

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



Efecto de un recubrimiento a base de chíá funcionalizado con extractos de *Myrtillocactus geometrizans* (garambullo) en la calidad postcosecha de zarzamora.

Por:

DIANA GUADALUPE CERVANTES CORONA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2024

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



Efecto de un recubrimiento a base de chía funcionalizado con extractos de *Myrtillocactus geometrizans* (garambullo) en la calidad postcosecha de zarzamora.

Por:

DIANA GUADALUPE CERVANTES CORONA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

El siguiente trabajo ha sido dirigido por el siguiente comité:

Director

Dra. Ana Verónica Charles Rodríguez

Co-Director

Dra. María Liliána Flores López

Asesor

Dr. Armando Robledo Olivo

Asesor

Dr. Gustavo López Guarín

M.C. Pedro Carrillo López

Coordinador de la División de Ciencia Animal

Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2024

MANIFIESTO DE HONESTIDAD ACADEMICA

La suscrita **Diana Guadalupe Cervantes Corona** alumna de la carrera ingeniero en ciencia y tecnología de alimentos con matrícula 41181861 y autora de la siguiente tesis manifiesta que:

1. Reconozco que el plagio académico constituye un delito que está penado en nuestro país.
2. Las ideas, opiniones, datos e información publicadas por otros autores y que han sido incluidas en este trabajo, han sido debidamente citadas, reconociendo la autoría de la fuente original.
3. Toda la información consultada ha sido analizada e interpretada por el suscrito y redactada según su criterio y apreciación, de tal manera que no se ha incurrido en el “copiado y pegado” de dicha información.
4. Reconozco la responsabilidad sobre los derechos del autor de los materiales bibliográficos consultados por cualquier vía y manifiesto no haber hecho mal uso de ellos.
5. Entiendo que la función y alcance de mi comité de asesoría esta circunscrito a la orientación de guía respecto a la metodología de investigación realizada para el presente trabajo, así como el analisis e interpretación de los resultados obtenidos. Por lo tanto, eximo de toda responsabilidad relacionada al plagio académico a mi comité de asesoría y acepto que cualquier responsabilidad al respecto es únicamente mía.

Atentamente



Diana Guadalupe Cervantes Corona

Tesista

AGRADECIMIENTOS

Durante esta etapa de mi vida que hoy culmina, quiero agradecer primeramente a **Dios**, ya que sin él nada de esto sería posible, por iluminar mi camino en cada uno de mis días, darme la fuerza necesaria para afrontar cada uno de los retos que se me presentaron en este trayecto y por enseñarme que con motivación y sacrificio los sueños se cumplen.

A mi **ALMA MATER** por darme la oportunidad de ser parte de esta gran familia, por abrirme las puertas, darme experiencia, oportunidades y todo lo necesario para lograr este gran paso en mi vida, fue y será siempre mi segundo hogar.

A mi **familia**, por depositar en mi toda su confianza, apoyo, paciencia, amor infinito y sacrificio, son una parte esencial para mí, son un pilar en mi vida que siempre han estado apoyándome en mis sueños en todo momento a pesar de las circunstancias, siempre dispuestos a levantarme y nunca soltarme. Gracias por motivarme en los momentos más difíciles y por creer en mi cuando nadie más lo hacía.

A mi gran asesora, la **Dra. Ana Verónica Charles Rodríguez** por el apoyo brindado en todo momento, el tiempo dedicado en este gran proyecto, su paciencia y dedicación para el logro del mismo.

A la **Dra. María Liliana Flores López** por darme ánimos en todo momento, por su paciencia y tiempo compartido durante la realización de este proyecto.

A mi hermana de vida **Ashley** y su hijo **Liam**, gracias por que han estado para mí en los momentos que más lo he necesitado desde que tengo memoria, por cada momento que hemos vivido juntas en todo este tiempo, por depositar en mi toda su confianza y lealtad, por apoyarme incondicionalmente, por alentarme para nunca darme por vencida y por todo el amor y cariño que me han demostrado siempre a pesar de la distancia.

A **Lesley** por ser buena amiga, por apoyarme en todo momento y echarme porras siempre para lograr mis metas, y por todo el cariño y lealtad que me ha brindado siempre.

A **Yaneth**, una persona que se convirtió en mi familia con el tiempo, gracias por guiarme y aconsejarme en esta etapa de mi vida, por todos los momentos y experiencias vividas, por no dejarme sola nunca en cuanto llegue a esta ciudad y por todo el cariño brindado.

