UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL E INGENIERIA EN ALIMENTOS

T E S I S

Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y antioxidantes de películas comestibles con extracto de *Stenocereus pruinosus*

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

Ingeniero Agroindustrial

PRESENTA

José Alfredo Santos Ocampo

DIRECTOR

Dr. César Uriel López Palestina

CODIRECTOR

M en C César Andrés Cabrera Cortés

Asesoras

Dra. Alma Delia Hernández Fuentes

Dra. Thania Alejandra Urrutia Hernández

Tulancingo de Bravo, Hgo., México., Mayo del 2025

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Instituto de Ciencias Agropecuarias
Institute of Agricultural Sciences
Área Académica de Ingeniería Agroindustrial e Ingeniería en Alimentos
Academic Area of Agroindustrial engineering and Food Engineering

Tulancingo de Bravo, Hidalgo., a 20 de mayo de 2025.

Asunto: Autorización de impresión

Mtra. Ojuky del Rocío Islas Maldonado
Directora de Administración Escolar de la UAEH

Por este conducto y con fundamento en el Título Cuarto, Capítulo I, Artículo 40 del Reglamento de Titulación, le comunico que el jurado que le fue asignado al pasante de Licenciatura en Ingeniería Agroindustrial, **José Alfredo Santos Ocampo**, quien presenta el trabajo de Tesis denominado **"Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y antioxidantes de películas comestibles con extracto de *Stenocereus pruinosus*"**, que después de revisarlo en reunión de sinodales, ha decidido autorizar la impresión de este, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación, se anotan las firmas de conformidad de los miembros del jurado:

PRESIDENTE	Dr. César Uriel López Palestina
SECRETARIO	M.C. César Andrés Cabrera Cortes
VOCAL 1	Dra. Alma Delia Hernández Fuentes
SUPLENTE 1	Dra. Thania Alejandra Urrutia Hernández

Sin otro particular por el momento, me despido de usted.

Atentamente
"Amor, Orden y Progreso"

Dra. Thania Alejandra Urrutia Hernández
Coordinadora del P.E. de Ingeniería Agroindustrial

Av. Universidad Km. 1 Exhacienda de Aquetzalpa.
C.P. 43600. Tulancingo, Hidalgo. México
Teléfono: 7717172000 Ext. 2422
cesar_lopez@uaeh.edu.mx

Agradecimientos

En la culminación de este viaje académico, me siento sumamente agradecido por todo el apoyo que he recibido de distintas personas. Sus aportes han sido esenciales para lograr este éxito, y quiero expresar mi más sincero agradecimiento.

Primero, quiero agradecer a mi director de tesis el Dr. César Uriel López Palestina por su guía, paciencia, compromiso, dedicación y orientación a lo largo de todo este proceso. También, quiero agradecer su amistad y confianza, muchas gracias.

De igual forma agradezco de manera especial a mi codirector de tesis el M.C César Andrés Cabrera Cortés, por el apoyo para realizar el presente proyecto de investigación, su orientación, supervisión y el tiempo dedicado a revisar y mejorar esta tesis.

A mi familia quienes fueron partícipes en el transcurso de este viaje, quienes me alentaron y motivaron a seguir adelante siempre, gracias por su amor, fe y cariño.

Así mismo agradezco a mis amigos por su cariño, comprensión, apoyo y los excelentes momentos compartidos durante la finalización de esta tesis.

También quiero agradecer a la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo y al Instituto de Ciencias Agropecuarias por brindarme los recursos necesarios para llevar a cabo esta investigación.

Para concluir, agradezco el apoyo incondicional de cada uno de ustedes, ya que de una u otra manera, formaron parte de esta etapa. Muchas gracias.

Dedicatorias

A mi mamá María del Pilar que siempre estuvo a mi lado en cada momento, por sus consejos, sus valores, por motivarme a luchar por mis sueños que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor incondicional hacia mí.

A mi papá que aunque ya no este conmigo su luz sigue iluminando mi camino, por su amor y por enseñarme a trabajar duro y nunca darme por vencido. Siempre estarás en mi corazón.

A mi hermano Jessy que siempre ha estado al pendiente de mí, que aunque la distancia nos separe me apoya incondicionalmente.

A mi hermano Oliver por su amor y su forma tan peculiar de motivarme y hacerme pasar buenos momentos.

A mi tío Guillermo que gracias a todo el apoyo brindado pude concluir con este viaje, gracias por creer en mí, por ayudarme y motivarme a seguir adelante.

A todas las personas que me impulsaron a seguir luchando cada día por mis sueños.

Índice

1. RESUMEN 3
2. ABSTRACT 4
3. INTRODUCCIÓN 5
4. OBJETIVO GENERAL 7
5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 7
6. HIPÓTESIS 8
7. JUSTIFICACIÓN 8
8. MARCO TEÓRICO 9
8.1. Películas y recubrimientos comestibles 9
8.2. Películas comestibles 9
8.3. Recubrimientos comestibles 10
8.4. Bioplásticos 11
8.5. Películas a base de gelatina 11
8.6. Películas con extracto vegetal 12
8.7. Efecto de las películas comestibles en la poscosecha de los frutos 13
8.8. Taxonomía y morfología de la pitaya 13
8.9. Ubicación 14
8.10. Importancia nutricional 14
8.10.1. Compuestos bioactivos 14
8.10.1.1. Compuestos fenólicos 15
8.10.1.2. Flavonoides 15
8.10.1.3. Betalaínas 15
8.10.2. Propiedades biológicas 16
8.10.2.1. Capacidad antioxidante 16
9. MATERIALES Y MÉTODOS 17
9.1. Ubicación y característica del área de estudio 17
9.2. Preparación del extracto de pitaya 17
9.3. Método de elaboración de la película comestible 17
9.4. Caracterización de las películas comestibles 18
9.4.1. Espesor 18
9.4.2. Propiedades ópticas 19

9.4.3. Contenido de humedad 19
9.4.4. Solubilidad de las películas en agua 20
9.4.5. Permeabilidad al vapor de agua 21
9.4.6. Propiedades mecánicas 22
9.5. Compuestos bioactivos 23
9.5.1. Fenoles totales 23
9.5.2. Flavonoides 24
9.6. Extacción y cuantificación de betalaínas 24
9.7. Actividad antioxidante no enzimática 24
9.7.1. Método DPPH• (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo) 24
9.7.2. Método de ABTS•+ [2,2'-azino-bis (ácido 3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico)] 25
9.8. Análisis de resultados 25
10. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 26
10.1. Elaboración de la película comestible 26
10.2. Caracterización de las películas comestibles 26
10.3. Espesor 27
10.4. Propiedades ópticas 27
10.5. Contenido de humedad 28
10.6. Solubilidad de las películas y permeabilidad 29
10.7. Propiedades mecánicas 30
10.8. Compuestos bioactivos 31
10.9. Actividad antioxidante 32
10.10. Extracción y cuantificación de betalaínas 32
11. CONCLUSIONES 34
12. REFERENCIAS 35

Índice de figuras

Figura 1. Rotavapor..... 17
Figura 2. Método de elaboración de la película comestible. Pesaje (A); hidratación de la gelatina (B); homogeneizado (C); moldeado de las películas (D)..... 18
Figura 3. Calibrador vernier digital. 19
Figura 4. Colorímetro. 19
Figura 5. Contenido de humedad. Charolas de aluminio (A); horno (B). 20
Figura 6. Solubilidad de las películas en agua. Película colocada en agua destilada (A); muestras de películas puestas en charolas de aluminio (B). 21
Figura 7. Permeabilidad al vapor de agua. Viales con gel de sílice con película (A); desecador (B). 22
Figura 8. Texturómetro. 23
Figura 9. Películas comestibles. Película sin extracto (A); película con 0.5% de extracto (B); película con 1% de extracto (C) y película con 1.5% de extracto (D)..... 26

Índice de cuadros

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de la pitaya. 14
Cuadro 2. Espesor de películas comestibles a base de gelatina con extracto de pitaya. 27
Cuadro 3. Parámetros de color en películas comestibles a base de gelatina con extracto de pitaya. 28
Cuadro 4. Transparencia de películas comestibles a base de gelatina con extracto de pitaya..... 28
Cuadro 5. Contenido de humedad en las películas comestibles a base de gelatina con extracto de pitaya. 29
Cuadro 6. Porcentaje de solubilidad y permeabilidad en películas comestibles a base de gelatina con extracto de pitaya. 30
Cuadro 7. Propiedades mecánicas de las películas comestibles a base de gelatina con extracto de pitaya. 30
Cuadro 8. Contenido de fenoles y flavonoides de películas comestibles a base de gelatina con extracto de pitaya. 31
Cuadro 9. Actividad antioxidante de películas comestibles a base de gelatina con extracto de pitaya. 32
Cuadro 10. Contenido de betalaínas en películas comestibles a base de gelatina con extracto de pitaya. 33

Índice de ecuaciones

Ecuación 1. % de Humedad. 20
Ecuación 2. % de Solubilidad. 20
Ecuación 3. Permeabilidad al vapor de agua. 21
Ecuación 4. Resistencia a la tracción. 22
Ecuación 5. Porcentaje de elongación a la rotura. 23
Ecuación 6. Módulo de Young. 23

1. RESUMEN

Las películas comestibles en los alimentos se utilizan para alargar su vida útil, estos actúan como barrera contra los gases y la humedad. En el presente trabajo se formuló una película a base de gelatina adicionada con extracto de pitaya al 0, 0.5, 1 y 1.5% evaluando aspectos fisicoquímicos como su espesor, permeabilidad al vapor de agua, humedad y solubilidad. Además, se llevaron a cabo evaluaciones de sus propiedades ópticas, color y transparencia, así como la cantidad de compuestos bioactivos, como fenoles, flavonoides y betalaínas, su capacidad antioxidante por el método de ABTS y DPPH. También se evaluaron las películas a pruebas mecánicas, como el módulo de Young, la resistencia a la tracción y el porcentaje de elongación a la rotura. Demostrando que el tratamiento 3 tuvo mejores resultados, teniendo 1% de extracto de pitaya, el cual presentó un porcentaje de elongación de 145.29%, una resistencia a la tensión de 0.46%, un módulo de Young de 0.32%, un espesor de 0.167 mm, humedad de 11.99 %, solubilidad de 45.90%. En conclusión, el incorporar extracto de pitaya a las películas comestibles a base de gelatina les daba un color no tan notable, dándole así la capacidad de ser utilizados como recubrimientos en algún producto alimenticio, también provoco reducciones en el contenido de humedad y permeabilidad al vapor de agua, esto mejorando la degradabilidad de las películas al contacto con la humedad.

2. ABSTRACT

Edible films on foods are used to extend their shelf life; they act as a barrier against gases and moisture. In the present work, a film based on gelatin added with pitaya extract at 0, 0.5, 1 and 1.5% was formulated, evaluating physicochemical aspects such as its thickness, water vapor permeability, humidity and solubility. In addition, evaluations of its optical properties, color and transparency, as well as the amount of bioactive compounds, such as phenols, flavonoids and betalains, its antioxidant capacity were carried out by the ABTS and DPPH method. The films were also evaluated for mechanical tests, such as Young's modulus, tensile strength and percentage of elongation at break. Demonstrating that treatment 3 had better results, having 1% pitaya extract, which presented a percentage elongation of 145.29%, a tensile strength of 0.46%, a Young's modulus of 0.32%, a thickness of 0.167 mm, humidity of 11.99%, solubility of 45.90%. In conclusion, incorporating pitaya extract to gelatin based edible films gave them a not so noticeable color, thus giving them the ability to be used as coatings in some food product, it also caused reductions in moisture content and vapor permeability. of water, this improving the degradability of the films upon contact with humidity.

3. INTRODUCCIÓN

La búsqueda para prolongar la vida útil de los alimentos a desarrollado un papel fundamental al transcurso de los años, ya que, en la actualidad existe el interés de los consumidores hacía el consumo de productos sanos, nutritivos y naturales por lo cual han surgido nuevas tecnologías para conservarlos, un gran ejemplo de estas tecnologías son los recubrimientos y películas comestibles (RC, PC). Estas tecnologías buscan conservar al máximo las propiedades sensoriales de los alimentos, mejorando continuamente los procesos empleados en la industria alimentaria, asegurando su conservación sin afectar la calidad y vida útil, (León-Leyva et al., 2018). Las películas y recubrimientos comestibles tienen la capacidad de mejorar el estado del producto mediante la restricción de transferencia de humedad, oxígeno y compuestos que afecten al sabor, color y aroma (Fernández-Valdés et al., 2015) .

Cantillo-Holguín, (2023) menciona que las películas y recubrimientos comestibles están constituidas por finas capas de polímeros naturales (polisacáridos, proteínas animales y vegetales, lípidos) biodegradables, por lo que es una tecnología respetuosa con el medio ambiente que brinda satisfacción a la demanda de la sociedad que consume alimentos naturales. Por lo que un bioplástico es un componente biodegradable que se descompone a mayor rapidez que el plástico tradicional que normalmente utilizamos, al poder este degradarse de forma natural es una alternativa para la sustitución de polímeros de plástico no biodegradables (Moreno-Morales, 2023).

