrimiento de aloe vera y alginato de sodio se reportó una mayor acidez titulable en fresas con recubrimiento comestible (García-Figueroa, 2019). Dado que los ácidos orgánicos, como el ácido málico o cítrico, son sustratos primarios para la respiración, se espera una reducción de la acidez en frutos con alta respiración durante el proceso de maduración de estos (El-Anany et al., 2009). En este caso, el recubrimiento genera una barrera semipermeable al O₂ y CO₂ modificando la atmósfera interna del fruto lo cual ralentiza el metabolismo al limitar el oxígeno presente por lo que los ácidos orgánicos permanecen en la muestra (Paliyath y Murr , 2008 ; Díaz-Mula *et al.*, 2009 y 2011; Navarro-Tarazaga *et al.*, 2011 y Valero *et al.*, 2013).

6.5 Determinación vida útil del recubrimiento

6.5.1 Viscosidad

No hubo diferencia estadísticamente significativa respecto al tiempo, pero si respecto a la temperatura (Figura 57).

Castro-Parra (2013) reportó valores de 15 y 25 cP (centipoise) en el recubrimiento de HPMC-lípidos y cera comercial.

La viscosidad de la HPMC es similar a lo reportado por este estudio, al inicio del experimento. A nivel industrial la aplicación de recubrimientos se realiza por aspersores, por lo que los recubrimientos muy viscosos (mayores a 70 cP) provocan obstrucciones a las boquillas de los aspersores, ocasionando problemas en el proceso de aplicación (Cisneros-Krotcha, 2003; Skurtys *et al.*, 2009). Por lo tanto, un recubrimiento con baja viscosidad favorece el proceso de aplicación y secado del recubrimiento (Castro-Parra, 2013). Esto se debe a

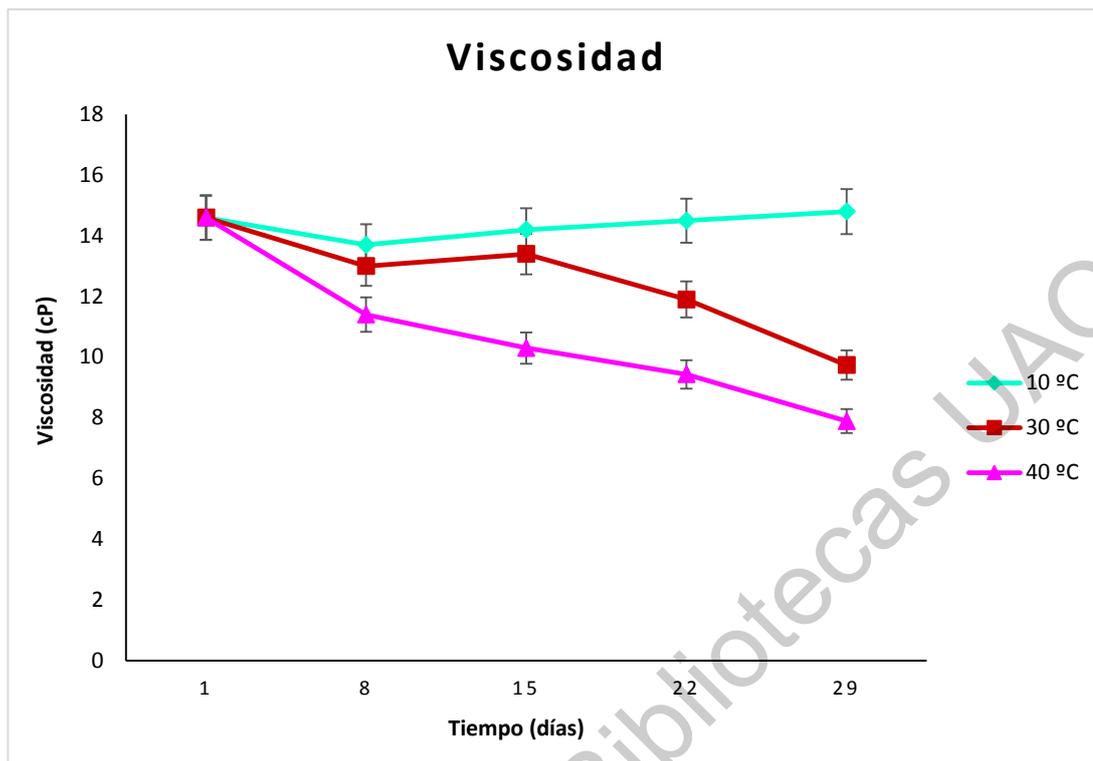


Figura 57. Viscosidad del recubrimiento envasado

6.5.2 pH

No hubo diferencia significativa respecto al tiempo ni respecto a la temperatura (Figura 58).

Castro-Parra (2013) reportó un pH inicial de 7.1 en recubrimiento de HPMC-lípidos y 9.7 de cera comercial.

El valor de pH de la HPMC oscila en los 5.5, similar al de este estudio. Esto es porque el pH del mucílago y la pectina son ácidos. Han (2005) menciona que el pH varía de acuerdo con los componentes que se encuentren formando el recubrimiento comestible.

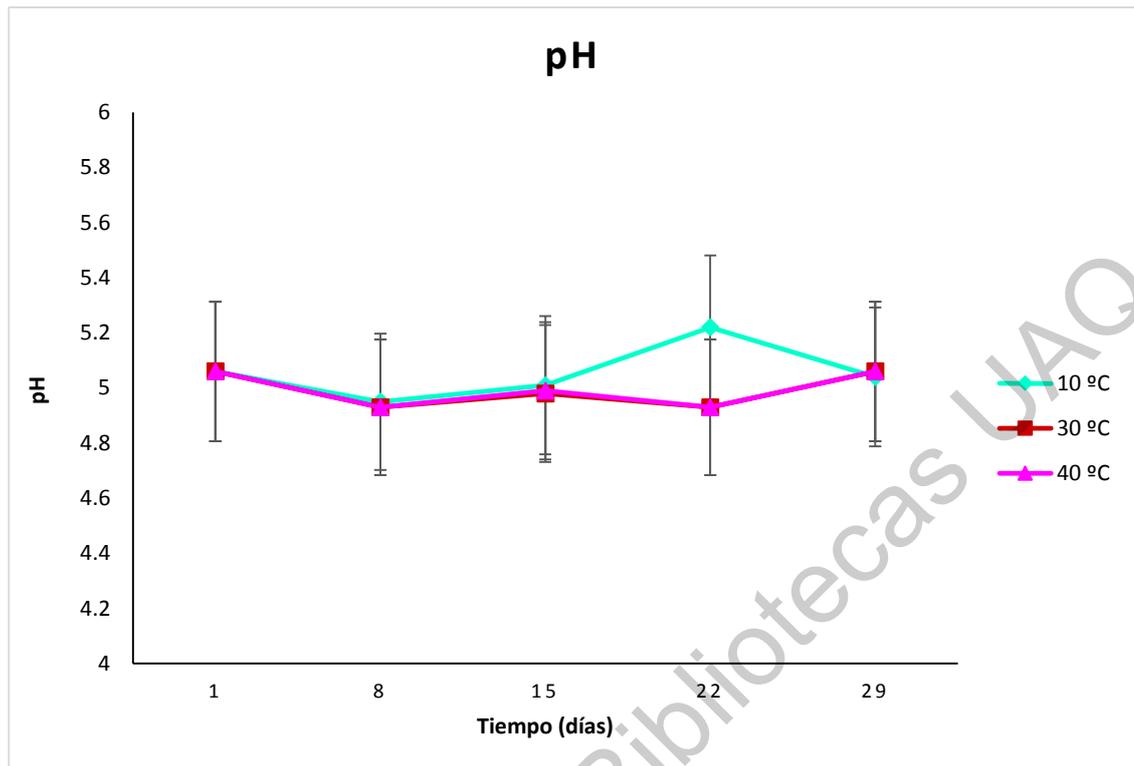


Figura 58. pH del recubrimiento envasado

6.5.3 Color

6.5.3.1 Luminosidad

No hubo diferencia estadísticamente significativa respecto a la temperatura, pero si respecto al tiempo (Figura 59). Ya que a medida que pasaba el tiempo el brillo del producto disminuía.