A **Rubén “Torito”** un amigo más que se convirtió en familia, gracias por estar conmigo en todo momento apoyándome siempre y alentándome a ser mejor, siendo mi cómplice en muchas aventuras y nunca dejándome sola, por todas las experiencias vividas y sus enseñanzas, por su confianza depositada en mí y por todo el cariño.

A mis amigos de universidad **Ana Yarelli, Aglaee, Ronaldo, Marco, Erick, Bedoy, Guillermo, Ronald, Diego, Misael, Ricky, Gamez** personas importantes que han dejado marca en mi vida e hicieron que fuera mejor y más divertida, que han estado para mí cuando lo he necesitado y que he compartido muchos momentos inolvidables con ellos, ¡gracias!

Un agradecimiento también a aquellas personas e instituciones que hicieron posible que este proyecto de tesis tuviera un final feliz, aun a los que no se encuentren en esta lista pero que estuvieron en este camino, ¡gracias!

DEDICATORIA

A Dios

Dador de vida por haberme permitido llegar hasta aquí, por darme la fuerza necesaria en aquellos momentos en los que más la necesitaba y salud para llevar a cabo mis metas y objetivos.

A mi abuelita **Margarita** (†) cuyo amor por mí no conocía límites, quien, aunque no se encuentra físicamente, sus enseñanzas y consejos los tengo siempre presentes, te extraño profundamente y esta dedicatoria es mi pequeña forma de decirte que nunca te olvidare.

Con mucho cariño a mis padres:

Samuel Cervantes Mezquite

Piedad Corona Pedraza

A quienes me inspiraron y motivaron, a quienes me ayudaron a llegar hasta donde estoy, a mis padres, mis héroes. Queridos papá y mamá, no hay palabras suficientes para agradecerles por todo lo que han hecho siempre por mí. Sin ustedes, sin su amor incondicional, apoyo, confianza y paciencia depositada en mí, yo no sería la persona que soy ahora, muchas cosas que he logrado se las debo a ustedes.

Siempre me han motivado a que alcance mis sueños sin importar que haya tenido que volar y abandonar el “nido”, por darme la libertad de forjar mi propio camino, pero siempre de su mano y me han enseñado que todo sacrificio tiene su recompensa.

Esta tesis es una muestra de mi gratitud hacia ustedes. Espero se sientan orgullosos, pues no solo es un logro mío, sino también de ustedes. Que esto sea solo el comienzo de un futuro brillante y prometedor para nosotros.

A mi madre profunda admiración y respeto por su amor incondicional, por todo su apoyo, palabras de aliento, su sacrificio, por las enseñanzas brindadas, porque siempre me ha acompañado a pesar de la distancia.

A mi padre por siempre desear lo mejor para mí y luchar para que lo tuviera, por todas las palabras de aliento y la motivación que siempre me has dado, y sobre todo por el amor que me has dado siempre.

No solo me han criado de la mejor forma posible, no solo me han ayudado a desarrollarme como estudiante, también me han enseñado a como ser una buena persona y creo que eso dice mucho de ustedes como padres. ¡los amo!

Con cariño a mi hermano:

Cristian Cervantes Corona

Por ser mi mejor cómplice y compañero de vida que dios me pudo haber dado, que a pesar de que la vida nos ha llevado por distintos caminos siempre ha estado conmigo en todo momento. Ha sido mi ejemplo a seguir en muchas cosas, una fuente de inspiración y motivación, que sin importar la distancia siempre me ha brindado su apoyo, sus consejos y palabras de aliento incondicionalmente, aunque muchas veces pareciera que estuviéramos peleando, hay momentos en los que el fuego desaparece y nos unimos en una sola persona para poder alcanzar nuestros objetivos, espero que sigamos avanzando y creciendo juntos en este camino que es la vida. ¡Te amo!

INDICE GENERAL

| | |
|--|------|
| AGRADECIMIENTOS | I |
| DEDICATORIA..... | III |
| INDICE GENERAL..... | V |
| INDICE DE FIGURAS..... | VII |
| INDICE DE CUADROS | VIII |
| RESUMEN | 1 |
| ABSTRACT..... | 3 |
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 5 |
| 1.1 Antecedentes | 5 |
| 1.2 Justificación..... | 10 |
| 1.3 Hipótesis..... | 12 |
| 1.4 Objetivo general..... | 12 |
| 1.5 Objetivos específicos..... | 12 |
| 2. REVISIÓN DE LITERATURA..... | 13 |
| 2.1 Generalidades..... | 13 |
| 2.2 Zarzamora..... | 17 |
| 2.2.1 Origen y producción..... | 17 |
| 2.2.2 Composición..... | 19 |
| 2.3 Recubrimientos comestibles..... | 20 |
| 2.3.1 Generalidades | 20 |
| 2.3.2 Recubrimientos comestibles como vehículos de compuestos bioactivos | 22 |
| 2.4 <i>Myrtillocactus geometrizans</i> (garambullo) | 25 |
| 2.4.1 Generalidades | 25 |
| 2.4.2 Composición química | 26 |
| 3. MATERIALES Y MÉTODOS | 29 |
| Etapa I. Producción y caracterización de extractos de <i>Myrtillocactus geometrizans</i> | 29 |
| 3.1 Reactivos | 29 |
| 3.2 Materia prima | 29 |
| 3.3 Producción de extractos de <i>M. geometrizans</i> | 30 |