Por otro lado, la pitaya *(Stenocereus pruinosus)* es un fruto perteneciente a la familia cactaceae, es de habito columnar encontrada en regiones semiáridas (Vázquez-Sánchez et al., 2012). La pulpa es muy aromática, jugosa y azucarada, el color de la pulpa puede ser blanco, rosado, amarillo, rojo o violáceo. La pitaya es casi esférica, con un diámetro transversal de 4.4-6.2 cm y longitudinal de 4.4-6.8 cm (Chuck-Hernández et al., 2016). En los frutos de pitaya se han encontrado diferentes tipos de compuestos bioactivos como compuestos fenólicos, flavonoides y betalaínas, además de compuestos antioxidantes que son benéficos para la salud, comportándose de maneras diferentes como antioxidantes (Sandate-Flores et al., 2020), antiinflamatorios, antimicrobianos (García-Cruz et al., 2013), anticancerígenos (Chuck-Hernández et al., 2016) y antifúngicos (Treviño N et al., 2011). De esta forma, el incorporar extracto vegetal a las películas comestibles ayuda actuando

como antimicrobiano, mejora las propiedades del material, mejorando su durabilidad y vida útil, al igual que sirve como transporte para incorporar una amplia variedad de compuestos bioactivos, como antioxidantes (Siripatrawan & Harte, 2010a; Tan et al., 2015). Por ende, el incorporar extracto de pitaya *(Stenocereus pruinosus)* a las películas comestibles sería una mejora en el aporte nutrimental de un producto alimenticio.

4. OBJETIVO GENERAL

Evaluar las propiedades fisicoquímicas, antioxidantes y mecánicas de películas comestibles elaboradas a base de gelatina con extracto de pitaya *(Stenocereus pruinosus)* a diferentes concentraciones.

5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Formular una película a base de gelatina con extracto de pitaya *(Stenocereus pruinosus)* a diferentes concentraciones.
2. Caracterizar las propiedades fisicoquímicas de la película comestible con extracto de pitaya.
3. Determinar compuestos bioactivos y actividad antioxidante en películas comestibles a base de gelatina con extracto de pitaya *(Stenocereus pruinosus)*.

6. HIPÓTESIS

La formulación de películas a base de gelatina con la incorporación de extracto de pitaya (*Stenocereus pruinosus*) en diferentes concentraciones, mejoran las características fisicoquímicas, mecánicas y antioxidantes.

7. JUSTIFICACIÓN

Las películas comestibles han sido una innovación para la producción alimentaria, ya que ayudan a mejorar la calidad de los productos alimenticios, creando una barrera protectora que difiere a los gases y vapores del medio que los rodea, para protegerlos del crecimiento microbiano y reacciones mecánicas. Adicionalmente ayudan a reducir el riesgo de contaminación por microorganismos patógenos que afecten el deterioro de los alimentos. Se ha comprobado que el extracto de pitaya *(Stenocereus pruinosus)* contiene compuestos bioactivos (fenoles, flavonoides, betalaínas, antioxidantes) que no solo enriquecen los aportes benéficos para la salud de los consumidores, sino que también pueden generar un impacto en la composición de las películas comestibles, generando películas comestibles con propiedades antioxidantes.

Es por eso que en la presente investigación se elaboraran películas comestibles a base de extracto de pitaya *(Stenocereus pruinosus)* en concentraciones de 0, 0.5, 1 y 1.5%, evaluando sus propiedades fisicoquímicas, antioxidantes y mecánicas.

8. MARCO TEÓRICO

8.1.Películas y recubrimientos comestibles

Las películas y recubrimientos comestibles son capas delgadas que pueden estar compuestas por biopolímeros como proteínas, carbohidratos y lípidos o en diferentes casos pueden ser combinados para obtener películas o recubrimientos compuestos (López-Palestina et al., 2019a; Yousuf et al., 2022), por ende, deben cumplir un papel fundamental en la prolongación de la vida útil de los productos alimenticios, mantener los parámetros de calidad además de prevenir su deterioro con el medio en que se exponen los alimentos (López-Polo et al., 2024).

Las películas y recubrimientos comestibles pueden ser portadoras de diferentes tipos de compuestos bioactivos, como el extracto de algún fruto o vegetal que ayude a la mejora de sus propiedades funcionales, siendo una alternativa para mejorar la calidad durante su manejo pre y poscosecha (Ribeiro et al., 2020; Solano-Doblado et al., 2018). Tanto las películas como los recubrimientos comestibles tienen las mismas ventajas de ser consumidas directamente con los productos alimenticios sin presentar un riesgo para la salud del consumidor, ayudando al desarrollo sostenible, regularizando el intercambio de gases, además de mejorar las propiedades nutricionales y organolépticas del alimento (Berti, 2023). La forma en que se pueden aplicar estas películas y recubrimientos comestibles a los productos del sector agroalimentario, es por una especie de membrana que los protege ante diferentes condiciones ambientales, microbiológicas o por el deterioro natural (Cantillo-Holguín, 2023).

Las películas y recubrimientos comestibles se pueden diferenciar por su uso y la forma en que están elaboradas cada una, pero su objetivo final es el mismo para los dos, resguardar y prolongar la vida útil de los productos del sector alimentario además de actuar como poder actuar como un remplazo a los envases de plástico (Flores-Martínez et al., 2017; Ribeiro et al., 2020a).

8.2.Películas comestibles

Las películas comestibles son capas delgadas preformadas por polímeros biodegradables utilizadas en el embazado de productos alimenticios, teniendo un espesor menor a 0.3 mm. Formadas de manera individual dejándolas en una superficie nivelada para posteriormente ser usadas como envoltura para mejorar la calidad y seguridad de los alimentos, contando con la capacidad de poder ser ingeridas por el consumidor sin presentar algún riesgo a su salud (Ribeiro et al., 2020a; Silva

et al., 2023; Solano-Doblado et al., 2018a). Tres grupos de componentes básicos son los que conforman a la estructura de las películas comestibles: biomoléculas de alto peso molecular, un plastificante de bajo peso molecular y un solvente (Berti, 2023).

Una vez elaboradas las películas comestibles, obtenemos una lámina solida que se puede aplicar como envoltura sobre un alimento, creando una barrera protectora contra daños físicos causados por impactos, ayudando así a prolongar su vida útil, previniendo su deterioro y mejorando su calidad (Murillo-Martínez, 2011; Silva et al., 2023). Una de las funciones a destacar de las películas comestibles es que pueden ser portadoras de antioxidantes, sabores, nutrientes y compuesto antimicrobianos que ayuden a mejorar el microbiota en el intestino del consumidor (López de Lacey, 2013).

Según Gonzales-Espada, (2016) menciona en su investigación que las películas comestibles se pueden utilizar para darle mejoras al brillo y una apariencia más estética a los productos hortofrutícolas y alimentos. No obstante, no solo se pueden utilizar para estos usos, sino que también incluyen recubrir algunos dulces y medicamentos en tabletas.

8.3.Recubrimientos comestibles

Los recubrimientos comestibles son finas capas comestibles formadas de polisacáridos, proteínas o lípidos sobre un alimento, para posteriormente ser utilizadas como envolventes (Saxena et al., 2017), que forman un mecanismo de barrera que actúa contra el movimiento de diversos componentes químicos como el dióxido de carbono, oxigeno, saborizantes, lípidos, humedad, entre otros (Quirós-Sauceda et al., 2014), dando una capa protectora que difiere al medio ambiente con el alimento, alargando su conservación y retardando su maduración (Madera-Santna et al., 2022). Además de ofrecer esta protección de barrera, los recubrimientos comestibles actúan como vehículo de sustancias antimicrobianas y antifúngicas (Bautista-Espinoza et al., 2023).

Los recubrimientos pueden estar compuestos por diferentes materiales comestibles, ayudando a su funcionamiento y caracterizándolos como lo son los recubrimientos a base de polisacáridos, que, actúan a reducir la permeabilidad de distintos gases, en diferencia de los recubrimientos a base de proteínas que tienden a tener características mecánicas superiores y los recubrimientos con grasa que presentan a tener mayor capacidad de repeler la transferencia de agua (Patil et al., 2023). Asimismo, los recubrimientos comestibles ayudan a incrementar la vida útil de los alimentos, prevenir su decoloración y retardan el proceso de maduración (Chettri et al., 2023).

Según Mederos-Torres et al., (2020) menciona que los recubrimientos comestibles reducen la humedad y la salida de solutos. Su aplicación ofrece una solución para obtener productos frescos, nutritivos y comestibles. Además, que retrasan el deterioro y la senescencia de forma igualitaria a las atmósferas modificadas.

8.4.Bioplásticos

Los bioplásticos, son polímeros, materiales plásticos derivados de sustancias naturales (vegetales) o renovables, cuya característica principal es tener la función de degradarse de forma natural, siendo agradable con el medio ambiente (Macías-Gilver et al., 2023; Siddiqui et al., 2024). Los bioplásticos también pueden producirse a partir de bacterias y algas, que en tener contacto con el suelo estos pueden ser degradados por microrganismos sin liberar ningún tipo de contaminantes para el medio ambiente (El-Sheekh et al., 2024). El diseño de los bioplásticos degradables tiene como objetivo ser utilizados como desechable y tener una menor durabilidad que los comunes, por ello se cree que utilizar polímeros duraderos a partir de biomateriales sería una alternativa para los productos plásticos elaborados convencionalmente (Platnieks et al., 2021). Unas de las ventajas de utilizar bioplásticos serian la reducción del impacto de carbono, más factibilidad en la fabricación y una reducción de la basura que generan los plásticos elaborados a partir de petróleo (Boonniteewanich et al., 2014; Thomas et al., 2023).

8.5.Películas a base de gelatina

La gelatina es una proteína sin sabor, olor y con capacidad de disolverse en agua con facilidad, compuesta por proteínas (85-92%), sales minerales y agua, siendo producida por la hidrolisis parcial del colágeno, por ende, la gelatina se utiliza en la industria alimentaria debido a sus propiedades funcionales (Abedinia et al., 2020; B. Liu et al., 2023). Mayormente la obtención de gelatina es extraída por la piel de cerdo (46%), piel de bovino (29.4%), huesos de cerdos y vacunos (23.1%) y piel de pescado (1.5%) (Duconseille et al., 2015). La gelatina elaborada de diversos subproductos animales se difiere por tener características fuertes en propiedades mecánicas y de barrera (F. Liu et al., 2015), propiedades gelificantes y por la excelente capacidad de formar películas, lo que la han convertido en una opción para la elaboración de películas comestibles (Luo et al., 2022).

Las proteínas favorecen a la elaboración de películas comestibles debido a su biodegradabilidad y a que aumenta el valor nutritivo del producto alimentario (Changoluisa-Chancusig, 2023). Las

películas comestibles formadas con biopolímeros como lo es las proteínas, tienen buena barrera mecánica, pero con pobre barrera a la humedad, debido a su hidrofilidad (Téllez-Rangel et al., 2017). Soto-Ramos, (2023) menciona que el uso de proteínas en la aplicación de películas comestibles, genera una buena adherencia a las superficies hidrófilas, dando el objetivo de reducir la absorción de oxígeno y CO2, las pérdidas de sabor y aroma, además de mantener las características mecánicas y organolépticas de los alimentos, por lo que igual pueden ser portadoras de diferentes tipos de agentes microbianos y antioxidantes.

8.6.Películas con extracto vegetal

Las películas comestibles por sí mismas tienen cualidades que ayudan a mejorar la vida de los productos hortofrutícolas, pero al incorporar un extracto natural, este sirve para otorgar propiedades bioactivas por sus efectos antioxidantes y antimicrobianos (Pandia-Estrada & Romero-Santivañez, 2023). La mezcla entre los componentes de las películas comestibles y los extractos vegetales ayudan a mejorar sus características obteniendo nuevos materiales con las características buscadas (Martins et al., 2019; Mir et al., 2018). El añadir extracto vegetal a las películas comestibles ayuda actuando como antimicrobiano, mejora las propiedades del material, por lo cual mejora su durabilidad y vida útil, al igual que sirve como transporte para incorporar una amplia variedad de compuestos bioactivos, como antioxidantes (Siripatrawan & Harte, 2010b; Tan et al., 2015). Los extractos vegetales son utilizados en la industria como saborizantes, colorantes y antioxidantes naturales, estos al ser adicionados a las películas comestibles les confieren propiedades de empaques inteligentes, ya que estos les permite actuar como indicadores de algunas condiciones fisicoquímicas que presentan los alimentos, como el pH (Robles-Vences, 2023; Solano-Doblado et al., 2018).

En diversos estudios se ha demostrado que el utilizar extractos naturales en la elaboración de películas comestibles ha generado un impacto que beneficia a su composición, de estos tipos de extractos naturales se han estudiado como el extracto de semilla de mango (Maryam Adilah et al., 2018), extracto etanolico de cúrcuma (Bitencourt et al., 2014), extracto de romero (Piñeros-Hernandez et al., 2017), extracto de etanol-propóleo (Bodini et al., 2013), extracto de semilla de uva (Rubilar et al., 2013), extracto de cáscara de granada (Bodana et al., 2024), extracto de cáscara de sandía (Wang et al., 2023) entre otros.