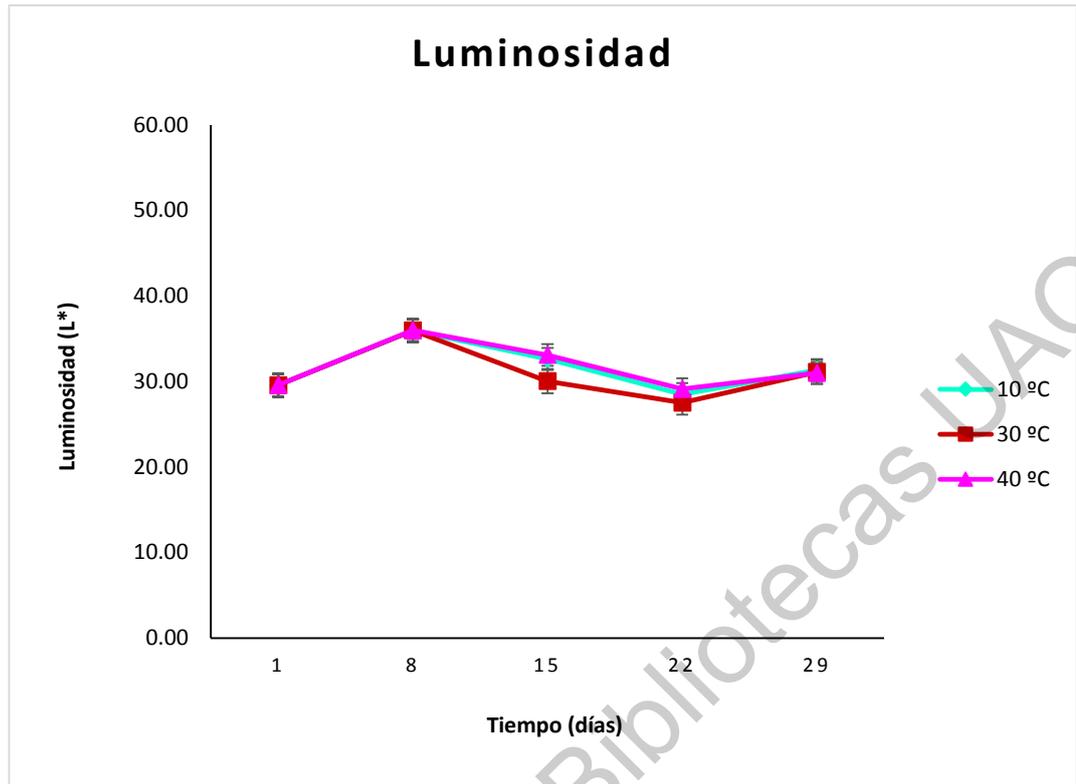


Figura 59. Luminosidad del recubrimiento envasado

6.5.3.2 Cromía

No hubo diferencia estadísticamente significativa respecto a la temperatura, pero sí respecto al tiempo (Figura 60). Ya que a medida que pasaba el tiempo el color del recubrimiento se hacía más pálido.

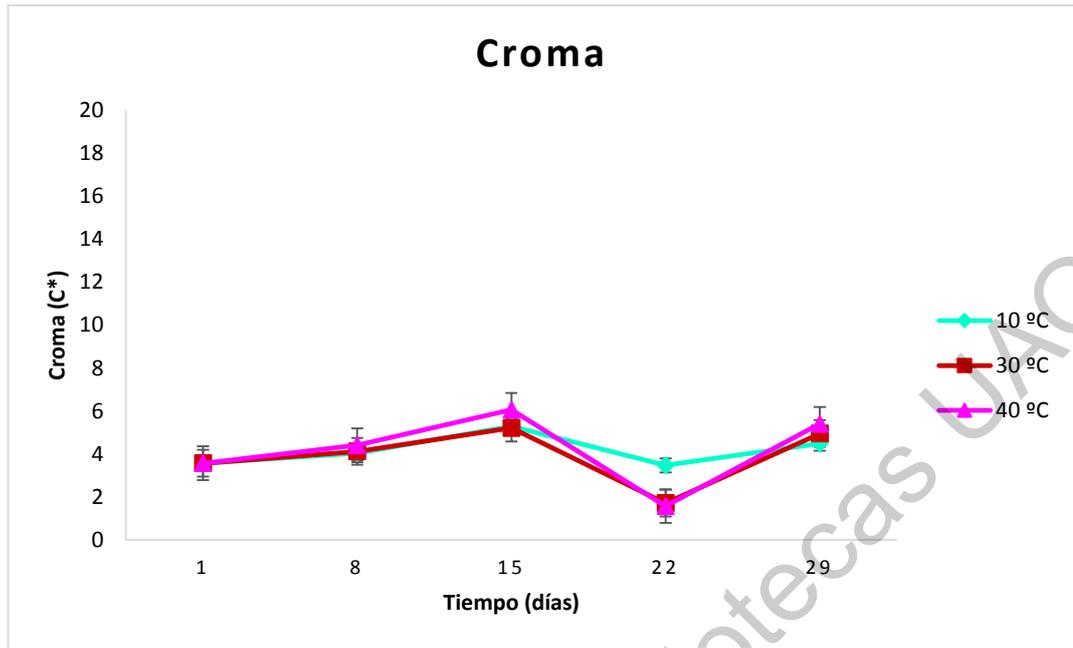


Figura 60. Croma del recubrimiento envasado

6.5.3.3 Tono

No hubo diferencia estadísticamente significativa respecto al tiempo ni respecto a la temperatura (Figura 61).

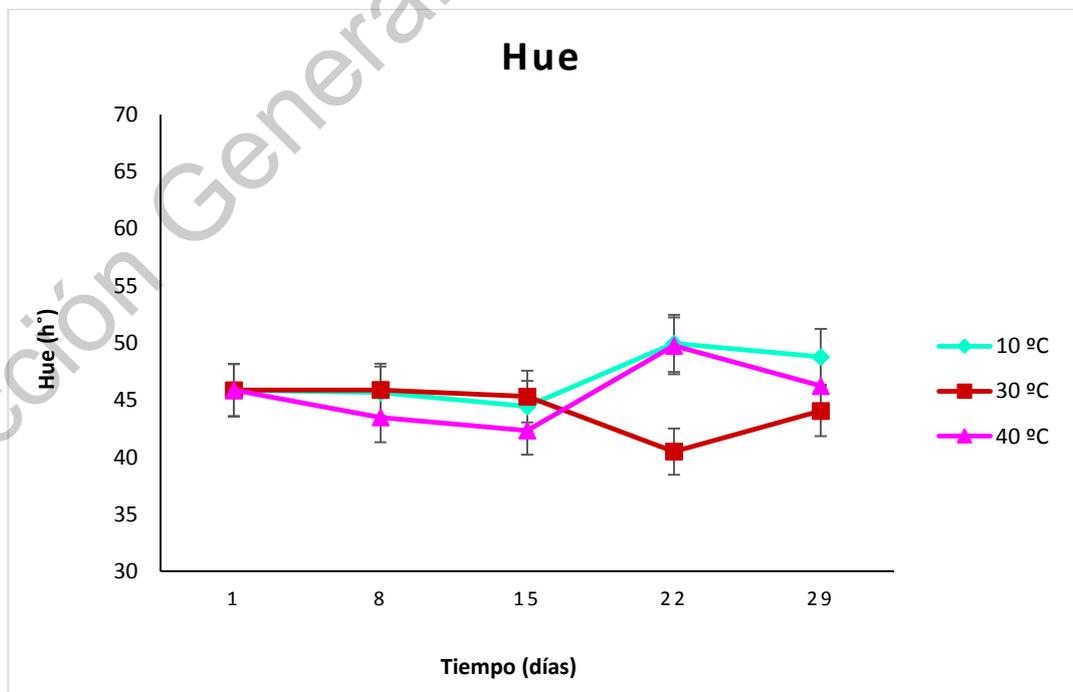


Figura 61. Tono (Hue) del recubrimiento envasado

6.6 Selección envase prototipo comercial

Se seleccionó un envase de polietileno boca ancha (Figura 62).



Figura 62. Envase polietileno alta densidad

Las dimensiones de la botella, de acuerdo con las especificaciones de Multiplastic FDA (2021), son:

- ☆ Altura 20.0 cm (botella), 1.0 cm (tapa), 1.5 cm (contra tapa)
- ☆ Diámetro 3.8 cm (boca), 9.0 cm (base), 3.8 cm (tapa), 3.5 cm (contra tapa)
- ☆ Capacidad: 1 litro
- ☆ Material: Polietileno
- ☆ Precio: MX\$8.28 (Marca EDIGAR)
- ☆ Apta para envasar productos líquidos, semilíquidos, viscosos y polvos.
- ☆ Grado alimenticio, conserva y protege los alimentos.
- ☆ Por su forma tiene facilidad de etiquetado.

El envase se puede definir como el material destinado a contener un producto con la finalidad de preservar sus características iniciales y protegerlo frente a posibles alteraciones. Es también una herramienta de diferenciación y promoción.

El producto debe preservar sus propiedades: aroma, color, sabor y frescura. Además, mejora los tiempos de conservación y vida de anaquel incluso sin el uso de conservadores (NUDO SMART PACKAGING y Multiplastic, 2021).