| | | |
|---|--|-----------|
| 3.4 | Caracterización de extractos de <i>M. geometrizans</i> | 31 |
| 3.4.1 | Fenoles totales..... | 31 |
| 3.4.2 | Actividad antioxidante..... | 31 |
| Etapla II. Efecto de recubrimientos a base de mucílago de chíá funcionalizados con extractos de <i>Myrtillocactus geometrizans</i> en la vida de anaquel de zarzamora..... | | 32 |
| 3.5 | Reactivos | 32 |
| 3.6 | Materia prima | 32 |
| 3.7 | Extracción de mucílago | 32 |
| 3.7.1 | Elaboración del recubrimiento comestible (RC) a base de mucílago de chíá y su aplicación en zarzamorass..... | 33 |
| 3.8 | Vida de anaquel..... | 34 |
| 3.8.1 | Aplicación de recubrimiento a base de mucílago de chíá funcionalizado con extracto de <i>M. geometrizans</i> en zarzamora..... | 34 |
| 3.8.2 | Pérdida de peso | 35 |
| 3.8.3 | Firmeza..... | 35 |
| 3.8.4 | pH y Acidez Titulable (AT) | 36 |
| 3.8.5 | Análisis microbiológico..... | 37 |
| 3.8.6 | Color | 37 |
| 3.9 | Análisis estadísticos | 38 |
| 4. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 39 |
| 4.1 | Producción de extractos de <i>M. geometrizans</i> | 39 |
| 4.2 | Caracterización de extractos de <i>M. geometrizans</i> | 40 |
| 4.2.1 | Contenido de Fenoles Totales..... | 40 |
| 4.2.2 | Actividad antioxidante | 41 |
| 4.3 | Vida de anaquel..... | 42 |
| 4.3.1 | Pérdida de peso | 42 |
| 4.3.2 | Firmeza..... | 43 |
| 4.3.3 | pH y acidez titulable (AT)..... | 45 |
| 4.3.4 | Análisis microbiológico..... | 46 |
| 4.3.5 | Color | 47 |
| 5 | CONCLUSIONES..... | 51 |
| 6. | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 52 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Plantas de garambullo (<i>M. geometrizans</i>) en su hábitat. Tula, Tamaulipas, México. 2024. | 25 |
| Figura 2. Producción de extractos de <i>M. geometrizans</i> | 30 |
| Figura 3. Extracción de mucilago de chia (<i>S. hispanica</i> L.) | 33 |
| Figura 4. Elaboración del recubrimiento comestible (RC)..... | 34 |
| Figura 5. Aplicación del recubrimiento (RC) en zarzamoras..... | 35 |
| Figura 6. Medición de firmeza | 36 |
| Figura 7. Medición de pH y acidez titulable | 37 |
| Figura 8. Medición de color..... | 38 |
| Figura 9. Efecto del recubrimiento aplicado en la pérdida de peso en zarzamoras recubiertas R+G y sin recubrir (Control) almacenadas a 5°C/85% HR por 15 días..... | 42 |
| Figura 10. Efecto del recubrimiento de mucilago de chíá funcionalizado con extracto de <i>M. geometrizans</i> en la firmeza de frutos de zarzamora recubiertos y sin recubrir almacenados a 5°C/85% HR por 15 días. | 44 |
| Figura 11. Efecto del recubrimiento de mucilago de chíá funcionalizado con extracto de <i>M. geometrizans</i> en mohos y levaduras totales de frutos de zarzamora recubiertos y sin recubrir almacenados a 5°C/85% HR por 15 días | 47 |
| Figura 12. Efecto del recubrimiento de mucilago de chíá funcionalizado con extracto de <i>M. geometrizans</i> en parámetros de color en frutos de zarzamora recubiertos y sin recubrir almacenados por a 5°C/85% HR por 15 días..... | 49 |
| Figura 13. Efecto que tiene el recubrimiento de mucilago de chíá funcionalizado con extracto hidroalcohólico (HAE) de <i>M. geometrizans</i> (RC+G) en la calidad de frutos de zarzamora recubiertos y sin recubrir almacenados durante a 5°C/85% HR por 15 días..... | 50 |