Changoluisa-Chancusig, (2023) menciona que el incorporar extracto de pitahaya amarilla *(Hylocereus megalanthus)* a las películas comestibles mejoro parcialmente la resistencia a la tensión, por otro lado, las propiedades organolépticas demostraron mejoria en cuantos al olor, sabor y textura. En la investigación descrita por Bitencourt et al., (2014) realizaron películas comestibles a base de gelatina agregando extracto de cúrcuma, describiendo que la capacidad antioxidante mejoro en las películas comestibles a medida que aumentaban la concentración del extracto, esto debido a la gran cantidad de compuestos fenólicos que contiene el extracto de cúrcuma.

8.7.Efecto de las películas comestibles en la poscosecha de los frutos

El uso de películas comestibles en la poscosecha de los frutos es muy efectivo en conservación de estos, mejorando la calidad y prolonga la vida útil de los frutos, al actuar como una barrera de gases ayudan al desarrollo sostenible, reducen la pérdida o ganancia de agua, favorecen a la disminución del crecimiento microbiológico y aumentan la resistencia de los frutos (Chanataxi-Rosales, 2023). Utilizar películas comestibles actúa benéficamente sobre la pérdida de peso y la disminución de gases, además de esto las películas comestibles sirven como transporte para adicionar ingredientes activos que ayuden a inhibir la infestación de bacterias patógenas que afecten la salud al consumidor (Bajaj et al., 2023; Márquez-C et al., 2009).

Saberi et al., (2018) menciona que el aplicar películas comestibles a base de almidón de guisante y goma guar a naranjas se obtuvo un rendimiento óptimo en la reducción de la tasa de respiración, la producción se etileno, la pérdida de peso y firmeza, demostrando que la aplicación de este tipo de envases ayuda a mantener la calidad de la fruta durante su almacenamiento y vida útil. En la investigación descrita por Goswami et al., (2024) realizaron un recubrimiento a base de goma guar/quitosano con inclusión de aceite de coco, yema de clavo y aceite esencial de corteza de canela sobre la vida útil de mandarina Khasi, este mostro ser efectivo ya que obtuvieron menor pérdida de peso, menor descomposición de sólidos solubles, mínima pérdida de firmeza en comparación de la mandarina Khasi sin recubrimiento.

8.8.Taxonomía y morfología de la pitaya

La pitaya *(Stenocereus pruinosus)* es un fruto que pertenece a la familia cactaceae y su clasificación taxonómica se muestra en el Cuadro 1, es una cactácea de hábito columnar, encontrada en regiones semiáridas (Vázquez-Sánchez et al., 2012). La pulpa es muy aromática,

jugosa y azucarada, el color de la pulpa puede ser blanco, rosado, amarillo, rojo o violáceo. La pitaya es casi esférica, con un diámetro transversal de 4.4-6.2 cm y longitudinal de 4.4-6.8 cm (Chuck-Hernández et al., 2016). Tiene espinas foliares delgadas, deciduas y su vida de anaquel es menor de seis días a temperatura ambiente, de acuerdo a la investigación de Rosas-Benítez et al., (2016), el fruto de pitaya puede ser considerado como alimento nutracéutico, por ende, esto puede aumentar su comercialización en el mercado de frutos frescos.

***Cuadro 1**. Clasificación taxonómica de la pitaya.*

Reino	*Plantae*
Subreino	*Tracheobionta*
División	*Magnoliophyta*
Clase	*Magnoliopsida*
Subclase	*Caryophyllidae*
Orden	*Caryophyllales*
Familia	*Cactaceae*
Subfamilia	*Cactoideae*
Tribu	*Pachycereeae*
Género	*Stenocereus*
Especie	*S. pruinosus*
Nombre científico	*Stenocereus pruinosus*

Fuente: (Chuck-Hernández et al., 2016)

8.9.Ubicación

Stenocereus pruinosus se desarrolla en regiones árida y semiáridas, las zonas con mayor importancia de producción de la pitaya son la Cuenta de Sayula (Jalisco, Zacatecas, Guanajuato, Michoacán y Querétaro) y la Mixteca (entre los estados de Oaxaca y Puebla) (Chuck-Hernández et al., 2016)

8.10. Importancia nutricional

8.10.1. Compuestos bioactivos

En los frutos de pitaya se han encontrado diferentes compuestos bioactivos que aportan beneficios para la salud, actuando de diferentes maneras como antioxidantes (Sandate-Flores et al., 2020),

antiinflamatorios, antimicrobianos (García-Cruz et al., 2013), anticancerígenos (Chuck-Hernández et al., 2016) entre otros. Dentro de estos compuestos podemos encontrar compuestos fenólicos totales (García-Cruz et al., 2012) dentro de estos los que más predominan son de tipo hidroxicinamoilo, flavonoles y flavanonas (García-Cruz et al., 2017a), flavonoides (Treviño N et al., 2011), betalaínas (Rodríguez-Sánchez et al., 2017; Sandate-Flores et al., 2020), acido ascórbico (Beltrán–Orozco et al., 2009), vitaminas (Ochoa-Velasco & Beltrán, 2013), entre otros.

8.10.1.1. Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos son clasificados como un grupo de compuestos químicos que constan de un grupo hidroxilo (-OH) que estas vinculados directamente por un grupo benceno o hidrocarburo aromático (Sadeghi et al., 2024). Los fenoles tienen propiedades antioxidantes y antiinflamatorias que los caracterizan por ser compuestos bioactivos, estos tienen la capacidad de suprimir los efectos de los radicales libres brindando beneficios para la salud (García-Cruz et al., 2022). Se ha demostrado en diversos estudios que los frutos de *Stenocereus* contienen cantidades grandes de compuestos fenólicos por ende están relacionados con la capacidad antioxidante (Chuck-Hernández et al., 2016; García-Cruz et al., 2022). En el estudio descrito por (García-Cruz et al., 2017b) menciona que en los frutos de pitaya contiene en su mayoría compuestos fenólicos derivados de hidroxicinamoilo, flavonoles y flavanonas, por esto el fruto de pitaya se correlaciona como alimento funcional (García-Cruz et al., 2012).

8.10.1.2. Flavonoides

Los flavonoides también llamados bioflavonoides, pertenecen a la clase de los compuestos bioactivos, estos polifenoles habitan mayor mente en las raíces, tallos, hojas, flores y semillas de las plantas, verduras y frutas (Shen et al., 2022). Estos compuestos bioactivos son metabolitos secundarios con un anillo heterocíclico y dos anillos de fenilo en un esqueleto de 15 carbonos (Tizazu & Bekele, 2024). García-Cruz et al., (2022) describe que el fruto de *Stenocereus pruinosus* se ha encontrado gran cantidad de flavonoides de tipo flavanol, como quercetina, catequina, isorhamnetina y kaempferol (Rodríguez-Félix et al., 2019).

8.10.1.3. Betalaínas

Las betalaínas son pigmentos polifenólicos solubles en agua y generalmente estables a un pH moderadamente ácido, responsables de la coloración de flores, frutos y en algunos casos raíces y hojas, aunque son muy susceptibles al contacto con el calor, la luz y el oxígeno (Lea & Henry,

2003; Stintzing & Carle, 2007). Las betalaínas están compuestas por dos grupos de pigmentos, solubles en agua, vinculados químicamente, entre ellos se encuentran las betacianinas que generan un color rojo violeta y las betaxantinas de color amarillo anaranjado (Rodríguez-Sánchez et al., 2017). Dentro los cuales se muestran diferentes actividades biológicas, entre ellas se encuentra su actividad inflamatoria (Vidal et al., 2014), antioxidante (Gengatharan et al., 2015) y propiedades anticancerígenas (Stintzing & Carle, 2007; Tesoriere et al., 2006).

De acuerdo con (Sandate-Flores et al., 2020) informa que el color de la pulpa de la pitaya, se debe a la presencia de betalaínas en concentraciones mayores al grupo de las betaxantinas. Por otro lado, en la literatura nos menciona (García-Cruz et al., 2012; Chuck-Hernández et al., 2016) que la pulpa roja de pitaya (*Stenocereus griseus)* contiene más betalaínas que la pulpa naranja de pitaya *(Stenocereus pruinosus)*, demostrando que la pulpa roja tiene mayor concentración de betacianinas, pero menor concentración de betaxantinas que la pulpa naranja.

8.10.2. Propiedades biológicas

8.10.2.1. Capacidad antioxidante

Los antioxidantes son compuestos que interactúan con los radicales libres y los neutralizan, desempeñando la protección de nuestras células contra el daño que ocasionan los radicales libres (García-Cruz et al., 2013). En la investigación descrita por García-Cruz et al., (2022) menciona que los frutos de *Stenocereus* contienen un alto valor antioxidante debido mayor mente con el nivel de compuestos fenólicos totales. El fruto de pitaya tiene una alta capacidad antioxidante, por ende, tiene el potencial de reducir los efectos de los radicales libres, ayudando a la prevención de enfermedades como el cáncer de colon y problemas cardiovasculares (Chuck-Hernández et al., 2016).

9. MATERIALES Y MÉTODOS

9.1.Ubicación y característica del área de estudio

Este proyecto de investigación se llevó a cabo dentro de las instalaciones del Instituto de Ciencias Agropecuarias perteneciente a la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo en el laboratorio de poscosecha, ubicada en Av. Universidad número Km.1, Ex Hacienda de Aquetzalpa A.P. 32., Tulancingo de Bravo, Hidalgo. México.

9.2.Preparación del extracto de pitaya

Se elaboró un extracto de pitaya, con una solución etanólica al 70% relación 1:1, con frutos de pitaya frescos, se ultrasónico por 1 h a temperatura ambiente. Posteriormente se filtró en papel Whatman número 1, después de terminado el filtrado se concentró en un rotavapor (R-215, BUCHI) hasta tener un extracto semisólido (Comlekcioglu & Kutlu, 2021). En la (Figura 1) se muestra el rotavapor utilizado.

Figura 1. Rotavapor.

9.3.Método de elaboración de la película comestible

Para obtener la formulación de las películas comestibles se realizaron pruebas en un control y las demás añadiendo extracto de pitaya, donde se elaboraron 4 diferentes tratamientos, con diferentes concentraciones del extracto de pitaya, para observar que tratamiento presentaba mejores características físicas.

Las soluciones filmógenas (FFS) se hicieron con lo descrito por López-Palestina et al., (2019), se prepararon con una concentración de gelatina de cerdo de 8 g por 100 ml de agua destilada.

Se añadieron glicerol (22.5g/100g de gelatina) y sorbitol (15g/100g de gelatina) a la solución de gelatina para que este funcionara como plastificante. La gelatina se hidrato (Figura 2, B), posteriormente se llevó a baño maría durante 10 min y se mezcló con el glicerol y sorbitol, los cuales fueron mezclados durante 20 minutos a temperatura ambiente. Se añadió extracto de pitaya a la solución de la película a una concentración de 0, 0.5, 1 y 1.55% (v/v) para obtener 4 tratamientos diferentes. Para estabilizar los tratamientos, se añadió a las soluciones Tween 60 correspondiente a 25% del contenido de extracto de pitaya. Las FFS se homogeneizaron (Figura 2, C) en un homogeneizador de tejidos (IKA, modelo T25DS1), con una tasa de homogeneización de 10000 rpm durante 5 minutos en lapsos de 2 y 1 min. Las películas se moldearon en cajas Petri de 8 cm de diámetro colocando 9 ml (Figura 2, D). El secado se realizó en un horno (VWR modelo GR 2.3 CFI) a 35°C durante 48 h. Posteriormente del secado, las películas comestibles se desprendieron y se almacenaron en desecadores a 25 ± 2°C y una humedad relativa (HR) de 75%, la cual fue proporcionada por una solución saturada de NaCl.

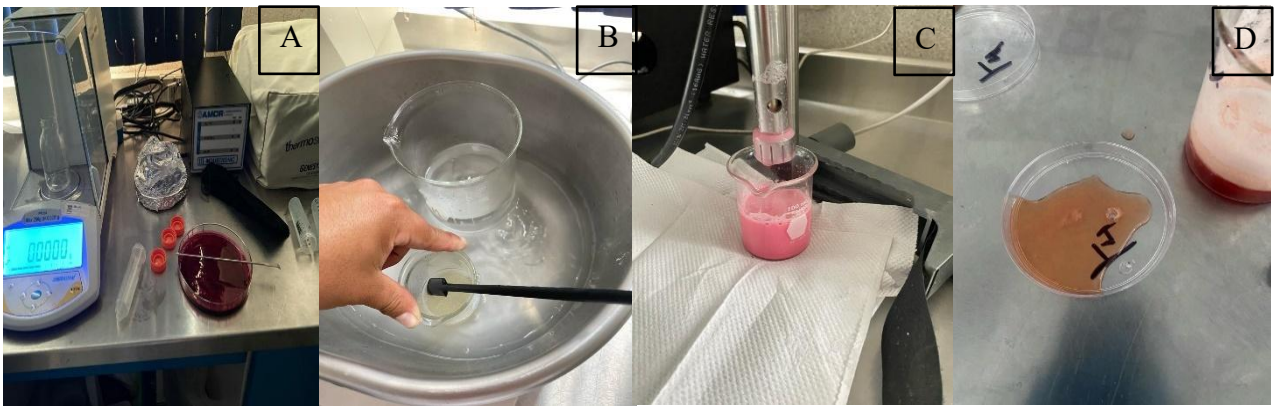

Figura 2. Método de elaboración de la película comestible. Pesaje (A); hidratación de la gelatina (B); homogeneizado (C); moldeado de las películas (D).