Para el prototipo comercial, se seleccionó un envase de polietileno de alta densidad, ya que al ser opaco/blanco el envase, evita el paso de luz hacia el interior y por lo tanto evita que el producto (recubrimiento) se deteriore.

Esta aprobado por la FDA para entrar en contacto con alimentos (no desprende toxinas) y además es reciclable. Es el mejor plástico para almacenar alimentos a largo plazo por ser uno de los plásticos más estables e inerte (Bio Eco Actual, 2016; Chemical Safety Facts, 2021). También es más duro y opaco y puede soportar temperaturas elevadas (Plastic Europe, 2021).

6.7 Diseño de marca y etiqueta del producto

6.7.1 Propuesta de nombre

El nombre del producto (recubrimiento comestible) (Figura 63), se escogió en inglés, ya que los recubrimientos comerciales existentes, llevan nombre en inglés. Nat hace referencia a “Natural” y “Coating” porque es un recubrimiento aplicado a fresa. Como marca se realizó un isologo, que lleve en conjunto el nombre del producto y figura (fresa).



Figura 63. Propuesta de nombre del recubrimiento

6.7.2 Propuesta de etiqueta

La etiqueta (Figura 64) se desarrolló con los datos de aplicación y especificaciones del Codex Alimentarius de acuerdo con las características del producto. Se realizó la ficha técnica del producto que irá en el reverso del envase.

Recubrimiento comestible antimicrobiano para fresas.

Nat Coating



FRESCO, BRILLANTE Y SEGURO



Previene el desarrollo de hongos sobre la superficie de las fresas

DOSIS DE APLICACIÓN	
DILUCIÓN	APLICACIÓN
Sin diluir	Aplicar a la fresa limpia y seca por inmersión durante 3 min. Secado a 25-30°C por 15 min.
PROPORCIÓN	1L para 3kg de fresa

Contenido Neto: **1L**

USO EXCLUSIVO POST COSECHA

 **PRECAUCIÓN:** Mantener fuera del alcance de los niños, alimentos y animales.
Uso industrial, mantenganse en un lugar fresco y seco.

Elaborado y envasado por:
Universidad Autónoma de Querétaro
Cerro de las campanas S/N Colonia las Campanas
C.P. 76010 R.F.C. UAQ5101111MQ9

Figura 64. Etiqueta producto comercial

6.8 Viabilidad financiera

De acuerdo con el análisis financiero realizado, se propone un valor de venta de \$90 pesos m.n. (Tabla 13 y 14).

Tabla 13. Análisis de costo por unidad producida

Materia prima	Cantidad	Unidades	Costo (pesos m.n.)
Aceite esencial de naranja	5	ml	39.15
Mucílago	5	g	50
Pectina	2.5	g	6.375
Propilenglicol	2	ml	0.332
Agua destilada	985	ml	18.17325
Envase	1	pza	9
Etiqueta	1	pza	2

Tabla 14. Análisis de costo final del producto

Costo variable por L	35.88025
Costo fijo	8.43530826
Costo final	44.3155583
Precio de venta	90

El precio de los recubrimientos comerciales es superior, ya que su venta es en dólares y es en presentación de envases de 50 hasta los 200 L. En promedio un litro de recubrimiento oscila entre los \$55 (el más barato) y los \$120, cuya calidad está marcada implícitamente en el producto. Actualmente no se encuentra disponible un recubrimiento para fresa en el mercado. Lo que da una ventaja al desarrollo de este producto.

VII. Conclusiones

- ✓ Los análisis fisicoquímicos realizados a las formulaciones de recubrimiento indican que la formulación 0.5% mucilago, 0.25% pectina y 0.5% aceite esencial de naranja presenta las mejores propiedades. Esta película mucilago-pectina-aceite esencial de naranja inhibió el crecimiento microbiano y tiene una baja permeabilidad al vapor de agua.
- ✓ La aplicación del recubrimiento con la formulación seleccionada tuvo un efecto positivo sobre la calidad de la fresa, para los parámetros de color, acidez titulable y apariencia visual, mantuvo la firmeza por más tiempo e inhibió el crecimiento de microorganismos en el fruto. Este recubrimiento comestible extiende la vida de anaquel de la fresa por 7 días más que el grupo control.
- ✓ Este producto (recubrimiento comestible) presenta un costo de producción competitivo y tiene posibilidades de venta en el mercado ya que actualmente no tiene competencia (por ser para fresas). Puede ser posicionado para producciones agrícolas pequeñas.
- ✓ Es posible aprovechar subproductos de la agroindustria para crear nuevos productos que den solución a problemas del sector primario. De esta manera ofrecer al consumidor productos de calidad.
- ✓ De acuerdo con lo anteriormente expuesto, la hipótesis del proyecto es aceptada, al igual que la hipótesis estadística alterna.

VIII. Referencias

- Abid, M., Cheikhrouhou, S., Renard, C. M., Bureau, S., Cuvelier, G., Attia, H. y Ayadi, M. A. (2017). Characterization of pectins extracted from pomegranate peel and their gelling properties. *Food Chemistry*, 215, 318-325.
- Abraján-Villaseñor, M. A. (2008). Efecto del método de extracción en las características químicas y físicas del mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) y estudio de su aplicación como recubrimiento comestible (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.
- Agroindustria. (2006). *2000AGRO Revista Industrial del Campo*. Recuperado de: <http://www.2000agro.com.mx/agroindustria/pimiento-con-certificado-de-calidad/>
- Al-Hassan, A. A. y Norziah, M. H. (2012). Starch gelatin edible films: Water vapor permeability and mechanical properties as affected by plasticizers. *Food Hydrocolloids*, 3, 1-10.
- Alemán-Navarro, A. (2015). Control de las podredumbres de pimiento (*Capsicum annuum* var. California) con ácido peroxiacético (Tesis de grado). Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, España.
- Ali, A., Maqbool, M., Ramachandran, S. y Alderson, P. G. (2010). Gum arabic as a novel edible coating for enhancing shelf-life and improving postharvest quality of tomato (*Solanum lycopersicon* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 58, 42-27. Doi: 10.1016/j.postharvbio.2010.05.005
- Alimentación sin desperdicio.(2020). The Blueapple company prolonga la vida de frutas y verduras. Recuperado de: <https://www.alimentacionsindesperdicio.com/cadena-de-valor/p/the-blueapple-company-prolonga-la-vida-de-frutas-y-verduras/>
- Andrade, J. C., Acosta, D. L., Bucheli, M. A. y Osorio, O. (2014). Desarrollo de un Recubrimiento Comestible Compuesto para la Conservación del Tomate de Árbol (*Cyphomandra betacea* S.). *Información Tecnológica*, 25(6), 57-66. Doi: 10.4067/S0718-07642014000600008
- Angón-Galván, P., Santos-Sánchez, N. F. y Hernández-Carlos, G. (2006). Índices para la determinación de las condiciones óptimas de maduración de un fruto. *Temas de Ciencia y Tecnología*. 10(30), 3-8. Recuperado de: <http://www.utm.mx/~temas/temas-docs/ensayo1t30.pdf>
- AOAC. (1990). Official Methods of Analysis. 15th Edition. Ed. Washington DC. EE. UU.
- ASTM E96 / E96M-16. (2016). Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials. ASTM International, West Conshohocken, PA. Recuperado de: www.astm.org
- Átares, L., Bonilla, J. y Chiralt, A. (2010). Characterization of sodium caseinate-based edible films incorporated with cinnamon or ginger essential oils. *Journal of Food Engineering*, 100, 678-687.
- Avila-Vega, D. E. (2010). Identificación del hongo causante del deterioro poscosecha en pimiento morrón (*Capsicum annuum*) y su influencia en el comportamiento de microorganismos patógenos en la superficie del fruto (Tesis Maestría). Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, México.
- Baldwin, E. A., Nisperos-Carriedo, M. O. y Baker, R. A. (1995). Edible coatings for lightly processed fruits and vegetables. *HortScience*. 30: 35-38.
- Baldwin, E. A. y Hagenmaier, R. D. (2012). Introduction. En: Baldwin, E. A., Hagenmaier, R. y Bai, J. (Ed.). *Edible Coatings and Films to Improve Food Quality*. 2nd edition. Pp. 1-12. CRC Press. Boca Ratón, Fla, EE. UU.
- Barco-Hernández, P. L., Burbano-Delgado, A. C., Mosquera-Sánchez, S. A., Villada-Castillo, H. S. y Navia-Porras, D. P. (2010). Efecto del recubrimiento a base de almidón de yuca modificado sobre la maduración del tomate. *Revista Lasallista de Investigación*, 8: 95-103.