INDICE DE CUADROS

| | |
|---|----|
| Cuadro 1. Factores que afectan la vida de anaquel de las frutas..... | 7 |
| Cuadro 2. Oferta de zarzamora en México a nivel mundial | 18 |
| Cuadro 3. Contenido de minerales, carbohidratos, proteínas y fibra en <i>M. geometrizans</i> | 27 |
| Cuadro 4. Cuantificación de compuestos bioactivos de la fracción no digerible (FND). Adaptado de Sánchez Recillas et al. (2022) | 28 |
| Cuadro 5. Rendimiento de extractos del fruto de <i>M. geometrizans</i> | 39 |
| Cuadro 6. Conteo de fenoles totales en extractos de <i>M. geometrizans</i> | 40 |
| Cuadro 7. Actividad antioxidante de extractos de <i>M. geometrizans</i> | 41 |
| Cuadro 8. Efecto del recubrimiento de mucilago de chía con extracto hidroalcohólico (EHA) de <i>M. geometrizans</i> (RC+G) en pH y acidez titulable de zarzamoras recubiertas y sin recubrir almacenadas a 5°C/85% HR por 15 días..... | 45 |

RESUMEN

México es un productor y exportador de bayas de gran importancia a nivel mundial, entre éstas la que más se destaca es la zarzamora (*Rubus fruticosus* var. Tupy), exportando principalmente a Estados Unidos de América, Canadá, Europa, Emiratos Árabes y Arabia Saudita. Las características del fruto acompañado por la falta de tecnología durante el transporte hacia su destino lo hacen susceptible al ataque de microorganismos, ocasionando pérdidas significativas del producto. Debido a esto, se han buscado alternativas que puedan ayudar a extender la vida de anaquel de algunos alimentos, una de ellas es la aplicación de recubrimientos comestibles. Éstos pueden ser a base de matrices naturales (proteínas, lípidos, polisacáridos, etc.) a los que se les puede incorporar compuestos bioactivos tales como antioxidantes, antimicrobianos, entre otros, para así potencializar su acción protectora que aporta a los alimentos. El objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de la aplicación de un recubrimiento comestible formulado con mucilago de chía (*Salvia hispanica* L.) funcionalizado con extractos bioactivos de *Myrtillocactus geometrizans* (nombre común garambullo) en la calidad postcosecha de zarzamora. Se obtuvieron dos extractos: extracto hidroalcohólico (etanol: agua) (EHA) y el extracto acuoso (EA) con rendimientos de recuperación de 39.9 ± 0.1 y $38.7 \pm 0.1\%$, respectivamente. El EHA presentó un mayor contenido de fenoles totales (CFT) con valores de 9.9 ± 0.3 g de ácido gálico (AG) kg^{-1} de extracto, además de un mejor potencial antioxidante, expresado como la concentración requerida de extracto para provocar la inhibición de la oxidación en un 50% ($\text{CI}_{50} = 5.6 \pm 0.5$ mg mL^{-1}). Tomando en cuenta los resultados el CFT y potencial antioxidante, el EHA se seleccionó como fuente de compuestos bioactivos naturales para ser incorporado en un RC a base de chía (R+G). Se evaluó su efecto en la vida de anaquel de zarzamorras almacenadas durante 15 días a 5°C y humedad relativa (HR) de 85%. La aplicación del R+G sirvió como barrera protectora ante la pérdida de peso y la retención de color, principalmente, con valores para pérdida de peso de 6.74% en frutos recubiertos con R+G mientras que los frutos control (frutos sin recubrir) tuvieron una pérdida de peso del 8.62% durante el almacenamiento. En cuanto a las pruebas de firmeza y conteo microbiológico no presentaron diferencias importantes entre frutos recubiertos y frutos control. Por otro lado, los frutos con R+G retuvieron el color y mantuvieron mejor

aparición durante los 15 días de almacenamiento en comparación con los frutos control. Esta investigación busca destacar la importancia y el alcance del desarrollo de nuevas tecnologías para extender la vida útil de la zarzamora, un cultivo de gran relevancia comercial en México. Además, destaca en el aprovechamiento de plantas endémicas del país, como la cactácea *M. geometrizans*, cuyo potencial bioactivo puede representar una fuente interesante para aplicaciones industriales y farmacéuticas.