9.4.Caracterización de las películas comestibles

9.4.1. Espesor

El espesor se determinó con un calibrador vernier digital (Figura 3). Se midieron tres repeticiones de cada tratamiento en diferentes puntos de las películas.

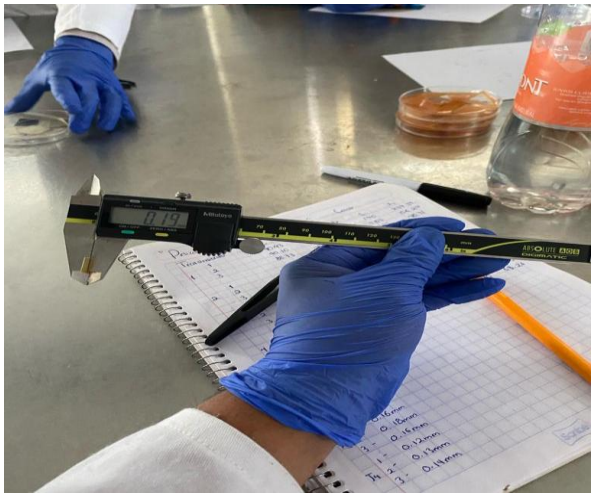

Figura 3. Calibrador vernier digital.

9.4.2. Propiedades ópticas

Los parámetros de color de las películas (valores de L*, a*, b*, C* y °h se midieron usando un colorímetro 3nh (modelo NR110) que se muestra en la (Figura 4).

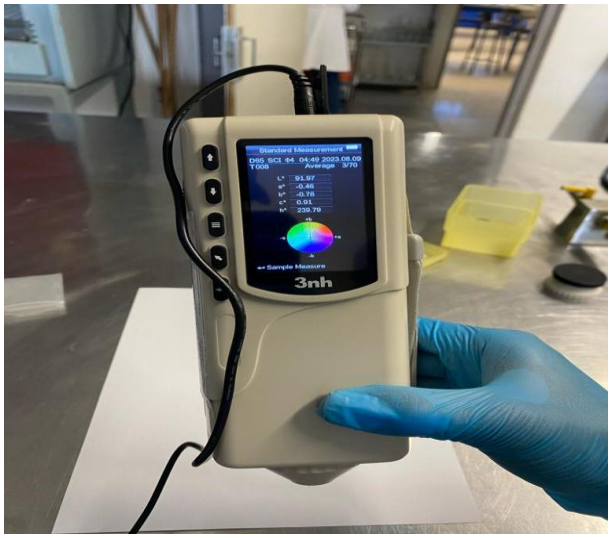

Figura 4. Colorímetro.

9.4.3. Contenido de humedad

El contenido de humedad (H) de las películas, se determinó de acuerdo a la metodología reportada por Oregel-Zamudio, (2013) secando secciones de película de 2 cm × 2 cm en un horno (VWR modelo GR 2.3 CFI) a 105°C durante 24 h, estas se colocaron en charolas de papel aluminio como se observa en la (Figura 5, A), los cuales fueron primero secadas a 105°C por 24 h en un horno, se pesaron las muestras en una balanza analítica, se registró su peso y se llevaron a la estufa (Figura

5, B), una vez concluido el tiempo, se sacaron las muestras y se volvió a pesar y registrar su peso, para determinar la humedad de las películas se utilizó la siguiente ecuación:

Ecuación 1. % de Humedad.

$$\%\, humedad = \frac{Pi - Pf}{Pi} * 100$$

Donde $Pi =$ Peso inicial, $Pf =$ Peso final.

Figura 5. Contenido de humedad. Charolas de aluminio (A); horno (B).

9.4.4. Solubilidad de las películas en agua

Se evaluó de acuerdo a la metodología reportada por Romero-Bastida et al., (2005) usando las muestras utilizadas en peso seco. Se colocaron 80 mL de agua destilada en un matraz con un cuadro de película comestible de 2 cm × 2 cm (Figura 6, A), después se llevó a agitación por 10 minutos en una parrilla magnética y un agitador a temperatura ambiente, una vez concluido el tiempo se recuperó la película (Figura 6, B) y se puso a peso constante a 60°C durante 24 h, para calcular el porcentaje de solubilidad se utilizó la siguiente fórmula.

Ecuación 2. % de Solubilidad.

$$\%\, Solubilidad = \frac{Pi - Pf}{Pi} * 100$$

Donde $Pi =$ Peso inicial, $Pf =$ Peso final.

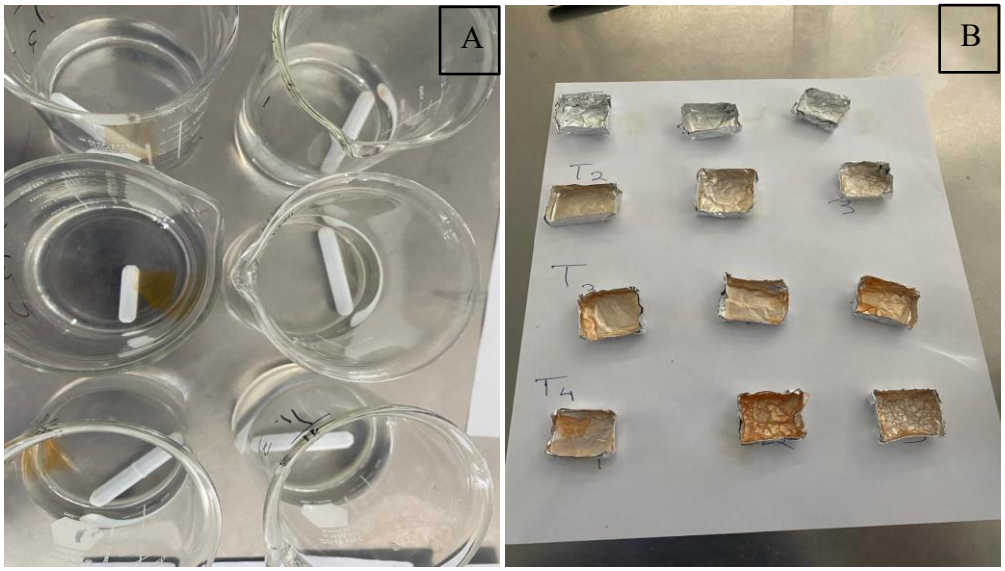

Figura 6. Solubilidad de las películas en agua. Película colocada en agua destilada (A); muestras de películas puestas en charolas de aluminio (B).

9.4.5. Permeabilidad al vapor de agua

La permeabilidad al vapor de agua (WVP) se evaluó según el método estándar E96 de la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (ASTM), con las modificaciones propuestas por Aila-Suárez et al., (2013). Se realizaron 3 repeticiones de cada película, estas se coloraron y se sellaron en una celda circular de aluminio, que previamente se sellaría en un vial, con una apertura circular de 10 mm de diámetro (Figura 7, A). Se utilizó gel de sílice (0% de HR) para sellar celda de aluminio y se usó una solución saturada de NaCl (75% de HR) dentro del desecador (Figura 7, B).

El transporte de vapor de agua se determinó a partir del peso ganado dentro del vial, se tomaron doce mediciones durante las siguientes 12 h, en lapsos de 1 h.

Después de las pruebas de permeación, se midió el espesor de las películas con ayuda de un calibrador vernier digital para calcular el WVP (g/ Pa*s*m). La permeabilidad al vapor de agua se calculó utilizando la siguiente ecuación:

Ecuación 3. Permeabilidad al vapor de agua.

$$WVP = \frac{w * x}{t * A * \Delta P} \times 100$$

Donde w es el aumento de peso (kg), x es el espesor de la película (m), t el tiempo transcurrido para el aumento de peso (s) y ΔP la diferencia de presión de vapor entre la atmósfera seca y el agua pura (2642 Pa a 22°C).

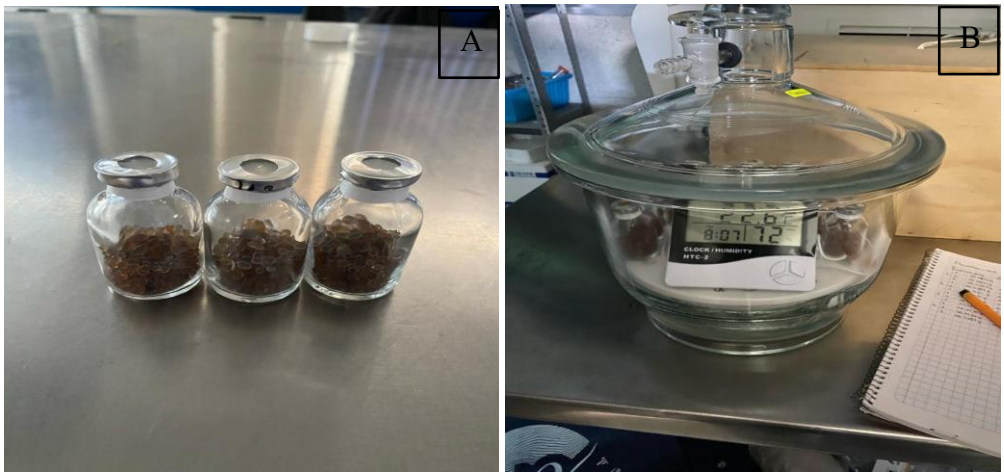

Figura 7. Permeabilidad al vapor de agua. Viales con gel de sílice con película (A); desecador (B).

9.4.6. Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas de las películas, como el porcentaje de elongación a la rotura, la resistencia a la tracción y el módulo de Young, se evaluaron de acuerdo con los métodos estándar ASTM D882-95a (ASTM, 1995) utilizando un texturómetro (Figura, 8), con carga de celda de 30kg (Texture Analyset, TA.XT.plus). Las películas se cortaron en rectángulos de 8 cm de largo × 2 cm de ancho, que se mantuvieron durante 5 días en desecadores con una solución saturada de NaCl (75% HR). La separación entre los metros fue de 5 cm y la velocidad de deformación fue de 0.10 mm/s. El grosor de las películas se midió en 5 posiciones aleatorias utilizando un calibrador vernier digital. El valor promedio se usó para calcular el área de la sección transversal de las películas. El porcentaje de alargamiento a la rotura, la resistencia a la tracción y el módulo de Young se calcularon utilizando las siguientes ecuaciones:

Ecuación 4. Resistencia a la tracción.

$$Resistencia\ a\ la\ tracción = \frac{Fmax}{t * w}$$

Donde $Fmax$ es la carga al fallo (fuerza a la que se rompen las películas), t es el espesor inicial de la película, y w es la anchura inicial de la película.

Ecuación 5. Porcentaje de elongación a la rotura.

$$Porcentaje\ de\ elongación\ a\ la\ rotura = \frac{l_f - l_o}{l_o}$$

Donde l_f es la longitud final de la película al fallo y l_o es la longitud inicial (5 cm) de la película entre las mordazas.

Ecuación 6. Módulo de Young.

$$Módulo\ de\ Young = \frac{F/A}{\Delta l/l_0}$$

Donde F es igual a la fuerza aplicada a la estructura, A es el área transversal de la película, Δl es el cambio en la longitud de la película cuando se le aplica la fuerza y l_0 es la longitud inicial.

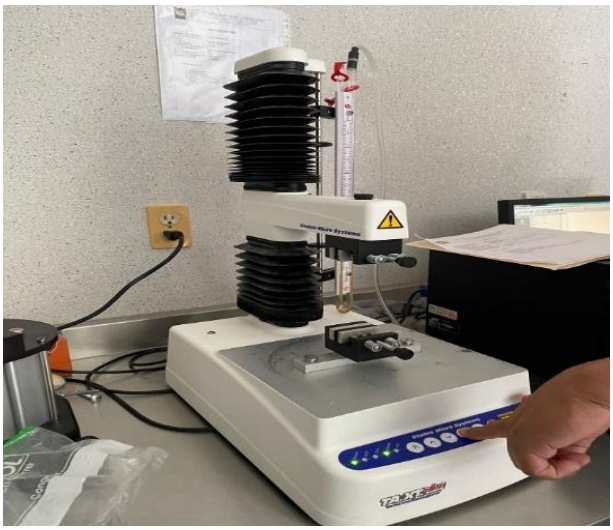

Figura 8. Texturómetro.

9.5.Compuestos bioactivos

9.5.1. Fenoles totales

Los fenoles totales se determinaron por el método de Folin-Ciocalteu descrito por Waterman et al. (1994). Del sobrenadante de cada una de las muestras se tomaron 0.5 mL del extracto y se agregó el reactivo de Folin-Ciocalteu diluido con agua destilada, se dejó reposar por 7 min, se agregó 1.5 mL de carbonato de sodio (7.5%) y agua destilada, posteriormente se dejó reaccionar en completa oscuridad durante 1 h. Finalmente se midió espectrofotométricamente la absorbancia a 725 nm

(espectrofotómetro UV-Vis, Jenway, 6715, EUA). Se elaboró una curva de calibración con una solución patrón de ácido gálico a una concentración (1000 mg L^{-1}). Los resultados se expresaron en mg EAG g^{-1} de peso seco (PS).