- Barbera, G. (1999). Historia e importancia económica y agroecológica. In: G. Barbera, P. Inglese, y E. Pimienta-Barrios. Agroecología, cultivo y usos del nopal. Estudio FAO Producción y Protección Vegetal. Pp. 1-12. Nº 132. FAO, Roma, Italia.
- Begoña, D., Peña, G. y Sánchez, C. (2015). Uso de películas/recubrimientos comestibles en los productos de IV y V gama. *Revista Iberoamericana de Tecnología de Poscosecha*, 16 (1), 8-17.
- Bernal-Villavicencio, C. P. (2012). Extracción del aceite esencial de la cáscara de naranja: caracterización y estudio de potencial industrial en el Ecuador (Tesis de grado). Universidad San Francisco de Quito, Quito, Ecuador
- Bertuzzi, M. A., Armada, M., y Gottifredi, J. C. (2007). Physicochemical characterization of starchbased films. *Journal of Food Engineering*. 82(1): 17-25.
- BIOECO ACTUAL. (2016). Plásticos alimentarios, ¿cuáles son seguros?. Recuperado de: <https://www.bioecoactual.com/2016/12/04/plasticos-alimentarios-cuales-son-seguros-por-raul-martinez/>
- Bourtoom, T. (2008). Review article Edible films and coatings: characteristics and properties. *International Food Research Journal*,15: 237-248.
- Bravo, H. (1978). Las Cactáceas de México. Tomo 1. Ed. Universidad Nacional Autónoma de México. México
- Brett, C. T. y Waldron, K. W. (1996). Physiology and biochemistry of plant cell wall. (2nd ed.). London: Chapman & Hall.
- Brown, T. (2008). Change by Design: How Design Thinking Transforms Organizations and Inspires Innovation. Nueva York: HarperBusiness.
- Cai, W., Xiaohong, G. y Jian, T. (2008). , Extraction, purification, and characterization of the polysaccharides from *Opuntia milpa alta*. *Carbohydrate Polymers*, 71, 403-410.
- Campos, C., Gerschenso, L. y Flores, S. (2011). Development of edible films and coatings with antimicrobial activity. *Food and Bioprocess Technology*. 4: 849-875.
- Cárdenas, A., Higuera-Ciapara, I. y Goycoolea, F. M. (1997). Rheology and aggregation of cactus (*Opuntia ficus-indica*) mucilage in solution. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 2, 152–157
- Carmona Hernández P. (2015) Análisis por métodos espectroscópicos y estudio del proceso de envejecimiento de aceites esenciales de cítricos. Tesis Doctoral. Madrid España.
- Castro-Maldonado, M. E. y Sepúlveda-Patiño, A. (2012). Estudio de factibilidad técnica y económica de una planta extractora de pectina a partir de los residuos generados por el proceso de insutrialización de la naranja (Tesis de grado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Cerón-Salazar, I. y Cardona-Alzate, C. (2011). Evaluación del proceso integral para la obtención de aceite esencial y pectina a partir de la cáscara de naranja. *Ingeniería y Ciencia*, 7 (13), 65-86.
- Chasquibol-Silva, N., Arroyo-Benites, E. y Morales-Gomero, J.G. (2008). Extracción y caracterización de pectinas obtenidas a partir de frutos de la diversidad peruana. *Ingeniería Industrial*, 26, 175-199. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/3374/337428492010.pdf>
- Chemical Safety. (2021). Tipos de envases de plástico para alimentos: Una mirada de cerca:<https://www.chemicalsafetyfacts.org/es/tipos-de-envases-de-plastico-para-alimentos-y-seguridad-una-mirada-de-cerca/#:~:text=El%20HDPE%20se%20usa%20habitualmente,de%20las%20bolsas%20de%20compras>

- Chessa, I. y Nieddu, G. (1997). Descriptors for cactus pear (*Opuntia* spp.). In: P. Inglese (Ed.). Università degli Studi di Reggio Calabria. Cactusnet Newsletter. FAO International Technical Cooperation Network on Cactus pear. Special Issue. FAO, Roma, Italia.
- Collahuazo-Ramos, M. E. (2017). Estudio de la aplicación de radiación gama sobre la calidad de tres variedades de pimiento (*Capsicum annuum*) mínimamente procesado (Tesis de grado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- CONABIO. (2016a). EncicloVida. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, Recuperado el 28 de mayo de 2020 de <http://enciclovida.mx/especies/170946-citrus-sinensis>
- CONABIO. (2016b). EncicloVida. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, Recuperado el 10 de junio de 2020 de <http://enciclovida.mx/especies/190468-capsicum-annuum>
- Contreras-Padilla, M., Rodríguez-García, M. E., Gutiérrez-Cortez, E., Valderrama-Bravo, M. de C., Rojas-Molina, I., Rivera-Muñoz, E. M. (2016). Physicochemical and rheological characterization of *Opuntia ficus* mucilage at three different maturity stages of cladode. *European Polymer Journal*, 78, 226-234. Doi: 10.1016/j.eurpolymj.2016.03.024
- Del Angel-Purata, F. M. (2019). Películas para recubrimiento de alimentos base pectina, alginato y quitosano. Tesis de Maestría, Tecnológico Nacional de México. Cd. Madero, Tamaulipas, México.
- Del-Valle, V., P., Hernández-Muñoz, A. Guarda, y Galotto, M. J. (2005). Development of a cactus-mucilage edible coating (*Opuntia ficus indica*) and its application to extend strawberry (*Fragaria ananassa*) shelf-life. *Food Chemistry*. 91: 751-756.
- Díaz, J. A. (2002). Análisis del mercado internacional de aceites esenciales y aceites vegetales. Instituto Alexander Von Humboldt-Biocomercio Sostenible. Bogotá, Colombia.
- Dodgson, M., Gann, D. y Salter, A. (2008). The Management of Technological Innovation. New York, EE. UU. Oxford.
- Dos Santos, R. S., Pachego-Arge, L. W., Irribarem-Costa, S., Dienes-Machado, N., de Mello-Farias, P. C., Valmor-Rombaldi, C. y Costa-de Oliveira, A. (2015). Genetic regulation and the impact of omics in fruit ripening. *Plant Omics Journal*, 8(2), 78-88. Recuperado de: https://www.pomics.com/oliveria_8_2_2015_78_88.pdf
- EARTH. (2004). Perfil de Producto Naranja. *EARTH, Centro para la Formación Empresarial*. Fecha de consulta: 28/05/2020. Recuperado de: <http://usi.earth.ac.cr/glas/sp/50000142.pdf>
- Ecured. (2011). Naranja (fruta). EcuRed. Recuperado de: https://www.ecured.cu/EcuRed:Enciclopedia_cubana
- Escalante-Varona, A. V. (2015). Aplicación De un recubrimiento comestible de goma de tara (*Caesalpinia spinose* Molina kuntze) sobre fresas (*Fragaria ananassa* cv. aroma) para su conservación. Tesis Maestría. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Escobar, D., Sala, A., Silvera, C., Harispe, R. y Márquez, R. (2009). Películas biodegradables y comestibles desarrolladas en base a aislado de proteínas de suero lácteo: estudio de dos métodos de elaboración y del uso de sorbato de potasio como conservador. *Revista del Laboratorio tecnológico del Uruguay*, 4, 33-36.
- El-Anany, A. M., Hassan, G. F. A. y Rehab Ali F. M. (2009). Effects of edible coatings on the shelf-life and quality of Anna apple (*Malus domestica* Borkh) during cold storage. *Journal of Food Technology*. 7, 5-11.
- Elsabee, M. Z., y Abdou, E. S. (2013). Chitosan based edible films and coatings. *Materials Science and Engineering*, 33, 1819-1841. Doi: 10.1016/j.msec.2013.01.010
- Espino-Díaz, M., Ornelas-Paz, J. de J., Martínez-Téllez, M. A., Santillán, C., Barbosa-Cánovas, G. V., Zamudio-Flores, P. B. y Olivas, G. I. (2010). Development and Characterization of Edible