Palabras clave: Zarzamoras; recubrimientos comestibles; extensión de vida de anaquel; compuestos bioactivos

ABSTRACT

Mexico is a significant producer and exporter of berries globally, with blackberries (*Rubus fruticosus* var. Tupy) standing out as the most prominent. These are primarily exported to the United States of America, Canada, Europe, the United Arab Emirates, and Saudi Arabia. The fruit's characteristics, coupled with the lack of technology during transport to its destination, make it susceptible to microorganism attacks, leading to significant product losses. Consequently, alternatives have been sought to help extend the shelf life of some foods, one of which is the application of edible coatings. These can be based on natural matrices (proteins, lipids, polysaccharides, etc.), incorporating bioactive compounds such as antioxidants, antimicrobials, among others, to enhance their protective action on the food.

The objective of the present research was to evaluate the effect of applying an edible coating formulated with chia mucilage (*Salvia hispanica* L.) functionalized with bioactive extracts of *Myrtillocactus geometrizans* (commonly known as garambullo) on the postharvest quality of blackberries. Two extracts were obtained: a hydroalcoholic extract (ethanol: water) (EHA) and an aqueous extract (EA) with recovery yields of 39.9 ± 0.1 and $38.7 \pm 0.1\%$, respectively. The EHA presented a higher total phenols content (TPC) with values of 9.9 ± 0.3 g of gallic acid (GA) kg^{-1} of extract, as well as better antioxidant potential, expressed as the concentration of extract required to cause 50% oxidation inhibition ($\text{CI}_{50} = 5.6 \pm 0.5$ mg mL^{-1}).

Considering the TPC and antioxidant potential results, EHA was selected as the source of natural bioactive compounds to be incorporated into a chia-based edible coating (R+G). Its effect on the shelf life of blackberries stored for 15 days at 5°C and 85% relative humidity (RH) was evaluated. The application of R+G served as a protective barrier against weight loss and color retention, with weight loss values of 6.74% in fruits coated with R+G, while the control fruits (uncoated fruits) had a weight loss of 8.62% during storage. Regarding firmness and microbiological count tests, there were no significant differences between coated and control fruits.

Moreover, the fruits with R+G retained color and maintained better appearance during the 15 days of storage compared to the control fruits.

This research seeks to highlight the importance and scope of developing new technologies to extend the shelf life of blackberries, a crop of significant commercial relevance in Mexico. Additionally, it emphasizes the utilization of endemic plants of the country, such as the cactus *M. geometrizans*, whose bioactive potential could represent an interesting source for industrial and pharmaceutical applications.

Keywords: Blackberries; edible coatings; shelf life extension; bioactive compounds.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Las bayas son también llamadas frutas finas, frutillas o frutos del bosque y se caracterizan por su tamaño pequeño y colores brillantes; esta categorización incluye a la fresa, la frambuesa, la zarzamora y la mora azul, en ocasiones también llamado arándano, pero que no debe ser confundido con el arándano rojo (FIRA et al., 2016).

Las bayas son bajas en calorías y tienen un alto contenido de humedad y fibra. Contienen antioxidantes naturales como las vitaminas C y E y micronutrientes como el ácido fólico, el calcio, el selenio, el α - y el β -caroteno y la luteína. Los fitoquímicos que se encuentran en las bayas incluyen polifenoles junto con altas proporciones de flavonoides, incluidas antocianinas y elagitaninos (Basu et al., 2010).

La zarzamora (*Rubus fruticosus* var. Tupy) se encuentra entre las frutas con mayor contenido de compuestos fenólicos, asimismo, posee propiedades antivirales, antiinflamatorias, cardioprotectoras y antidiabéticas (Wang et al., 2018). Dichos impactos positivos en la salud se atribuyen principalmente a su capacidad antioxidante y es de gran interés aumentar el contenido de estos compuestos en los alimentos (Paredes-López et al., 2010). Las zarzamoras tienen una vida de anaquel corta, son susceptibles al daño mecánico y, al ser consideradas frutos no climatéricos, deben ser cosechadas en su punto de madurez o uno muy cercano a éste (Pech et al., 2018). Aunado a lo anterior, se debe considerar que son frutos susceptibles al daño mecánico y, ya que tiene altas tasas de respiración, su tiempo de vida útil se ve reducido (De la Vega et al., 2017).

La producción, el consumo y la exportación de estas frutillas en México han tenido un crecimiento exponencial en los últimos años, pues antes de 2008 prácticamente no se cultivaban en el país y en 2018 se exportaron 364 mil toneladas a 35 países (SENASICA et al., 2019). Actualmente, las bayas son productos de gran relevancia económica para México, ya que ocupan el tercer lugar dentro de los productos agrícolas más exportados por el país (Huerta et al., 2019). En 2019 se exportaron más de 400,000 toneladas de bayas que representaron 2,453 millones de dólares en 2019 para México (Sánchez et al., 2020).