9.5.2. Flavonoides

El contenido de flavonoides se determinó de acuerdo al método de Sánchez-Rodríguez et al., (2012), para ello se tomaron 0.5 mL del extracto, se le agregó agua destilada, más una muestra conocida de $NaNO^2$ (5%) la mezcla se reposó durante 5 min en la obscuridad y se agregó $AlCl_3$ $6H_2O$ al (10%) y 1 mL de NaOH (1M), esta solución se dejó reposar por 15 min. Se midió espectrofotométricamente la absorbancia a 415 nm (espectrofotómetro UV-Vis, Jenway, 6715, EAU). El contenido total de flavonoides se determinó usando una curva estándar de quercetina. Los resultados se expresaron mg EQ g^{-1} peso seco (PS).

9.6.Extacción y cuantificación de betalaínas

Para llevar a cabo el método de extracción y cuantificación de betalaínas, se picaron finamente las películas y se adiciono 40 mL de metanol al 80% (v/v), la solución se filtró a través de gasa colectando el filtrado en un matraz aforado de o mL (previamente cubierto con papel aluminio) y llevar al aforo con metanol al 80%. Se obtuvo el espectro de absorción del filtrado en un espectrofotómetro en el intervalo de 400 a 600 nm. Para determinar el contenido de betacianinas y betaxantinas, se midió la absorbancia a 538 y 483 nm, se empleó como blanco la solución extractora, la absorbancia debe ser inferior a 0.6 unidades.

9.7.Actividad antioxidante no enzimática

9.7.1. Método DPPH• (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo)

Para determinar la actividad antioxidante por medio de DPPH• se utilizó la metodología propuesta por Brand-Williams et al., (1995). Se preparó una disolución etanólica al 6 x 10^{-5} M de DPPH• la cual se colocó en agitación constante durante 2 horas en completa oscuridad. Posteriormente a una muestra del sobrenadante se le agregaron una concentración conocida de la disolución metanólica con DPPH, se agitó durante 15 s y se dejaron en reposo en completa oscuridad por un lapso de 1 h a 4°C, posteriormente se midió espectrofotométricamente la absorbancia a 517 nm (espectrofotómetro UV-Vis, Jenway, 6715, EUA). Para la obtención de resultados se preparó una curva patrón de Trolox. Los resultados se expresaron como μmol ET g^{-1} de peso seco (PS).

9.7.2. Método de ABTS•+ [2,2'-azino-bis (ácido 3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico)]

La actividad antioxidante mediante $ABTS^{\bullet+}$, se determinó por el método descrito por Re et al., (1999). El radical $ABTS^{\bullet+}$ se produjo de la siguiente manera: se mezcló una solución 7 mM de $ABTS^{\bullet+}$ con persulfato de potasio 2.45 mM, la mezcla se mantuvo en agitación constante y a temperatura ambiente en la oscuridad durante 16 horas. La solución de $ABTS^{\bullet+}$ se diluyó en metanol absoluto hasta obtener una absorbancia de 0.7 ± 0.02 a 734 nm. Se mezcló la muestra con cantidad conocida de la solución de $ABTS^{\bullet+}$ diluido y se dejó reposar durante 6 min. Transcurrido el tiempo se midió la absorbancia a 734 nm (espectrofotómetro, modelo 6715 UV/Visible, Jenway, Techne Inc, EUA). Para la obtención de resultados se preparó una curva patrón de 0 a 15 µM de Trolox. Los resultados se expresaron como µmol ET g-1 de peso seco (PS).

9.8.Análisis de resultados

Se utilizó un diseño completamente al azar, tres repeticiones por tratamiento y se realizó el análisis de varianza y la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey con ($p < 0.05$) el programa SAS (Statistical Analisys System, 2002) versión 9 fue utilizado.

10. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

10.1. Elaboración de la película comestible

De la mezcla base se realizaron cuatro tratamientos con diferentes concentraciones de extracto de pitaya 0, 0.5, 1, 1.5%. Las películas obtuvieron una apariencia normal, no mostraron burbujas dentro de su estructura, esto ayudó a su manipulación. En la Figura 9 se muestran las películas obtenidas.

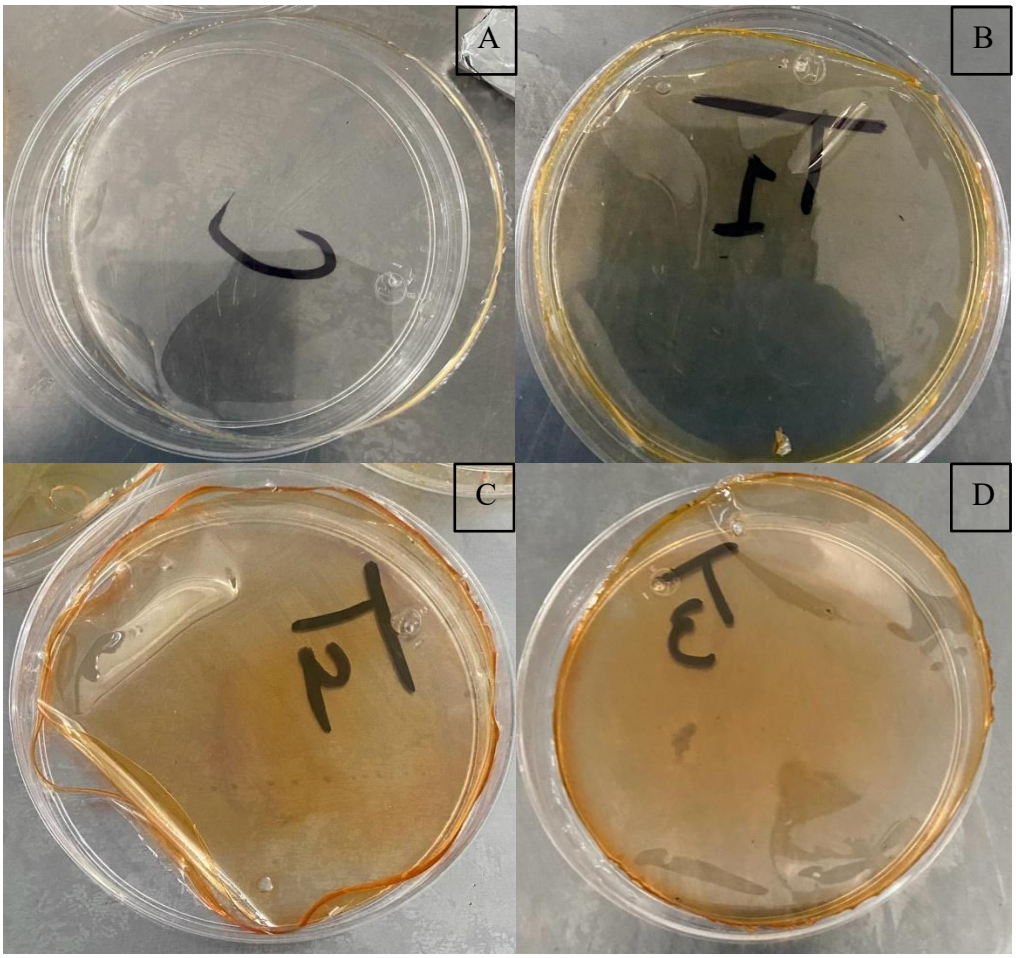

Figura 9. Películas comestibles. Película sin extracto (A); película con 0.5% de extracto (B); película con 1% de extracto (C) y película con 1.5% de extracto (D).

10.2. Caracterización de las películas comestibles

Los distintos parámetros que se evaluaron en las películas comestibles dan a conocer la funcionalidad que tienen para ser utilizados en los alimentos, su comportamiento y su efectividad como películas. En estos parámetros se encuentra el espesor, las propiedades ópticas, contenido de

humedad, solubilidad, permeabilidad al vapor de agua entre otros, esto permite determinar que tratamiento es más apto para ser utilizado dependiendo de las características que requiera el fruto, verdura o producto alimenticio (López-Palestina et al., 2019).

10.3. Espesor

De acuerdo con (Ribeiro et al., 2020) las películas comestibles son una capa preformada y delgada, las cuales tienen un espesor inferior a 0.3 mm, observando en el Cuadro 2, que las películas del tratamiento 4 presentan un mayor espesor que las películas del tratamiento 1, esto se puede deber a un aumento del 1.5% de extracto, sin embargo, las películas no superan lo recomendado por (Ribeiro et al., 2020) por esto, el espesor es una característica importante para las películas comestibles, ya que esto afecta las propiedades de barrera, además de la permeabilidad y otros gases (Chanataxi-Rosales, 2023). El grosor se determinó con la ayuda de un calibrador vernier digital, los resultados se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Espesor de películas comestibles a base de gelatina con extracto de pitaya.

Tratamiento	Espesor (mm)
T1 (0% EP)	0.083 ± 0.050 b
T2 (0.5% EP)	0.157 ± 0.031 ab
T3 (1% EP)	0.167 ± 0.012 ab
T4 (1.5% EP)	0.130 ± 0.010 a

Los datos se reportan como las medias ± desviaciones estándar. Medias con la misma letra no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). EP: extracto de pitaya

10.4. Propiedades ópticas

Las propiedades ópticas son un parámetro importante en la elaboración de películas comestibles, ya que esto puede afectar a la apariencia del producto a recubrir (López-Palestina et al., 2019a), según el tipo de extracto y la concentración que se incorpore a la solución, generara los cambios de color (Paz-Paredes & Tarrillo-Díaz, 2023). Los resultados de las propiedades ópticas se muestran en el Cuadro 3.

Para los valores de a* que van de rojo (+a*) a verde (-a*) el Tratamiento 1 el cual que corresponde al control (sin extracto) presentó un valor menor, que el tratamiento 4 tenía una concentración del 1.5% de extracto, este incremento el valor de a*, resulta en valores rojizos, esto fue debido al contenido de betacianinas que contiene el extracto (Monroy-Gonzáles, 2019).

Mientras que para la coordenada b* que va de amarillo a (+b*) a azul (-b*) (Monroy-Gonzáles, 2019), se observa que, al incrementar el contenido de extracto en las películas comestibles, presenta un mayor incremento hacia el color amarillo.

La luminosidad o brillo L*, permite clasificar el color como claro u obscuro (Monroy-Gonzáles, 2019). En los valores de luminosidad fueron disminuyendo conforme la adición del extracto, al agregar Tween 60 afecto significativamente, ya que este opaco a las películas. La opacidad de un material refleja la proporción de luz que deja pasar, esto se puede vincular con la transparencia Cuadro 4 (Paz-Paredes & Tarrillo-Díaz, 2023), el aumento de la opacidad puede reducir la aceptabilidad del producto pues esto influye en la demanda de los alimentos.

Cuadro 3. Parámetros de color en películas comestibles a base de gelatina con extracto de pitaya.

Tratamiento	L*	a*	b*	Croma	° hue
T1 (0% EP)	89.92 ± 1.11 a	-0.65 ± 0.23 c	3.89 ± 7.48 c	1.58 ± 0.86 c	163.12 ± 68.08 a
T2 (0.5% EP)	85.02 ± 1.83 b	4.34 ± 1.37 b	19.13 ± 3.74 b	19.63 ± 3.95 b	83.81 ± 12.90 ab
T3 (1% EP)	76.91 ± 0.99 c	13.77 ± 1.13 a	33.62 ± 1.78 a	36.67 ± 2.11 a	67.73 ± 0.79 b
T4 (1.5% EP)	75.02 ± 1.83 c	16.22 ± 2.29 a	34.41 ± 2.90 a	37.72 ± 3.07 a	64.96 ± 2.18 b

Los datos se reportan como las medias ± desviaciones estándar. Medias con la misma letra no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). EP: extracto de pitaya

Cuadro 4. Transparencia de películas comestibles a base de gelatina con extracto de pitaya.

Tratamiento	Transparencia
T1 (0% EP)	2.88 ± 0.23 a
T2 (0.5 % EP)	1.61 ± 0.32 b
T3 (1% EP)	1.16 ± 0.36 b
T4 (1.5% EP)	1.74 ± 0.16 b

Los datos se reportan como las medias ± desviaciones estándar. Medias con la misma letra no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). EP: extracto de pitaya

10.5. Contenido de humedad

En el Cuadro 5 se muestra el contenido de humedad, por lo que podemos observar que al adicionar el extracto de pitaya a las películas comestibles este redujo el porcentaje de humedad, en la investigación descrita por Bergo et al., (2013) menciona que la humedad influye sobre las

propiedades mecánicas, además está vinculada con el tipo y concentración del plastificante utilizado, el reporta que, al emplear glicerol en la formulación de películas comestibles, tuvieron un mayor efecto hidrófilo a diferencia de otros. Por ende, observamos que en el tratamiento 1 que no contiene extracto de pitaya es mayor la humedad que los demás tratamientos que contienen extracto.