- Films Based on Mucilage of *Opuntia ficus-indica* (L.). *Journal of Food Science*. 75(6): E347-E352.
- Falguera, V., Quintero, J. P., Jiménez, A., Muñoz, J. A. y Ibarz, A. (2011). Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. *Trends in Food Science & Technology*, 22, 292-303. Doi: 10.1016/j.tifs.2011.02.004
- FAO. (1989). Mercadeo de productos frescos y pérdidas poscosecha. En: Manual para el mejoramiento del manejo poscosecha de frutas y hortalizas. Recuperado en: <http://www.fao.org/3/x5056s/x5056S07.htm#Principales%20causas%20de%20las%20perdidas%20de%20poscosecha>. Consultado: 26/09/2019.
- FAO. (2003). La calidad de las frutas y hortalizas. Manual para la preparación de frutas y hortalizas. Organizaciones de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia.
- FAO. (2006). Utilización agroindustrial del nopal. Boletín de servicios agrícolas de la FAO No. 162. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. Roma, Italia.
- FAO. (2016). Pérdidas y Desperdicios de Alimentos en América Latina y El Caribe. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- FAO. (2017). Estimación de pérdidas y desperdicio de alimentos en Uruguay: alcance y causas. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- FAO. (2018). CODEX ALIMENTARIUS. Normas Internacionales de los Alimentos. Recuperado de: <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/es/>
- FAO. (2019). Transformar el nopal para ganar más. Milpa Alta, Ciudad de México. *FAO en México*. Recuperado de: <http://www.fao.org/mexico/noticias/detail-events/en/c/1176354/>
- Fernández-Pombo, A. (1968). *La naranja. Manual Escolar. Educación en alimentación y nutrición. Ilustrado*. Madrid: Edalnu. Recuperado de: <https://books.google.com.mx/books?id=xyplDwAAQBAJ&pg=PT21&lpg=PT21&dq=El+fruto+de+naranja+llego+en+el+segundo+viaje+de+cristobal+colon&source=bl&ots=h9hJCMVFqF&sig=ACfU3U3rK7mJWUo9XMcNGOPFrhsaNAVljg&hl=es&sa=X&ved=2ahUKewjnh-2539XpAhUI5awKHRhICwoQ6AEwDnoECAkQAQ#v=onepage&q=El%20fruto%20de%20naranja%20llego%20en%20el%20segundo%20viaje%20de%20cristobal%20colon&f=false>
- Fernández, N. M., Echeverría, D. C., Mosquera, S. A. y Paz, S. P. (2017). Estado actual del uso de recubrimientos comestibles en frutas y hortalizas. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 15 (2), 134-141. Doi: 10.18684/BSAA
- Fernández-Valdés, D., Bautista-Baños, S., Fernández-Valdés, D., Ocampo-Ramírez, A., García-Pereira, A. y Falcón-Rodríguez, A. (2015). Películas y recubrimientos comestibles: una alternativa favorable en la conservación poscosecha de frutas y hortalizas. *Revista Técnica de Ciencias Agropecuarias*, 24 (3), 52-57.
- Flores-Valdez, C., De la Luna-Esquivel, J. M. y Ramírez-Moreno, P.P. (1995). Mercado mundial del nopalito. ASERCA-UACH-CIESTAAM. Chapingo, México.
- Flores-Valdez, C. (2003). Importancia del nopal. En: C. A. Flores-Valdez (Ed.) Nopalitos y tunas, producción, comercialización, postcosecha e industrialización. 1ª Ed. Pp. 1-18. Universidad Autónoma Chapingo, CIESTAAM. Chapingo, México.
- Fornaris, G. J. (2005). Conjunto Tecnológico para la Producción de Pimiento. Cosecha y manejo poscosecha. *Estación Experimental Agrícola*. Recuperado de: <https://www.upr.edu/eea/wp-content/uploads/sites/17/2016/03/PIMIENTO-Cosecha-y-Manejo-Postcosecha-v2005.pdf>
- Fowler, J. F. (1998). Occupational dermatology. *Current Problems in Dermatology*, 10(6), 211-244.
- Freeman, C. y Soete, L. (1997). *The Economics of Industrial Innovation*. London: Routledge, Taylor & Francis Group.

- Frutas y Hortalizas. (2002). PIMIENTO, *CAPSICUM ANNUUM* / SOLANACEAE. [Interempresas Media, S.L.](https://www.frutas-hortalizas.com/Hortalizas/Poscosecha-Pimiento.html) Recuperado de: <https://www.frutas-hortalizas.com/Hortalizas/Poscosecha-Pimiento.html>
- Galindo-Galeano, M. (2017). Efecto de la forma de corte del pimiento en la infección del fruto por *Pectobacterium carotovorum* subsp. *Carotovorum* (Tesis de grado). Universidad de Almería, Almería, España.
- García, M., Díaz, R., Casariego, A., Bolumen, S., De Hombre, R., González, I., Rodríguez, I. y Salgado, J. M. (2009). PRESERVACIÓN DE PIMIENTOS CON APLICACIÓN DE COBERTURAS DE QUITOSANA. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 19 (1).
- García-Figueroa, A. Ayala-Aponte, A. Sánchez-Tamayo, M. I.(2019). Efecto de recubrimientos comestibles de Aloe vera y alginato de sodio sobre la calidad poscosecha de fresa. *Revista U.D.C.A. Actualidad y Divulgación Científica*, 22(2): 31320.
- Gartzia, P. (13/01/2012). Naranjas en la cocina, mucho más que zumo. Fecha de consulta 29/05/2020. Recuperado de: <https://www.consumer.es/alimentacion/naranjas-en-la-cocina-mucho-mas-que-zumo.html>
- Gebresamuel, N. y Gebre-Marian, T. (2012). Comparative physicochemical characterization of the mucilages of two cactus pears (*Opuntia* spp.) obtained from Mekelle, Northern Ethiopia. *Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology*, 3, 79-86.
- Gijón-Arreortúa, I. (2010). Propiedades de formación de películas de mezclas λ -carragenina-quitosano en relación con sus propiedades viscoelásticas (Tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- Giovannoni, J. J. (2004). Genetic regulation of fruit development and ripening. *The Plant Cell*, 16, S170-S180. Recuperado de: http://www.plantcell.org/content/plantcell/16/suppl_1/S170.full.pdf
- Granados, D. y Castañeda, A. D. (1996). El Nopal. 2ª Reimpresión. Editorial Trillas. México.
- Griffith, M. P. (2004). The origins of an important cactus crop, *Opuntia ficus-indica* (Cactácea): new molecular evidence. *American Journal of Botany*, 91: 1915-1921.
- Han, J. H. y Gennadios, A. (2005). Edible films and coatings: A review. Elsevier Ltd. 239-262.
- Herbstreith y Fox. (2001). "The Specialists for Pectins". Recuperado de: <http://www.herbstreith-fox.de/produkte/englisch/einstant.htm>
- Índice de Desperdicio de Alimentos en México. (2013). Índice de Desperdicio de Alimentos en México. *Grupo Técnico Pérdidas y Mermas de Alimentos de la Cruzada Nacional contra el hambre*. Consultado en mayo, 2019. Recuperado de: <https://studylib.es/doc/649594/%C3%ADndice-de-desperdicio-de-alimentos-en-m%C3%A9xico#>
- Infoagro. (Sin fecha a). *El cultivo del pimiento (1ª parte)*. Recuperado de: <https://www.infoagro.com/hortalizas/pimiento.htm>
- Infoagro. (Sin fecha b). *El cultivo de las naranjas (1ª parte)*. Recuperado de: <https://www.infoagro.com/citricos/naranja.htm>
- Inglese, P., Mondragon-Jacobo, C., Nefzaoui, A. y Sáenz, C. (2018). Ecología del cultivo, manejo y usos del nopal. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - Centro Internaciones de Investigaciones Agrícolas en Zonas Áridas*. Roma, Italia. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/i7628es/i7628ES.pdf>
- INIFAP. (2012). Mucílago de nopal, alternativa para aumentar la vida de anaquel de frutas altamente percederas. Recuperado de: <http://www.sagarpa.gob.mx/saladeprensa/2012/Paginas/2012B032.aspx>
- Innofood. (2017). Innovación alimentaria: claves de la industria. [Entrada de blog] Recuperado de: <https://www.innofood.es/innovacion-alimentaria-claves/>
- Innofood. (2019). Alternativas al plástico. [Entrada de blog] Recuperado de: <https://www.innofood.es/alternativas-al-plastico/>