La producción de bayas se encuentra mayormente localizada en cinco estados de la República Mexicana, siendo éstos Michoacán, Jalisco, Baja California, Estado de México y Puebla (FIRA et al., 2016).

La manera de consumo es a través de un mínimo proceso o crudas, así como un ingrediente congelado añadido a diversidad de alimentos o en puré (Hsu et al., 2014). Es posible también consumir las bayas como productos con un elevado grado de procesamiento, como elementos en la elaboración de productos como yogur, mermeladas o jaleas, paletas, batidos, botanas y diferentes bebidas (Huang et al., 2013).

El proceso de empaque de algunos tipos de frutas tiene un papel fundamental en el alargamiento de la vida de anaquel de las mismas, el momento de ser transportadas y ofrecidas a la venta a los consumidores (Aguilar-Duran et al., 2020). El periodo de vida de anaquel o vida útil es definido como el periodo en el cual un alimento conserva sus características sensoriales, físicas, químicas, microbiológicas y funcionales esperadas (Sousa-Gallagher et al., 2016). Algunos de los problemas con el deterioro que se presentan en frutas y verduras son vinculados con los cambios bioquímicos, químicos y físicos ya que éstos influyen en su textura, sabor y color (Singh y Anderson et al., 2004). La expresión asociada a estas modificaciones fisiológicas está controlada por estímulos externos e internos, incluyendo reguladores del crecimiento vegetal (Chávez-Bárceñas et al., 2012); factores como la temperatura de almacenamiento y la aparición de microorganismos de deterioro, son de gran influencia en la vida útil de los alimentos (Benichou et al., 2018).

Para que se pueda garantizar el periodo de vida de anaquel de un alimento es esencial que se parta de materias primas de buena calidad, conocer sus características y saber de sus requerimientos. En lo que son las frutas frescas, se imponen diversos parámetros tales como el índice de madurez, el momento adecuado de cosecha, los procesos bioquímicos y metabólicos a los que son sometidos, la actividad de agua, el pH, la carga microbiológica, entre otros (Kader et al., 2002).

La vida de anaquel de las bayas puede variar entre cultivares, pero en general está limitada por la tasa de respiración, la fragilidad de sus estructuras y la susceptibilidad a la descomposición por hongos (Horvitz et al., 2017).

El manejo postcosecha utilizado en la industria de los frutos pequeños está basado en la gestión de la cadena de frío y de la humedad (Kumar et al., 2018). No obstante, los recientes avances tecnológicos y la mejor comprensión de la fisiología postcosecha de las bayas podrían aportar oportunidades para mejorar el tiempo de almacenamiento de estos frutos (Huynh et al., 2019). De allí la importancia de conocer sobre los factores que influyen en la vida de anaquel de las frutas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Factores que afectan la vida de anaquel de las frutas

| Daño microbiano | |
|------------------------------|--|
| Biológicas y microbiológicas | Insectos, ácaros, roedores, pájaros, murciélagos y otros. Desarrollo de levaduras, bacterias, hongos y virus. Toxicidad/envenenamiento. |
| Daño no microbiano | |
| Fisiológicas | Senescencia de frutas. Cambios por transpiración y respiración. |
| Bioquímicas o químicas | Reacción de Maillard. Desarrollo de aromas y sabores no propios de la fruta. Autooxidación. Pardeamiento y otras reacciones enzimáticas. Pérdida de nutrientes, vitaminas y otros bioactivos. Contaminación durante el manejo agronómico (control químico de plagas y malezas). |
| Mecánicas | Abrasión, erosión, golpe, roce, magullamiento. Por rotura de empaques/envases o por cierre defectuoso. |
| Físicas | Pérdida/ganancia de humedad. Daño por condiciones climáticas agresivas (frío/calor). Decoloración por exposición a la luz. Daño por atmósfera o condiciones de almacenamiento inadecuadas. |
| Económicas y culturales | Carencia de recursos monetarios, técnicos y estructurales para un adecuado manejo y transporte de las frutas. |

Adaptado de InfoAgro (2018), Cámara et al. (2008) y NZFSA (2005).