Cuadro 5. Contenido de humedad en las películas comestibles a base de gelatina con extracto de pitaya.

Tratamiento	Humedad (%)
T1 (0% EP)	12.53 ± 1.60 a
T2 (0.5% EP)	9.84 ± 1.38 a
T3 (1% EP)	11.99 ± 0.21 a
T4 (1.5% EP)	12.50± 1.17 a

Los datos se reportan como las medias ± desviaciones estándar. Medias con la misma letra no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). EP: extracto de pitaya

10.6. Solubilidad de las películas y permeabilidad

El porcentaje de solubilidad de las películas comestibles se ve reflejado en el Cuadro 6, esto indica su insolubilidad en agua, o su hidrofobicidad, y es un parámetro que tiene importancia comercial, ya que influye en diferentes aplicaciones (López-Palestina et al., 2019), el aumento de la solubilidad está relacionado a que los compuestos fenólicos del extracto de pitaya forman cadenas hidrofílicas que afectan las funciones de las proteínas (Paz-Paredes & Tarrillo-Díaz, 2023).

La solubilidad de las películas comestibles es un factor importante que determina su biodegradabilidad cuando se utiliza como un medio para proteger los alimentos, un valor bajo de solubilidad es benéfico puesto que la película no sufrirá daños al contacto con la humedad (Chanataxi-Rosales, 2023). En la investigación descrita por (Hosseini et al., 2016) menciona que las películas hechas a partir de gelatina tienen alta solubilidad, e insuficiente resistencia, a causa de la naturaleza higroscópica que presenta la proteína.

La gelatina conduce una alta afinidad por las moléculas de agua, por lo tanto, resulta una mayor difusión de agua dando a las películas un mayor porcentaje de permeabilidad al vapor de agua (León-Leyva et al., 2018).

Cuadro 6. Porcentaje de solubilidad y permeabilidad en películas comestibles a base de gelatina con extracto de pitaya.

Tratamiento	PVA (g/m.s.Pa)	Solubilidad (%)
T1 (0% EP)	3.273E-07 ± 1.377E-08	29.88 ± 8.58 a
T2 (0.5% EP)	2.361E-07 ± 8.006E-08	34.40 ± 2.39 a
T3 (1% EP)	3.397E-07 ± 1.896E-08	45.90 ± 15.32 a
T4 (1.5% EP)	3.000E-07 ± 1.622E-08	41.92± 3.52 a

Los datos se reportan como las medias ± desviaciones estándar. Medias con la misma letra no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). EP: extracto de pitaya

10.7. Propiedades mecánicas

Los resultados de las pruebas mecánicas se muestran en el Cuadro 7. El porcentaje de elongación es la capacidad de materiales para alargarse cuando se ven sometidos a un esfuerzo de tracción en sus extremos, este ofrece mayor resistencia a la perforación y sirve para repartir el esfuerzo ejercido en un punto (Chanataxi-Rosales, 2023), por lo que podemos observar a mayor adición de extracto en las películas comestibles mayor fue el porcentaje de elongación. La resistencia a la tensión es la máxima tensión que puede soportar una película antes de rasgarse. La resistencia a la tensión fue mayor en las películas con 0.5 y 1% de extracto, esto se debió a la formación de enlaces cruzados entre las moléculas de proteína de la gelatina, que dio como resultados una composición más rígida (Li et al., 2023).

Cuadro 7. Propiedades mecánicas de las películas comestibles a base de gelatina con extracto de pitaya.

Tratamiento	% de elongación	Resistencia a la tensión (%)	Deformación unitaria (%)	Módulo de Young (%)
T1 (0% EP)	59.56 ± 27.73 b	0.42 ± 0.17 ab	0.59 ± 0.27 b	0.74 ± 0.08 a
T2 (0.5% EP)	130.34 ± 16.58 a	0.77 ± 0.02 a	1.30 ± 0.16 a	0.60 ± 0.08 ab
T3 (1% EP)	145.29 ± 8.06 a	0.46 ± 0.16 ab	1.45 ± 0.08 a	0.32 ± 0.13 b
T4 (1.5% EP)	71.22 ± 4.81 b	0.27 ± 0.06 b	0.71 ± 0.04 b	0.39± 0.11 b

Los datos se reportan como las medias ± desviaciones estándar. Medias con la misma letra no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). EP: extracto de pitaya

La deformación unitaria representa la capacidad que tiene la película de poder estirarse sin rasgarse (Li et al., 2024), los tratamientos que contenían 0.5 y 1% de extracto obtuvieron mayores valores, determinando que con poca concentración de extracto las películas soportaban mayor flexibilidad. Ah diferencia en el módulo de Young este fue disminuyendo conforme la cantidad de extracto adicionado. Las películas mostraron poca elasticidad y flexibilidad, esto pudo ser causado tanto por el extracto que contenía compuestos lipofílicos, impidiendo que todos los componentes se mezclaran y se homogenizaran de forma uniforme, el Tween 60 ayudo a que estos se mezclaran mejor pero aun así con poca concentración de extracto no se obtuvo que fuera mayor la elasticidad.

10.8. Compuestos bioactivos

En el Cuadro 8 se muestra la concentración de fenoles y flavonoides en las películas comestibles, en los resultados podemos observar que el contenido de compuestos bioactivos aumenta a medida que se incorpora mayor cantidad del extracto, obteniendo mayores valores en el último tratamiento que contenía 1.5% del extracto. Al caracterizar la película comestible obtuvimos mayores valores en el contenido de fenoles, esto relacionándose con la investigación de Chuck-Hernández et al., (2016) puesto que menciona que la pitaya contiene grandes cantidades de compuestos fenólicos, describiendo a los hidroxicinamoilo, flavonoles y flavanonas en su mayoría (García-Cruz et al., 2012). El contenido de fenoles totales se correlaciona con los niveles que contienen los arándanos, resaltando que el arándano rojo es uno de los frutos con mayor nivel de capacidad antioxidante registrado a nivel mundial (James et al., 2022). Dado que los compuestos fenólicos y flavonoides se correlacionan con la capacidad antioxidante, obtenemos que las películas comestibles podrían actuar como un embace funcional inhibiendo las reacciones de oxidación por sí mismas al ser oxidadas y previniendo la producción de malos sabores y olores (Navarro Olivera, 2022).

Cuadro 8. Contenido de fenoles y flavonoides de películas comestibles a base de gelatina con extracto de pitaya.

Tratamiento	Fenoles (µg EAG/g)	Flavonoides (µg EQ/g)
T1 (0% EP)	38.36 ± 3.77 d	23.54 ± 2.18 d
T2 (0.5% EP)	130.24 ± 0.94 c	2.2 ± 1.65 c
T3 (1% EP)	254.74 ± 2.83 b	26.51 ± 1.65 b
T4 (1.5% EP)	353.7 ± 8.98 a	57.49 ± 0.83 a

Los datos se reportan como las medias ± desviaciones estándar. Medias con la misma letra no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). EP: extracto de pitaya

10.9. Actividad antioxidante

Un agente antioxidante, es una sustancia que en bajas concentraciones retrasa o previene la oxidación de un sustrato (Soto-Ramos, 2023). La adición de antioxidantes al material de envasado de alimentos es una de las estrategias para darle actividad a este último contra agentes oxidantes, preservando así los alimentos envasados (Priyadarshi et al., 2018). En el Cuadro 9 se muestran los resultados de la actividad antioxidante de las películas utilizando los métodos de ABTS y DPPH. En los resultados se observó, que el extracto de pitaya al 1.5% mostro mayor capacidad de compuestos antioxidantes en comparación de la muestra control, aumentado de 0.447 a 2.975 µmol de Trolox/g en ABTS y de 0.125 a 0.786 mg/g de DPPH. Por lo que podemos observas que los resultados demostraron tener semejanzas a lo reportado por (Chuck-Hernández et al., 2016) que menciona que una de las características de la pitaya es su alta actividad antioxidante asemejándose a las bayas del género *Vaccinium*, considerados uno de los frutos con mayor concentración de compuestos antioxidantes. La pitaya al ser rica en compuestos antioxidantes la convierte en un alimento funcional que ayude a las mejoras de las películas, ayudando a la inhibición de compuestos oxidantes y así mejorando la vida útil de los alimentos (García-Cruz et al., 2013).

Cuadro 9. Actividad antioxidante de películas comestibles a base de gelatina con extracto de pitaya.

Tratamiento	ABTS (µmol de Trolox/g)	DPPH (µmol de Trolox /g)
T1 (0% EP)	0.447 ± 0.029 d	0.125 ± 0.027 d
T2 (0.5% EP)	1.210 ± 0.082 c	0.396 ± 0.056 c
T3 (1% EP)	2.255 ± 0.067 b	0.622 ± 0.100 b
T4 (1.5% EP)	2.975 ± 0.079 a	0.786 ± 0.027 a

Los datos se reportan como las medias ± desviaciones estándar. Medias con la misma letra no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). EP: extracto de pitaya

10.10. Extracción y cuantificación de betalaínas

En el Cuadro 10 se muestra el contenido de betalaínas en las películas comestibles, en los resultamos observamos que el contenido de betalaínas aumenta a medida que aumentamos la concentración del extracto de pitaya, observando que la película con 1.5% de extracto de pitaya tuvo un aumento mayor de betalaínas en comparación de la película control, aumentando de 7.6 a 613.7 µ/g de betalaínas.

Cuadro 10. Contenido de betalaínas en películas comestibles a base de gelatina con extracto de pitaya.

Tratamiento	Betaxantinas (µg/g)	Betacianinas (µg/g)	Betalaínas (µg/g)
T1 (0% EP)	2.8 ± 1.6 d	4.8 ± 3 d	7.6 ± 4.1 d
T2 (0.5% EP)	143.6 ± 1.9 c	25.8 ± 2.7 c	169.4 ± 4.6 c
T3 (1% EP)	322.4 ± 6.9 b	63.7 ± 8.9 b	386.1 ± 15.8 b
T4 (1.5% EP)	501.1 ± 1.4 a	112.6 ± 2.3 a	613.7 ± 3.5 a

Los datos se reportan como las medias ± desviaciones estándar. Medias con la misma letra no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). EP: extracto de pitaya

Los resultados de esta investigación concuerdan con lo descrito por (García-Cruz et al., 2012b) determinando que en la pitaya roja predominan en mayor concentración el contenido de betacianinas, a diferencia de la pitaya naranja predomina en mayor cantidad el contenido de betaxantinas. Al tener grandes concentraciones de betalaínas la pitaya, se considera un alimento funcional, ya que estas ayudan en la actividad antiinflamatoria, antioxidante y anticancerígena (García-Cruz et al., 2013; Sandate-Flores et al., 2020).

11.CONCLUSIONES

Se observó que al adicionar el extracto de pitaya a la solución de las películas comestibles incrementan significativamente su espesor a comparación con el control, además de incrementar el índice de solubilidad. Visualmente las películas adquirieron una consistencia homogénea con un color no tan notable, dándole así la capacidad de uso como alternativa de recubrimiento en algún producto alimenticio. El incorporar extracto de pitaya a las películas comestibles a base de gelatina provoco reducciones en el contenido de humedad y permeabilidad al vapor de agua, esto mejorando la degradabilidad de las películas al contacto con la humedad. Además de esto, se mostró que las películas tenían una alta concentración de compuestos bioactivos como los fenoles, flavonoides y betalaínas en comparación de la película control.

Por todo lo anterior pudimos observar que las películas comestibles tuvieron mejoras en su composición, generando una alta capacidad de ser utilizadas como una alternativa para la conservación de los producto alimenticios, mejorando su calidad y su vida útil, además de no generar residuos que contaminen el suelo, por otro lado, la gran cantidad de compuestos bioactivos que contiene la pitaya ayuda a mejorar la características de las películas, aportando beneficios para la salud, actuando como antioxidantes, antiinflamatorios, antimicrobianos, entre otros.

12.REFERENCIAS

Abedinia, A., Mohammadi Nafchi, A., Sharifi, M., Ghalambor, P., Oladzadabbasabadi, N., Ariffin, F., & Huda, N. (2020). Poultry gelatin: Characteristics, developments, challenges, and future outlooks as a sustainable alternative for mammalian gelatin. *Trends in Food Science & Technology*, *104*, 14–26. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.08.001

Aila-Suárez, S., Palma-Rodríguez, H. M., Rodríguez-Hernández, A. I., Hernández-Uribe, J. P., Bello-Pérez, L. A., & Vargas-Torres, A. (2013). Characterization of films made with chayote tuber and potato starches blending with cellulose nanoparticles. *Carbohydrate Polymers*, *98*(1), 102–107. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.05.022

Bajaj, K., Adhikary, T., Gill, P. P. S., & Kumar, A. (2023). Edible coatings enriched with plant-based extracts preserve postharvest quality of fruits: A review. *Progress in Organic Coatings*, *182*, 107669. https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2023.107669

Bautista-Espinoza, P. I., Di Pierro, P., Amaya-Llano, S. L., Mares-Mares, E., García-Almendarez, B. E., De la Cruz-Velázquez, G., & Regalado-González, C. (2023). Desarrollo de un recubrimiento comestible a base de quinoa y quitosano reforzado con aceites esenciales de hierba limón y canela encapsulados en partículas de sílice mesoporosa. *Investigación y Desarrollo En Ciencia y Tecnología de Alimentos*, *8*(1), 140–150. https://doi.org/10.29105/idcyta.v8i1.22

Beltrán–Orozco, M. C., Oliva-Coba, T. G., Gallardo-Velázquez, T., & Osorio-Revilla, G. (2009). Ascorbic acid, phenolic content, and antioxidant capacity of red, cherry, yellow and white types of pitaya cactus fruit (Stenocereus stellatus Riccobono). *Agrociencia*, *43*.