- Jinshi, C., Son, D. y Myongkyoon, Y. (2017). Effect of environment and vibration on quality change of bell pepper (*Capsicum annum* L.). *Indian Journal of Agricultural Research*, 51 (12), 149-154.
- Juárez, J. y Catro, A. (2010). Composición química, actividad antibacteriana del aceite esencial *Citrus sinensis* L. (naranja dulce) y formulación de una forma farmacéutica. *Ciencia e Investigación*, 13 (1), 9-13.
- Kader A. A. 1988. Postharvest Biology and Handling of Small (soft) Fruits. Apuntes mimeografiados del Curso Ciencia de los Vegetales (*PlantScience* 112) de la Universidad de California en Davis. California, Estados Unidos.
- Katayama, T. y Nagai, I. (1960) Chemical significance of the volatile components of spices in the food preservative view point. VI. Structure and antibacterial activity of terpenes. *Japanese Society of Fisheries Science*. 26, 29-32
- Kester, J. J. y Fennema, O. (1986). Edible Films and Coatings: A Review. *Food Technology*, 40 (12), 47-59.
- Labra, M., Grassi, F., Bardini, M., Imazio, S., Guiggi, A., Citterio, S., Banfi, E. y Sgorbat, S. (2003). Genetic relationships in *Opuntia Mill* genus (*Cactáceae*) detected by molecular market. *Plant Science*. 165: 1129-1136.
- López Salazar, G. L. (2019). Factores que influyen en la compra de alimentos orgánicos en México. Un análisis mixto. *Small Business International Review*, 3(2), 69-85. Doi: 10.26784/sbir.v3i2.210
- Lawless, H. T. y Heymann, H. (1999). Sensory evaluation of food. Principles and practices. Nueva York, EE. UU.: Springer.
- Linnaeus, C. (1753). *Species Plantarum*. Estocolmo, Suecia: Imprensia Laurentii Salvii.
- Maftoonzad, N. y Ramaswamy, H.S. (2008). Effect of pectin-based coating on the kinetics of quality change associated with stored avocados. *Journal Food Processing Preservation*, 32, 621-643.
- Mamani, P. (2012). Pectina: Usos Farmacéuticos y Aplicaciones Terapéuticas. *Anales de la Real Academia de Farmacia Journal*, 78 (1), 82-97.
- Manoj, H. G., Sreenivas, K. N., Shankarappa, T. H. y Krishna, H. C. (2016). Studies on Chitosan and Aloe vera Gel Coatings on Biochemical Parameters and Microbial Population of Bell Pepper (*Capsicum annum* L.) Under Ambient Condition. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 5 (1). 399-405.
- Martínez-Melo, J., Chongo-García, B., Jordán-Vázquez, H., Hernández-Sosa, N., Fontes-Marrero, D., Lezcano-Más, Y. y Cubillas-Lañez, N. (2008). Características nutritivas de los hollejos húmedos de naranja (*Citrus sinensis* cv. Valencia) mantenidos en estibas. *Técnica Pecuaria en México*. 46 (2), 183-193. Recuperado de: <file:///C:/Users/83139/Downloads/dcart.pdf>
- Martínez-González, M. E., Balois-Morales, R., Alía-Tejagal, I., Cortés-Cruz, M. A., Palomino-Hermosillo, Y. A. y López-Gúzman, G. G. (2017). Poscosecha de frutos: maduración y cambios bioquímicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 19, 4075-4087. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/2631/263153823018.pdf>
- May-Gutiérrez, M- E. (2009). Desarrollo de un recubrimiento comestible a base de mucílago de nopal (*Opuntia* spp.) (Tesis Maestría). Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México.
- Mc-Hugh, T. H. (2000). Protein-lipid interactions in edible films and coatings. *Food/Nahrung*. 44 (3), 148-151.
- Medina-Torres, L., Brito-De La Fuente, E., Torrestiana-Sánchez, B. y Katthain, R. (2000). Rheological properties of the mucilage gum (*Opuntia ficus indica*). *Food Hydrocolloids*, 14, 417-424.

- Meza, A. (2006). Desarrollo de películas o recubrimientos comestibles con potencial para el recubrimiento de frutas frescas. Proyecto de especialización en Biotecnología. Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa, D. F., México.
- Miller, S. M., Fugate, E. J., Craver, V. O., Smith, J. A. y Zimmerman, J. B. (2008). Toward understanding the efficacy and mechanism of *Opuntia* spp. as a natural coagulant for potential application in water treatment. *Environmental Science Technology*, 1–6.
- Moalemiyan, M., Ramaswamy, H.S. y Maftoonazad, N. (2010). Pectin-based edible coating for shelf-life extension of ataulfo mango. *Journal of Food Processing Engineering*, 35, 572–600.
- Molina, F. A., Osorio, N. M., Yáenz, M. E., Rojas, J. O. y García, M. A. (2019). Recubrimientos de mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) y pectina con aceite esencial de romero (*Rosmarinus officinalis*) en la conservación de naranjas. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 29 (2), 53-58.
- Mondragón-Jacobo, C. (2004). Mejoramiento genético del nopal: avances al 2003 y perspectivas. En: Esparza, G., Valdez, R. D. y Méndez, S. (Ed.). El nopal, tópicos de actualidad. Pp. 49-71. Universidad Autónoma de Chapingo, México.
- Moreira, M. R., Álvarez, M. V., Martín-Belloso, O. y Soliva-Fortuny, R. (2016). Effects of pulsed light treatments and pectin edible coatings on the quality of fresh-cut apples: a hurdle technology approach. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97, 261-268. Doi: 10.1002/jsfa.7723.
- Moreno-Dihort, J. (2016). Zeo Eco: Alargar la vida de frutas y verduras en el refrigerador. Recuperado de: <http://alef.mx/zeo-eco-alargar-la-vida-de-frutas-y-verduras-en-el-refrigerador/>
- Mundo ecológico. (2018). Usos de la naranja para sacarle todo el partido a sus beneficios. Recuperado de: <https://www.elmundoecologico.es/gastronomia-ecologica/usos-y-beneficios-naranja/>
- Navarro-Tarazaga, M. Ll. (2007). Efecto de la composición de recubrimientos comestibles a base de hidroxipropilmetilcelulosa y cera de abeja en calidad de ciruelas, naranjas y mandarinas. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- NOM-030-SCFI-2006. (2006). Información comercial-Declaración de cantidad en la etiqueta-Especificaciones.
- NOM-050-SCFI-2004. (2004). Información comercial-Etiquetado general de productos.
- NOM-130-SSA1-1995. (1995). Bienes y servicios. alimentos envasados en recipientes de cierre hermético y sometidos a tratamiento térmico. disposiciones y especificaciones sanitarias
- NOM-251-SSA1-2009. (2009). Prácticas de higiene para el proceso de alimentos, bebidas o suplementos alimenticios.
- NUDO SMART PACKAGING Y MULTIPLASTIC. (2021) Beneficios y soluciones que debe ofrecer un buen envase. Recuperado de: https://portal.multiplastic.com.mx/personal/multiplastic/bin/catalogos/archivos/cat_per_documentos_ARCHIVO_8039.pdf
- Nuez-Viñals, F., Gil-Ortega, R. y Costa-García, J. (1996). *El cultivo de pimientos, chiles y ajíes*. Barcelona, España: Mundi-Prensa
- Ochoa, J. (2003). Principales características de las distintas variedades de tuna (*Opuntia* spp.) de la República Argentina. In: P. Inglese, y A Nefzaoui (Ed.). Cactusnet Newsletter. FAO International Technical Cooperation Network on Cactus pear. Número especial. Roma, Italia.
- Ojeda-Real, L.A., Cárdenas-Navarro, R., Lobit, P., Grageda-Cabrera, O., Valencia-Cantero-E. y Macías-Rodríguez, L. (2008). Efecto de la nutrición nitrógena y sistemas de riego en el sabor de la fresa (*Fragaria x ananassa*). *Revista de Chapingo Serie Horticultura*, 14(1).