En frutos rojos, los índices que más impactan la calidad son la apariencia (color, tamaño, forma, ausencia de defectos y firmeza); el sabor (sólidos solubles, acidez titulable y compuestos volátiles aromáticos); y el valor nutritivo que abarca el contenido de vitaminas A y C, entre otros componentes, sin dejar atrás la presencia de compuestos bioactivos y el potencial antioxidante es importante. Por otro lado, es necesario considerar la turgencia de la fruta (firmeza en piel y pulpa), ya que reflejan la resistencia que tienen a los daños mecánicos; es una característica determinada por la gestión postcosecha, la cosecha y el transporte (Di Vittori et al., 2018). Para poder garantizar que los frutos lleguen a los consumidores con la calidad deseada, es indispensable desarrollar estrategias postcosecha adecuadas, tomando en cuenta que el preservar la vida de anaquel de un alimento es responsabilidad de aquellos que participan en la cadena de producción y distribución del mismo, desde los trabajadores en el campo hasta los consumidores (Rodríguez et al., 2021).

En el caso de las bayas, la descomposición alimentaria por procesos de empaque inapropiados causa pérdidas importantes, por lo que se buscan alternativas o complementos para alargar su vida de anaquel con el fin de preservar su calidad. Las biopelículas o cubiertas comestibles son una buena alternativa para resolver esta problemática. Éstas ya han sido evaluadas y se ha probado su efectividad para alargar el tiempo de vida de anaquel de algunas frutas. Estas biocubiertas de empaque presentan también la ventaja del uso de materiales biodegradables, en contraste con macromoléculas de origen sintético (plásticos) (Olivas et al., 2003).

Estas biopelículas actúan como barreras físicas sobre la superficie de la fruta disminuyendo la permeabilidad al O₂, CO₂ y vapor de agua, retardando las reacciones metabólicas asociadas con la maduración fisiológica e inhibiendo el apareamiento enzimático, preservando su textura y sabor, permitiendo incrementar la vida útil de la fruta (Olivas et al., 2003). Las plantas de zonas áridas y semiáridas de México poseen un inmenso potencial como fuente de compuestos bioactivos, con diversas aplicaciones en las industrias farmacéutica y agroalimentaria, entre otras.

En este contexto, *Myrtillocactus geometrizans* es considerado un cactus incluido dentro de las especies endémicas que hay en México y que están bien adaptadas a las zonas

áridas y semiáridas del país. La fruta comestible que produce esta especie es conocida comúnmente como garambullo, es de forma globular, con un diámetro que puede alcanzar 1.5 cm. La pulpa que presenta es de una consistencia gelatinosa y es de un color que va de rojo a morado intenso. (Guzmán-Maldonado et al., 2010).

Recientes investigaciones han reportado el efecto antimicrobiano, antiproliferativo y antioxidante de extractos del fruto de *M. geometrizans* (Guía-García et al., 2010); sin embargo, la literatura que existe acerca de la composición y propiedades fisicoquímicas de la fruta sigue siendo limitada. Sobre el fruto de garambullo se conoce la presencia de compuestos fenólicos, vitamina C y betalainas, los cuales le aportan buenas propiedades funcionales al fruto (Santiago-Mora et al., 2017).

Dada la importancia comercial del fruto de zarzamora en México y la necesidad de desarrollar tecnologías para extender su vida de anaquel, en el presente estudio se evaluó el efecto de un recubrimiento a base de mucílago de chíá (*Salvia hispanica* L.) funcionalizado con extractos de *M. geometrizans* (garambullo) para extender la calidad postcosecha de zarzamora.

1.2 Justificación

Un tercio de los alimentos que son producidos para el consumo humano en todo el mundo se pierde o es desperdiciado, esto es equivalente a 1.33 millones de toneladas de alimentos desechados al año, según información de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO et al., 2011). Lo anterior contrasta con los 130 millones de personas en el mundo que durante el año 2018 experimentaron inseguridad alimentaria aguda, la forma más extrema de hambre, de acuerdo con el informe reportado en conjunto por la Unión Europea, FAO y el Programa Mundial de Alimentos (PMA). Dichas estimaciones dan cuenta, además, del problema ético que conlleva el que millones de personas padezcan de hambre, a causa de un mal uso de los recursos (FAO et al., 2017).

Las pérdidas de alimentos son de impacto negativo hacia la sostenibilidad de las cadenas alimentarias, ya que provocan pérdidas económicas, disminuyen el retorno de inversiones y reducen la disponibilidad de los alimentos y la calidad de los mismos.

Las frutas y hortalizas son los alimentos más desechados a nivel mundial llegando hasta un 55% de pérdidas de todo lo que se produce, esto de acuerdo a la FAO (2017).

En las bayas las principales fuentes del deterioro son a causa de microorganismos como el *Botrytis cinerea* y *Rhizopus stolonifer*, descomposiciones fisicoquímicas, daños mecánicos, deshidratación y tratamientos en gases (tratamientos bajos de oxígeno y elevados en CO₂ (Intagri et al., 2016).