Bergo, P., Moraes, I. C. F., & Sobral, P. J. A. (2013). Effects of plasticizer concentration and type on moisture content in gelatin films. *Food Hydrocolloids*, *32*(2), 412–415. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.01.015

Berti, S. (2023). *Desarrollo de películas y recubrimientos comestibles compuestos como soporte de antimicrobianos naturales: caracterización y aplicaciones*. UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES.

Bitencourt, C. M., Fávaro-Trindade, C. S., Sobral, P. J. A., & Carvalho, R. A. (2014). Gelatin-based films additivated with curcuma ethanol extract: Antioxidant activity and physical properties of films. *Food Hydrocolloids*, *40*, 145–152. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.02.014

Bodana, V., Swer, T. L., Kumar, N., Singh, A., Samtiya, M., Sari, T. P., & Babar, O. A. (2024). Development and characterization of pomegranate peel extract-functionalized jackfruit seed starch-based edible films and coatings for prolonging the shelf life of white grapes. *International Journal of Biological Macromolecules*, *254*, 127234. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127234

Bodini, R. B., Sobral, P. J. A., Favaro-Trindade, C. S., & Carvalho, R. A. (2013). Properties of gelatin-based films with added ethanol–propolis extract. *LWT - Food Science and Technology*, *51*(1), 104–110. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.10.013

Boonniteewanich, J., Pitivut, S., Tongjoy, S., Lapnonkawow, S., & Suttiruengwong, S. (2014). Evaluation of Carbon Footprint of Bioplastic Straw Compared to Petroleum based Straw Products. *Energy Procedia*, *56*, 518–524. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.07.187

Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, *28*(1), 25–30. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5

Cantillo-Holguín, G. N. (2023). *RECUBRIMIENTO COMESTIBLE A BASE DE MUCÍLAGO DE CHÍA CON PECTINA OBTENIDA DEL LIMÓN REAL Y ACEITE ESENCIAL DE ARÁNDANO PARA SU APLICACIÓN EN AGUACATE HASS MÍNIMAMENTE PROCESADO*.

Chanataxi-Rosales, Á. K. (2023). *Desarrollo, caracterización y evaluación de películas comestibles con base de almidón de camote (Ipomoea batatas), sobre criterios de calidad de tomates almacenados al ambiente.* Universidad de las Fuerzas Armadas.

Changoluisa-Chancusig, E. S. (2023). *Desarrollo de películas comestibles a partir de pitahaya amarilla (Hylocereus megalanthus).*

Chettri, S., Sharma, N., & Mohite, A. M. (2023). Edible coatings and films for shelf-life extension of fruit and vegetables. *Biomaterials Advances*, *154*, 213632. https://doi.org/10.1016/j.bioadv.2023.213632

Chuck-Hernández, C., Parra-Saldívar, R., & Sandate-Flores, L. (2016). Pitaya (Stenocereus spp.). In *Encyclopedia of Food and Health* (pp. 385–391). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00775-3

Comlekcioglu, N., & Kutlu, M. (2021). Fatty acids, bioactive substances, antioxidant and antimicrobial activity of Ankyropetalum spp., a novel source of nervonic acid. *Grasas y Aceites*, *72*(1), e399. https://doi.org/10.3989/gya.0105201

Duconseille, A., Astruc, T., Quintana, N., Meersman, F., & Sante-Lhoutellier, V. (2015). Gelatin structure and composition linked to hard capsule dissolution: A review. *Food Hydrocolloids*, *43*, 360–376. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.06.006

El-Sheekh, M. M., Alwaleed, E. A., Ibrahim, A., & Saber, H. (2024). Preparation and characterization of bioplastic film from the green seaweed Halimeda opuntia. *International Journal of Biological Macromolecules*, *259*, 129307. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.129307

Fernández-Valdés, D. I., Bautista-Baños, S., Fernández-Valdés, D., Ocampo-Ramírez III, A., García-Pereira, A., & Falcón-Rodríguez, A. (2015). *Películas y recubrimientos comestibles: una alternativa favorable en la conservación poscosecha de frutas y hortalizas Eatable films*

and coverings: a favorable alternative in the postharvesIng. conservation of fruits and vegetables (Vol. 24, Issue 3).

Flores-Martínez, N. L., Valdez-Fragoso, A., Jiménez-Islas, H., & Pérez-Pérez, M. C. (2017). *PHYSICAL, BARRIER, MECHANICAL AND MICROSTRUCTURAL PROPERTIES OF Aloe vera-GELATIN-GLYCEROL EDIBLE FILMS INCORPORATED WITH pimenta dioica L.MERRILL ESSENTIAL OIL*. 109–119.

García-Cruz, L., Dueñas, M., Santos-Buelgas, C., Valle-Guadarrama, S., & Salinas-Moreno, Y. (2017a). Betalains and phenolic compounds profiling and antioxidant capacity of pitaya (Stenocereus spp.) fruit from two species (S. Pruinosus and S. stellatus). *Food Chemistry*, *234*, 111–118. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.174

García-Cruz, L., Dueñas, M., Santos-Buelgas, C., Valle-Guadarrama, S., & Salinas-Moreno, Y. (2017b). Betalains and phenolic compounds profiling and antioxidant capacity of pitaya (Stenocereus spp.) fruit from two species (S. Pruinosus and S. stellatus). *Food Chemistry*, *234*, 111–118. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.174

García-Cruz, L., Salinas-Moreno, Y., & Valle-Guadarrama, S. (2012a). Betalaínas, compuestos fenólicos y actividad antioxidante en pitaya de mayo (Stenocereus griseus H.). *Revista Fitotecnia Mexicana*, *35*.

García-Cruz, L., Salinas-Moreno, Y., & Valle-Guadarrama, S. (2012b). BETALAINS, PHENOLIC COMPOUNDS AND ANTIOXIDANT ACTIVITY IN PITAYA DE MAYO (Stenocereus griseus H.). In *Nota Científica Rev. Fitotec. Mex* (Vol. 35).

García-Cruz, L., Valle-Guadarrama, S., Guerra-Ramírez, D., Martínez-Damián, M. T., & Zuleta-Prada, H. (2022). Cultivation, quality attributes, postharvest behavior, bioactive compounds, and uses of Stenocereus: A review. *Scientia Horticulturae*, *304*, 111336. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111336

García-Cruz, L., Valle-Guadarrama, S., Salinas-Moreno, Y., & Joaquín-Cruz, E. (2013). Physical, Chemical, and Antioxidant Activity Characterization of Pitaya (Stenocereus pruinosus) Fruits. *Plant Foods for Human Nutrition*, *68*(4), 403–410. https://doi.org/10.1007/s11130-013-0391-8

Gengatharan, A., Dykes, G. A., & Choo, W. S. (2015). Betalains: Natural plant pigments with potential application in functional foods. *LWT - Food Science and Technology*, *64*(2), 645–649. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.06.052

Gonzales-Espada, W. J. (2016). *Las películas comestibles y su importancia en la industria de alimentos*.

Goswami, M., Mondal, K., Prasannavenkadesan, V., Bodana, V., & Katiyar, V. (2024). Effect of guar gum-chitosan composites edible coating functionalized with essential oils on the postharvest shelf life of Khasi mandarin at ambient condition. *International Journal of Biological Macromolecules*, *254*, 127489. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127489

Hosseini, S. F., Rezaei, M., Zandi, M., & Farahmandghavi, F. (2016). Preparation and Characterization of Chitosan Nanoparticles-Loaded Fish Gelatin-Based Edible Films. *Journal of Food Process Engineering*, *39*(5), 521–530. https://doi.org/10.1111/jfpe.12246

James, A., Yao, T., Ma, G., Gu, Z., Cai, Q., & Wang, Y. (2022). Effect of hypobaric storage on Northland blueberry bioactive compounds and antioxidant capacity. *Scientia Horticulturae*, *291*, 110609. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110609

Lea, A., & Henry, B. (2003). COLORANTS (COLOURANTS) | Properties and Determination of Natural Pigments. In *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition* (pp. 1550–1556). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B0-12-227055-X/00281-9

León-Leyva, A. P., Camacho-Hernández, I. L., Zazueta-Morales, J. J., Calderón-Castro, A., Fitch-Vargas, P. R., Jacobo-Valenzuela, N., Sánchez-Chilero, M. A., & Aguilar, E. (2018). *Desarrollo y Caracterización de Películas Comestibles Elaboradas a Partir de Almidón Acetilado por Extrusión y Gelatina. RESUMEN* (Vol. 3).

Li, X., Li, F., Zhang, X., Tang, W., Huang, M., Huang, Q., & Tu, Z. (2024). Interaction mechanisms of edible film ingredients and their effects on food quality. *Current Research in Food Science*, *8*, 100696. https://doi.org/10.1016/j.crfs.2024.100696

Li, X., Sha, X.-M., Yang, H.-S., Ren, Z.-Y., & Tu, Z.-C. (2023). Ultrasonic treatment regulates the properties of gelatin emulsion to obtain high-quality gelatin film. *Food Chemistry: X*, *18*, 100673. https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100673

Liu, B., Xie, S., Wang, J., Zhu, C., Qi, R., Zhang, Y., & Liu, D. (2023). Regulating structure and properties of gelatine edible film through oxidized poly(2-hydroxyethyl acrylate) crosslinking. *Food Packaging and Shelf Life*, *37*, 101094. https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2023.101094

Liu, F., Antoniou, J., Li, Y., Ma, J., & Zhong, F. (2015). Effect of sodium acetate and drying temperature on physicochemical and thermomechanical properties of gelatin films. *Food Hydrocolloids*, *45*, 140–149. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.10.009

López de Lacey, A. M. (2013). *Diseño, desarrollo y aplicación de envases comestibles potencialmente bioactivos.* UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID.

López-Palestina, C. U., Aguirre-Mancilla, C. L., Raya-Pérez, J. C., Ramirez-Pimentel, J. G., Vargas-Torres, A., & Hernández-Fuentes, A. D. (2019a). Physicochemical and antioxidant properties of gelatin-based films containing oily tomato extract (Solanum lycopersicum L.). *CYTA - Journal of Food*, *17*(1), 142–150. https://doi.org/10.1080/19476337.2018.1564793

López-Palestina, C. U., Aguirre-Mancilla, C. L., Raya-Pérez, J. C., Ramirez-Pimentel, J. G., Vargas-Torres, A., & Hernández-Fuentes, A. D. (2019b). Physicochemical and antioxidant properties of gelatin-based films containing oily tomato extract (Solanum lycopersicum L.). *CYTA - Journal of Food*, *17*(1), 142–150. https://doi.org/10.1080/19476337.2018.1564793

Lopez-Polo, J., Muñoz-Shugulí, C., Patiño Vidal, M., & Patiño Vidal, C. (2024). Electrospun edible films and coatings: Development, functionality and food applications. *Trends in Food Science & Technology*, *143*, 104253. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104253

Luo, Q., Hossen, M. A., Zeng, Y., Dai, J., Li, S., Qin, W., & Liu, Y. (2022). Gelatin-based composite films and their application in food packaging: A review. *Journal of Food Engineering*, *313*, 110762. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110762

Macías-Gilver, E., Anchundia-Sabando, O., García-Fuentes, S., García-Vinces, G., & Giler-Intriago, S. (2023). *OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UN BIOPLÁSTICO A BASE DE CÁSCARA DE COCO Y PAPAYA*. *6*. https://doi.org/10.46296/ig.v6i12.0105

Madera-Santana, T. J., Toledo-López, V. M., Martinez-Robison, K., Rejón-Moo, V., & Fortiz Hernández, J. (2022). Evaluación de películas comestibles de quitosano, agar y tomillo para mantener la calidad de frutos de aguacate 'Hass' durante su almacenamiento. *Biotecnia*, *25*(1), 116–125. https://doi.org/10.18633/biotecnia.v25i1.1728

Márquez-C, C. J., Cartagena-V, J. R., & Pérez-Gago, M. B. (2009). *EFECTO DE RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES SOBRE LA CALIDAD EN POSCOSECHA DEL NÍSPERO JAPONÉS (Eriobotrya japonica T.)*. *16*, 304–310.

Martins, V. G., Romani, V. P., Martins, P. C., & Filipini, G. da S. (2019). Innovative packaging that saves food. In *Saving Food* (pp. 171–202). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815357-4.00006-7

Maryam Adilah, Z. A., Jamilah, B., & Nur Hanani, Z. A. (2018). Functional and antioxidant properties of protein-based films incorporated with mango kernel extract for active packaging. *Food Hydrocolloids*, *74*, 207–218. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.08.017

Mederos-Torres, Y., Bernabé-Galloway, P., & Ramírez-Arrebato, M. Á. (2020). *Películas basadas en polisacáridos como recubrimientos biodegradables y su empleo en la postcosecha de los frutos. 41*.