- Omboki, R. B., Weiren, W., Xie, X. y Mamadou, G. (2015). Ripening genetics of the tomato fruit. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*. 8(4), 567-572. Recuperado de: <file:///C:/Users/83139/Downloads/567-572.pdf>
- Oms-Oliu, G., Soliva-Fortuny, R. y Martín-Belloso, O. (2008). Edible coatings with antibrowning agents to maintain sensory quality and antioxidant properties of fresh-cut pears. *Postharvest Biology and Technology*. 50, 87–94.
- Ordoñez-Bolaños, D. Y., Zuñiga-Camacho, D., Hoyos-Concha, J. L., Mosquera-Sánchez, S. A. y Mosquera-Sánchez, L. P. (2014). Efecto del recubrimiento de almidón de yuca modificado y aceite de tomillo aplicado al pimiento (*Capsicum annum*). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5 (5), 795-805.
- Ortiz-Hernández, G. (2013). Efectos del acolchado plástico y la fertilización química y biológica sobre la calidad y vida de anaquel del pimiento con recubrimiento biodegradable de poliacetato de vinilo-alcohol polivinílico. (Tesis de Maestría). Centro de Investigación en Química Aplicada, Saltillo, Coahuila.
- Pastor-Navarro, C. 2010. Recubrimientos comestibles a base de hidroxipropilmetilcelulosa: caracterización y aplicación. Tesis doctoral. Departamento de Tecnología de Alimentos. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España
- Pavlath, A. E. y Orts, W. (2009). Edible Films and Coatings: Why, What, and How? En Embuscado, M. E. y Huber, K. C. (Ed.) *Edible films and Coatings for Food Applications* (p.p. 1-25), New York, EE. UU: Springer.
- Pichler, T., Young, K. y Alcantar, N. (2012). Eliminating turbidity in drinking water using the mucilage of a common cactus. *Water Science & Technology*, 12 (2), 179-186.
- Pimienta, E. (1990). El nopal tunero. Serie de Libros Tiempos de Ciencia. Pp 246. Universidad de Guadalajara. Guadalajara México.
- Plastic Europe. (2021). Tipos de plásticos. Recuperado de: <https://www.plasticseurope.org/es/about-plastics/what-are-plastics/large-family>
- PC-022-2005. (2005). Pliego de Condiciones para el Uso de la Marca Oficial México Calidad Suprema en Pimiento Morrón. Recuperado de: <https://studylib.es/doc/5518096/pimiento-morr%C3%B3n---m%C3%A9xico-calidad-suprema>
- Quintero-Cerón, J., Falguera-Pascual, V., y Muñoz-Hernández, J. (2010). Películas y recubrimientos comestibles: importancia y tendencias recientes en la cadena hortofrutícola. *Revista Tumbaga*, 5: 93-118.
- Ramírez, J. D., Aristizábal, I. D. y Restrepo, J. I. (2013). Conservación de mora de castilla mediante la aplicación de un recubrimiento comestible de gel de mucílago de penca de sábila. *Revista de la Facultad de Química Farmacéutica*, 20 (3), 172-183.
- Ramos-Moya, M. R. y Oñate-Zúñiga, L. E. (2018). Desarrollo de un recubrimiento comestible para fresa (*Fragaria x ananassa* Duchense) en base almidón de papa china (*Colocasia esculenta* Schott) de la variedad blanca. Tesis Ingeniería. Universidad Técnica de Ambato , Ambato, Ecuador.
- Reche Mármol, J. (2010). Cultivo del pimiento dulce en invernadero. Estudios e informes técnicos. Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y pesca. Recuperado de: https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160265Cultivo_Pimiento_Invernadero.pdf
- Rhim, J. W., Thomas, H. y Shellhammer, T. H. (2005). Lipid-based edible films and coatings. En: Han, J. H. (Ed). *Innovations in Food Packaging*. Pp.362-383. Elsevier Ltd. London, UK.
- Rico, F., Gutiérrez, C. y Díaz-Moreno, C. (2012). Efecto de recubrimientos comestibles de quitosano y aceites esenciales en la calidad microbiológica de mango (*Mangifera indica* L.) mínimamente procesado. *Vitae*, 19 (1), S117-S119.

- Robinson, J. (2008). Pimiento de exportación. *Hortalizas*. Recuperado de: <https://www.hortalizas.com/miscelaneos/pimiento-de-exportacion/>
- Rodoni, L. M. (2014). Evaluación de metodologías no contaminantes para mantener la calidad y extender la vida poscosecha de pimientos (*Capsicum annum* L.) (Tesis de grado). Universidad Nacional de la Plata, Buenos Aires, Argentina
- Rodríguez, S., L. Albertengo, A. Debbaudt, y E. Argullo. (2005). Uso de quitosano en alimentos. En: G. González-Aguilar, A. Gardea, F. Cuamea-Navarro (Ed.). Nuevas tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados. Centro de Investigaciones en Alimentación y Desarrollo A.C. Hermosillo, Sonora, México.
- Rodríguez-Sauceda, E. N. (2011). Uso de agentes antimicrobianos naturales en la conservación de frutas y hortalizas. *Ra Ximhai. Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable*, 7 (1), 153-170.
- Ruenes-Morales, M. R. y Montañez-Escalante, P. I. (2018). Especies alimentarias introducidas a Yucatán desde la época precolombina al presente. En: Alcántara, M., García-Montero, M. y Sánchez-López, F., *Ciencias y Medio Ambiente: Memoria del 56º Congreso Internacionales de Americanistas* (p.p. 297-305), Salamanca:ONIX. Recuperado de: https://books.google.com.mx/books?id=Z_1kDwAAQBAJ&pg=PA300&dq=El+fruto+de+naranja+llego+en+el+segundo+viaje+de+cristobal+colon&hl=es&sa=X&ved=0ahUKewiXucex49XpAhUJDKwKHbr2ASIQ6AEIKDAA#v=onepage&q=El%20fruto%20de%20naranja%20llego%20en%20el%20segundo%20viaje%20de%20cristobal%20colon&f=false
- Ruiloba, S. y Ortigoza-Ferado, J. (2005). Manual de Microbiología de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, 169-172.
- Sáenz, C, Sepúlveda, E. y Matsuhira, B. (2004). *Opuntia* spp. mucilage's: a functional component with industrial perspectives. *Journal of Arid Enviroments*, 57 (3), 275-290.
- Sáenz, C., Berger, H., Corrales-García, J., Galleti, L., García de Cortázar, V., Higuera, I., Mondragón, C., Rodríguez-Félix, A., Sepúlveda, E. y Varnero, M. T. (2006). Utilización agroindustrial del nopal. Boletín de servicios agrícolas de la FAO No. 162. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. Roma, Italia.
- Sagaste-Bernal, C. A., Montero-Alpírez, G., Gochev, V., Ayala-Bautista, J. R., León-Valdez, J. A., García González, C. y Vázquez-Espinoza, A. (2015). Evaluación de la actividad antimicrobiana del aceite esencial de naranja contra *Escherichia coli*, *Spahylococcus aureus* y *Candida albicans*. Memorias del XXXVI Encuentro Nacional de la AMIDIQ.
- SAGARPA. (2015). Estudio de la factibilidad para el establecimiento de cultivo de nopal (*Opuntia*) en tierras ociosas en los estados de Aguascalientes, San Luis Potosí, Guanajuato y Zacatecas con fines alimenticios, energéticos y ambientales. Mapa de proyectos. SAGARPA/Componente de planeación de proyectos. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/346982/Nopal_Detallado.pdf
- SAGARPA. (2017). Chiles y pimientos mexicanos. Planeación Agrícola 2017-2030. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257072/Potencial-Chiles_y_Pimientos-parte_uno.pdf
- San Martín-Hernández, C., Ordaz-Chaparro, V. M., Sánchez-García, P., Beryl Colinas-León, M. T. y Borges-Gómez, L. (2012). Calidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) producido en hidroponía con diferentes granulometrías de tezontle. *Agrociencia*. 46: 243-254.
- SIAP. (2018a). Atlas Agroalimentario 2012-2018. *Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera*. Recuperado de: https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2018/Atlas-Agroalimentario-2018 FECHA DE CONSULTA 24/05/2020.
- SIAP. (2018b). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola [Base de datos]. Recuperado de: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>

- SIAP. (2019). Expectativas Agroalimentarias 2019. Recuperado de: <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/Brochure%20Expectativas%202019.pdf>
- Salinas-Salazar, V. M. (2014). Caracterización de películas comestibles a base de mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*) y evaluación como recubrimiento comestible en ciruela (*Prunus salicina*) para su conservación en fresco (Tesis Maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, D. F., México.
- Scheinvar, L. (1999). Taxonomía de las Opuntias utilizadas. In: G. Barbera, P. Inglese, y E. Pimienta-Barrios. Agroecología, cultivo y usos del nopal. Estudio FAO Producción y Protección Vegetal. Pp. 21-28. Nº 132. FAO, Roma, Italia
- Sepúlveda, E., Sáenz, C., Aliaga, E. y Aceituno, E. (2007). Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia* spp. *Journal of Arid Environment*, 68 (4), 534-545.
- Seymour, G. B., Ostergaard, L., Chapman, N. H., Knapp, S. y Martin, C. (2013). Fruit development and ripening. *Annual Review of Plant Biology*, 64, 219-241. Recuperado de: <https://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev-arplant-050312-120057>
- SIAP. (2019). Expectativas Agroalimentarias 2019. Recuperado de: <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/Brochure%20Expectativas%202019.pdf>
- Siles, J. A., Vargas, F., Gutiérrez, M. C., Chica, A. F. y Martín, M. A. (2016). Integral valorisation of waste orange peel using combustión, biomethanisation and co-composting technologies. *Bioresource Technology*. 211, 173-182. Doi: [10.1016/j.biortech.2016.03.056](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.03.056)
- Solano-Doblado, L. G., Alamilla-Beltrán, L. y Jiménez-Martínez, C. (2018). Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 21 (2), 30-42. Doi: [10.22201/fesz.23958723e.2018.0.153](https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2018.0.153)
- Soliva-Fortuny, R., Rojas-Graü, M. A. y Martín-Belloso, O. (2012). Polysaccharide coatings. En: E. A. Baldwin, R. Hagenmaier, y J. Bai (Ed.). *Edible Coatings and Films to Improve Food Quality*. 2nd edition. Pp. 103-136. CRC Press. Boca Ratón, Fla, EE. UU.
- Sothornvit, R. y Rodsamram, P. (2008). Effect of a mango film on quality of whole and minimally processed mangoes. *Postharvest Biol. Technol.* 47, 407-415.
- Spievak, J. (2016). Innovación: Edipeel prolonga la vida útil de las frutas hasta cinco veces. Recuperado de: <https://agroalimentando.com/nota/6985>
- Sriamornsak, P. (2003). Chemistry of Pectin and Its Pharmaceutical Uses: A Review. *Silpakorn University International Journal*, 3, 206-208.
- Sudzuki, F., Muñoz, C. y Berger, H. (1993). El cultivo de la tuna (*Cactus Pear*). Departamento de Reproducción Agrícola. Universidad de Chile. Ñuñoa, Santiago de Chile, Chile.
- Sudzuki, F. (1999). Anatomía y morfología. En: Barbera, G., Inglese, P. y Pimienta-Barrios, E. Agroecología, cultivo y usos del nopal. Estudio FAO Producción y Protección Vegetal. Pp. 29-36. Nº 132. FAO, Roma, Italia.
- Thakur, K. S., Jyoti, K., Kumar, S. y Gautum, S. (2017). Improvement of Postharvest Keeping Quality of Bell Pepper (*Capsicum annum* L.) Fruits Treated with Different Chemicals following Cold Storage. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6 (7), 2462-2475.
- Tharanathan, R. N. (2003). Biodegradable films and composite coatings: past, presente and future: a review. *Trends of Food Science Technology*, 14: 71-78.
- Torres-Acosta, A., y Cano-Barrita, J. (2007). Las bondades del nopal. *Revista de Construcción y Tecnología*, 44-50.
- Tovar-Arce, A. K. (2017). Valoración integral de cáscaras de naranja mediante extracción de pectina y elaboración de carbón activado (Tesis Maestría). Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica, S.C. Querétaro, México.
- Valdés, A., Burgos, N., Jiménez, A. y Garrigos, M. C. (2015). Natural Pectin Polysaccharides as Edible Coatings. *Coatings*, 5, 865-886. Doi: [10.3390/coatings5040865](https://doi.org/10.3390/coatings5040865)