Mir, S. A., Dar, B. N., Wani, A. A., & Shah, M. A. (2018). Effect of plant extracts on the techno-functional properties of biodegradable packaging films. *Trends in Food Science & Technology*, *80*, 141–154. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.08.004

Monroy-Gonzáles, D. E. (2019). *"ELABORACIÓN DE UNA BIOPELÍCULA ACTIVA COMESTIBLE CON CAPACIDAD ANTIMICROBIANA QUE AUMENTE LA VIDA DE ANAQUEL EN PESCADO FRESCO A PARTIR DE COLÁGENO."*

Moreno-Morales, N. (2023). *EVALUACIÓN DE LA BIODEGRADABILIDAD DE PELÍCULA CONSUMIBLE DE ALMIDÓN DE PAPA PASTUSA POR CASTING*.

Murillo-Martínez, M. M. (2011). *EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS, ÓPTICAS, ANTIOXIDANTES Y DE BARRERA DE PELÍCULAS COMESTIBLES ELABORADAS CON EMULSIONES DOBLES W1/O/W2 ADICIONADAS CON EXTRACTO DE TÉ VERDE (Camellia sinensis)*. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA.

Navarro Olivera, A. A. (2022). *EVALUACIÓN DE LA MEZCLA DE GARAMBULLO (Myrtillocactus geometrizans) Y TUNA ROJA (Opuntia ficus-indica) Y EL TIPO DE CARNE DE POLLO EN EL ESTATUS OXIDANTE Y CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DURANTE LA ELABORACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE SALCHICHAS*. UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA.

Ochoa-Velasco, C. E., & Beltrán, J. Á. G. (2013). Short-wave ultraviolet-C light effect on pitaya (Stenocereus griseus) juice inoculated with Zygosaccharomyces bailii. *Journal of Food Engineering*, *117*(1), 34–41. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.01.020

Oregel-Zamudio, E. IBQ. (2013). *APLICACIÓN DE CUBIERTAS COMESTIBLES FORMULADAS CON CERA DE CANDELILLA PARA LA CONSERVACIÓN DE FRESA*. [TESIS]. INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL.

Pandia-Estrada, S., & Romero-Santivañez, R. (2023). Optimización de películas comestibles de origen marino e incorporación de extracto de orégano para la evaluación de sus propiedades. *Ciencia Tecnologia Agropecuaria*, *24*(1). https://doi.org/10.21930/RCTA.VOL24_NUM1_ART:2884

Patil, V., Shams, R., & Dash, K. K. (2023). Techno-functional characteristics, and potential applications of edible coatings: A comprehensive review. *Journal of Agriculture and Food Research*, *14*, 100886. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100886

Paz-Paredes, M. A., & Tarrillo-Díaz, M. E. (2023). *Elaboración de películas comestibles empleando gelatina de pota (Dosidicus gigas) con extracto de romero (Salvia rosmarinus), aplicados como recubrimiento en filetes de pota (Dosidicus gigas)*. www.revistas.unitru.edu.pe

Piñeros-Hernandez, D., Medina-Jaramillo, C., López-Córdoba, A., & Goyanes, S. (2017). Edible cassava starch films carrying rosemary antioxidant extracts for potential use as active food packaging. *Food Hydrocolloids*, *63*, 488–495. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.09.034

Platnieks, O., Gaidukovs, S., Kumar Thakur, V., Barkane, A., & Beluns, S. (2021). Bio-based poly (butylene succinate): Recent progress, challenges and future opportunities. *European Polymer Journal*, *161*, 110855. https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2021.110855

Priyadarshi, R., Sauraj, Kumar, B., & Negi, Y. S. (2018). Chitosan film incorporated with citric acid and glycerol as an active packaging material for extension of green chilli shelf life. *Carbohydrate Polymers*, *195*, 329–338. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.04.089

Quirós-Sauceda, A. E., Ayala-Zavala, J. F., Olivas, G. I., & González-Aguilar, G. A. (2014). Edible coatings as encapsulating matrices for bioactive compounds: a review. *Journal of Food Science and Technology*, *51*(9), 1674–1685. https://doi.org/10.1007/s13197-013-1246-x

Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, *26*(9), 1231–1237. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3

Ribeiro, A. M., Estevinho, B. N., & Rocha, F. (2020a). Preparation and Incorporation of Functional Ingredients in Edible Films and Coatings. In *Food and Bioprocess Technology* (Vol. 14, Issue 2, pp. 209–231). Springer. https://doi.org/10.1007/s11947-020-02528-4

Ribeiro, A. M., Estevinho, B. N., & Rocha, F. (2020b). Preparation and Incorporation of Functional Ingredients in Edible Films and Coatings. In *Food and Bioprocess Technology* (Vol. 14, Issue 2, pp. 209–231). Springer. https://doi.org/10.1007/s11947-020-02528-4

Robles-Vences, D. A. (2023). *"EVALUACIÓN DE LA FUNCIONALIDAD DE PELÍCULAS BIODEGRADABLES ADICIONADAS CON EXTRACTO DE COL MORADA (Brassica oleracea var. capitata) COMO INDICADORES DE PH."* UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO.

Rodríguez-Félix, A., Fortiz-Hernández, J., & Tortoledo-Ortiz, O. (2019). Physico-chemical characteristics, and bioactive compounds of red fruits of sweet pitaya (Stenocereus thurberi). *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, *21*, 87–100. https://doi.org/10.56890/jpacd.v21i.9

Rodríguez-Sánchez, J. A., Cruz y Victoria, M. T., & Barragán-Huerta, B. E. (2017). Betaxanthins and antioxidant capacity in Stenocereus pruinosus: Stability and use in food. *Food Research International*, *91*, 63–71. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.11.023

Romero-Bastida, C. A., Bello-Pérez, L. A., García, M. A., Martino, M. N., Solorza-Feria, J., & Zaritzky, N. E. (2005). Physicochemical and microstructural characterization of films prepared by thermal and cold gelatinization from non-conventional sources of starches. *Carbohydrate Polymers*, *60*(2), 235–244. https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2005.01.004

Rosas-Benítez, A., Trujillo-Cárdenas, L., Valle-Guadarrama, S., Salinas-Moreno, Y., García-Cruz, L., Rosas-Benítez, A., Trujillo-Cárdenas, L., Valle-Guadarrama, S., Salinas-Moreno, Y., & García-Cruz, L. (2016). Quality attributes of pitaya (Stenocereus pruinosus) fruit handled in postharvest with and without thorns under refrigerated storage. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, *XXII*(3), 191–207. https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2016.04.011

Rubilar, J. F., Cruz, R. M. S., Silva, H. D., Vicente, A. A., Khmelinskii, I., & Vieira, M. C. (2013). Physico-mechanical properties of chitosan films with carvacrol and grape seed extract. *Journal of Food Engineering*, *115*(4), 466–474. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.07.009

Saberi, B., Golding, J. B., Marques, J. R., Pristijono, P., Chockchaisawasdee, S., Scarlett, C. J., & Stathopoulos, C. E. (2018). Application of biocomposite edible coatings based on pea starch and guar gum on quality, storability and shelf life of 'Valencia' oranges. *Postharvest Biology and Technology*, *137*, 9–20. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.11.003

Sadeghi, A., Rajabiyan, A., Nabizade, N., Meygoli Nezhad, N., & Zarei-Ahmady, A. (2024). Seaweed-derived phenolic compounds as diverse bioactive molecules: A review on identification, application, extraction and purification strategies. *International Journal of Biological Macromolecules*, *266*, 131147. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.131147

Sánchez-Rodríguez, E., Ruiz, J. M., Ferreres, F., & Moreno, D. A. (2012). Phenolic profiles of cherry tomatoes as influenced by hydric stress and rootstock technique. *Food Chemistry*, *134*(2), 775–782. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.02.180

Sandate-Flores, L., Rodríguez-Rodríguez, J., Velázquez, G., Mayolo-Deloisa, K., Rito-Palomares, M., Torres, J. A., & Parra-Saldívar, R. (2020). Low-sugar content betaxanthins extracts from yellow pitaya (Stenocereus pruinosus). *Food and Bioproducts Processing*, *121*, 178–185. https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.02.006

Saxena, A., Maity, T., Paliwal, A., & Wadhwa, S. (2017). Technological Aspects of Nanoemulsions and Their Applications in the Food Sector. In *Nanotechnology Applications in Food* (pp. 129–152). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811942-6.00007-8

Shen, N., Wang, T., Gan, Q., Liu, S., Wang, L., & Jin, B. (2022). Plant flavonoids: Classification, distribution, biosynthesis, and antioxidant activity. *Food Chemistry*, *383*, 132531. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132531

Siddiqui, S. A., Yang, X., Deshmukh, R. K., Gaikwad, K. K., Bahmid, N. A., & Castro-Muñoz, R. (2024). Recent advances in reinforced bioplastics for food packaging – A critical review. *International Journal of Biological Macromolecules*, *263*, 130399. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.130399

Silva, S. P. M., Teixeira, J. A., & Silva, C. C. G. (2023). Recent advances in the use of edible films and coatings with probiotic and bacteriocin-producing lactic acid bacteria. *Food Bioscience*, *56*, 103196. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103196

Siripatrawan, U., & Harte, B. R. (2010a). Physical properties and antioxidant activity of an active film from chitosan incorporated with green tea extract. *Food Hydrocolloids*, *24*(8), 770–775. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.04.003

Siripatrawan, U., & Harte, B. R. (2010b). Physical properties and antioxidant activity of an active film from chitosan incorporated with green tea extract. *Food Hydrocolloids*, *24*(8), 770–775. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.04.003

Solano-Doblado, L. G., Alamilla-Beltrán, L., & Jiménez-Martínez, C. (2018a). Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados. *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, *21*, 30. https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2018.0.153

Solano-Doblado, L. G., Alamilla-Beltrán, L., & Jiménez-Martínez, C. (2018b). Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados. *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, *21*, 30. https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2018.0.153

Soto-Ramos, J. A. (2023). *"Desarrollo y caracterización de una película a base de aislado proteico de semilla de yaca obtenida por la técnica de electrohilado incorporando complejos β ciclodextrina:aceite esencial de naranja".* Universidad Autónoma de Querétaro.

Stintzing, F. C., & Carle, R. (2007). Betalains – emerging prospects for food scientists. *Trends in Food Science & Technology*, *18*(10), 514–525. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2007.04.012

Tan, Y. M., Lim, S. H., Tay, B. Y., Lee, M. W., & Thian, E. S. (2015). Functional chitosan-based grapefruit seed extract composite films for applications in food packaging technology. *Materials Research Bulletin*, *69*, 142–146. https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2014.11.041

Tesoriere, L., Allegra, M., Butera, D., Gentile, C., & Livrea, M. A. (2006). Cytoprotective effects of the antioxidant phytochemical indicaxanthin in β-thalassemia red blood cells. *Free Radical Research*, *40*(7), 753–761. https://doi.org/10.1080/10715760600554228

Thomas, A. P., Kasa, V. P., Dubey, B. K., Sen, R., & Sarmah, A. K. (2023). Synthesis and commercialization of bioplastics: Organic waste as a sustainable feedstock. *Science of The Total Environment*, *904*, 167243. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167243

Tizazu, A., & Bekele, T. (2024). A review on the medicinal applications of flavonoids from aloe species. *European Journal of Medicinal Chemistry Reports*, *10*, 100135. https://doi.org/10.1016/j.ejmcr.2024.100135

Treviño N, J. F., Rodríguez G, R. G., Verde S, Ma. J., Morales R, Ma. E., Garza P, R. A., Rivas M, C., & Oranday C, A. (2011). Actividad antifúngica de Stenocereus pruinosus y Echinocereus stramineus. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas.*, *43*.

Vázquez-Sánchez, M., Terrazas, T., & Arias, Y. S. (2012). EL HÁBITO Y LA FORMA DE CRECIMIENTO EN LA TRIBU CACTEAE (CACTACEAE, CACTOIDEAE). In *BOTÁNICA ESTRUCTURAL Botanical Sciences* (Vol. 90, Issue 2).

Vidal, P. J., López-Nicolás, J. M., Gandía-Herrero, F., & García-Carmona, F. (2014). Inactivation of lipoxygenase and cyclooxygenase by natural betalains and semi-synthetic analogues. *Food Chemistry*, *154*, 246–254. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.01.014

Wang, F., Xie, C., Ye, R., Tang, H., Jiang, L., & Liu, Y. (2023). Development of active packaging with chitosan, guar gum and watermelon rind extract: Characterization, application and performance improvement mechanism. *International Journal of Biological Macromolecules*, *227*, 711–725. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.12.210

Waterman, P. G., & Mole, Simon. (1994). Analysis of phenolic plant metabolites . In *Analysis of phenolic plant metabolites*. Blackwell Scientific.

Yousuf, B., Sun, Y., & Wu, S. (2022). Lipid and Lipid-containing Composite Edible Coatings and Films. *Food Reviews International*, *38*(sup1), 574–597. https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1876084