- Valenzuela-Bonomo, C. A. y Valenzuela-Baez, R. W. (2015). La innovación en la industria de alimentos. Historia de algunas innovaciones y de sus innovadores. *Revista Chilena de Nutrición*, 42 (4), 404-408. Recuperado de: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rchnut/v42n4/art13.pdf>
- Valero, D. (2018). Panorama Nacional de la Investigación en Postcosecha de Frutas y Hortalizas. En: *Frutas y Hortalizas. Innovaciones en pre- y postcosecha*. España.
- Vargas, M., Pastor, C., Chiralt, A., McClements, D. J. y González-Martínez, C. (2008). Recent advances in edible coatings for fresh and minimally processed fruits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 48: 496-511.
- Vázquez-Briones, M. C. y Guerrero-Beltrán, J. A. (2013). Recubrimientos de frutas con biopelículas. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 7 (2), 5-14.
- Vázquez-Luna, A., Santiago, M., Rivadeneyra-Domínguez, E. y Díaz-Sobac, R. (2019). Películas comestibles a base de almidón nanoestructura do como material de barrera a la humedad. *Bioteología y Ciencias Agropecuarias*, 13(2), 152-164. doi.org/10.29059/cienciauat.v13i2.1105
- Velásquez, E. (1998). El nopal y su historia. Editorial Clio. México.
- Villegas y de Gante, M. (1997). Los Nopales (*Opuntia* spp.) recursos y símbolos tradicionales en México. En: Memorias. VII Congreso Nacional y V Internacional sobre Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Pp. 271-273. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, México.
- Voragen, F. (2003). *Advances in Pectin and Pectinase Research*. Ed. Springer.
- Zapata, P. J., Guillén, F., Martínez-Romero, D., Castillo, S., Valero, D. y Serrano, M. (2008). Use of alginate or zein as edible coatings to delay postharvest ripening process and to maintain tomato (*Solanum lycopersicon* Mill) quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88, 1287-1293. Doi: 10.1002/jsfa.3220

IX. Anexos

Anexo I. Cuestionario Percepción de calidad

Edad

- 20 o menos
- 21 a 30
- 31 a 40
- 41 a 50
- 51 a 60
- Más de 61

Sexo

- Masculino
- Femenino

Escolaridad

- Primaria
- Secundaria
- Preparatoria
- Licenciatura
- Posgrado

La firmeza/textura al momento de seleccionar un fruto o verdura es:

1. Nada importante
2. Poco importante
3. Moderadamente importante
4. Importante
5. Muy importante

La maduración o color al momento de seleccionar es:

1. Nada importante
2. Poco importante
3. Moderadamente importante
4. Importante
5. Muy importante

El olor de un fruto o verdura es:

1. Nada importante

2. Poco importante
3. Moderadamente importante
4. Importante
5. Muy importante

El origen del alimento (orgánico o no orgánico) es:

1. Nada importante
2. Poco importante
3. Moderadamente importante
4. Importante
5. Muy importante

Considero que comprar fruta y verdura a granel es una mejor opción que comprarlas en envasado tradicional (cajas pet, bolsas)

1. Totalmente en desacuerdo
2. En desacuerdo
3. Ni de acuerdo, ni en desacuerdo
4. De acuerdo
5. Totalmente de acuerdo

Dirección General de Bibliotecas UAQ

Anexo II. Ficha técnica del recubrimiento comestible

Recubrimiento comestible antimicrobiano para fresas

Fecha emisión: Junio 2021

Versión:01

Ficha técnica:

Advertencia: Las recomendaciones e información descritos son de acuerdo a pruebas de laboratorio. Sin embargo, en la aplicación en poscosecha existen factores ruido que pueden intervenir. Por lo que se recomienda seguir las instrucciones y tener buen manejo del producto en la poscosecha para resultados favorables.

Función: Nat^{Coating} es un recubrimiento comestible y antimicrobiano de componentes naturales, destinado al tratamiento de poscosecha de fresas, con el fin de mantener la calidad de la fresa y de esta manera extender su vida de anaquel.

Además de que es agente antimicrobiano, por lo que evitará el desarrollo de hongos sobre la superficie de la fresa.

Aplicación: Agitar antes de usar. El método de aplicación recomendado es por inmersión de la fruta durante 2 a 3 minutos. Posteriormente dejar secar la fruta durante 30 min para asegurar el secado del recubrimiento sobre la fruta.

Composición:

Polisacáridos, ácido graso y plastificante.

Presentación:

1 L

Precauciones:

- Evitar contacto con ojos
- Utilizar guantes al aplicar el producto
- Mantener fuera del alcance los niños

Normas de almacenaje:

- Mantener envase cerrado y bajo techo.
- Evitar la exposición a altas temperaturas.
- Una vez abierto el producto, mantener en refrigeración en caso de no vaciar todo el contenido del producto.

Normas durante la fabricación:

- Norma Oficial Mexicana NOM-251-SSA1-2009,
- Prácticas de higiene para el proceso de alimentos, bebidas o suplementos alimenticios.



Nat
Coating 
FRESCO, BRILLANTE Y SEGURO

Anexo III. Artículo publicado en Ciencia Latina



Ciencia Latina
Revista Multidisciplinar.

Recubrimientos comestibles para extender la vida de anaquel de productos hortofrutícolas

Roberta Magnolia Mora Palma

robmora_iag@hotmail.com

Maestría en Diseño e Innovación, División de Investigación y Posgrado,
Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro;
Querétaro, México

Ana Angélica Feregrino Pérez

feregrino.angge@email.com

División de Investigación y Posgrado,
Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro;
Querétaro, México

Margarita Contreras Padilla

margacompad@email.com

Centro Académico de Innovación y Desarrollo de Productos,
Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro;
Querétaro, México

RESUMEN

En los últimos años, debido a las pérdidas poscosecha, las investigaciones para conservar la calidad fisicoquímica, organoléptica y microbiológica de productos hortofrutícolas han cobrado interés. Con el fin de ofrecer soluciones innovadoras para extender la vida de anaquel de frutas y hortalizas, para su consumo en fresco, se ha investigado el efecto de recubrimientos comestibles y sus diversos componentes. Estos recubrimientos comestibles, aplicados sobre el producto, tienen la función de mantener la calidad de productos hortofrutícolas; al retardar el transporte de gases (O_2 y CO_2) y agua, al retener compuestos volátiles de aroma y al servir como vehículo de compuestos antimicrobianos que a su vez le confieren la capacidad de inhibir el crecimiento de microorganismos en la superficie del alimento; y de esta manera se retrasa su proceso de maduración. Las tendencias de investigación en poscosecha atienden la demanda del consumidor, quien, hoy en día, prefiere adquirir alimentos más frescos, "naturales" y libres de aditivos sintéticos; además la preferencia del consumidor está ligada a una buena apariencia del producto al momento de compra. La valorización de residuos de la agroindustria ha cobrado interés en los últimos años, con el fin de minimizar el impacto ambiental y aprovechar ciertos componentes para usarlos en la elaboración de recubrimientos