El deterioro en las bayas esta influenciado por distintos factores ambientales: niveles de temperatura inadecuados, el tiempo, el porcentaje de humedad y la deshidratación que tiene el fruto, la iluminación, la respiración y entrada de oxígeno (Acosta Montalbán et al., 2021).

Con el principal objetivo de impedir o disminuir el deterioro y prolongar la calidad durante el proceso de postcosecha de los frutos se han creado diversas tecnologías, tales como la conservación a temperaturas por debajo de los 0°C, aplicación de radiaciones gamma y ultravioleta, almacenamiento en atmósfera controlada y, recientemente, el desarrollo de películas y recubrimientos comestibles.

Dentro de las ventajas primordiales que tienen los recubrimientos comestibles se encuentran las funciones antimicrobianas, la permeabilidad selectiva a gases (CO₂ y O₂), una adecuada apariencia sensorial, barreras mecánicas mejoradas, biodegradabilidad, apto para consumo humano, amigables con el ambiente y de bajo presupuesto (Fernández et al., 2017).

Esta investigación tiene un nivel de impacto sobre los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la agenda 2030 de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en los objetivos de “salud y bienestar” ya que el garambullo tiene aportaciones benéficas hacia la salud por sus componentes y en “industria, innovación e infraestructura” por buscar nuevas formas de industrializar el garambullo que no es tan conocido.

También, dentro de los Programas Nacionales Estratégicos (PRONACES) está investigación tiene relación con el programa de “Salud” y “Sistemas Socioecológicos”, ya que se promueve el aprovechamiento de la cactácea de *M. geometrizans* que, aunque no es tan reconocida es un recurso natural del país.

En este trabajo se plantea el estudio fitoquímico y potencial de la cactácea *M. geometrizans* para el aprovechamiento de su fruto que es rico en antioxidantes entre otros componentes que pueden ser benéficos para la salud, también es empleada la aplicación de un RC a base de *S. hispanica* L. y en conjunto de estos componentes crear un RC que ayude a prolongar la vida de anaquel de las zarzamoras.

1.3 Hipótesis

La calidad postcosecha del fruto de zarzamora (*Rubus fruticosus* var. tupy) se verá mejorada con la aplicación de un recubrimiento comestible a base de chía (*Salvia hispanica* L.) conteniendo extractos bioactivos de *Myrtillocactus geometrizans* (garambullo).

1.4 Objetivo general

Evaluar el efecto de la aplicación de un recubrimiento comestible formulado con mucílago de chía (*S. hispanica* L.) funcionalizado con extractos bioactivos de *M. geometrizans* en la calidad postcosecha de zarzamora (*R. fruticosus* var. tupy).

1.5 Objetivos específicos

- I. Obtener y caracterizar extractos acuosos e hidroalcohólicos de *M. geometrizans*.
- II. Seleccionar el extracto más apropiado en función de su contenido de fenoles totales y su potencial antioxidante.
- III. Determinar el efecto de un recubrimiento de mucílago de chía conteniendo extractos bioactivos de *M. geometrizans* en la calidad postcosecha del fruto de zarzamora.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Generalidades

En los últimos años, se ha observado una tendencia mundial a buscar un estado de bienestar general y fortaleza física de las personas, lo que ha llevado a una parte de la población a prestar atención a su alimentación e incluir en su dieta alimentos ricos, nutritivos y funcionales. Entre ellos se incluyen las bayas o berries, un grupo de frutos dulces acidulados, jugosos y coloridos, como las fresas, arándanos, zarzamoras, moras azules y frambuesas, que han ganado un nivel de popularidad debido a su potencial antioxidante, contenido vitamínico y aporte de fibra (González et al., 2019).

En México, las zarzamoras y ciertos tipos de frambuesas, que crecen de forma silvestre en zonas boscosas, son bayas típicas de nuestro país y han sido recolectadas por los habitantes de estas zonas desde la antigüedad (Sánchez. et al., 2008). El éxito de la producción de estas especies se debe en gran medida a sus características, tales como atractivo sensorial, beneficios a la salud, control de oferta, comercialización y rentabilidad económica. Asimismo, las principales razones del interés por estos frutos son su alta rentabilidad, rápido retorno de la inversión, uso intensivo de mano de obra, diversidad de consumo de la fruta y enormes posibilidades de exportación (González et al., 2019).

En general, las bayas han cobrado cierta importancia en México en los últimos años desde el punto de vista económico y comercial, y su cultivo requiere importantes inversiones de capital. Aunque estos cultivos siguen teniendo una importancia marginal en la agricultura nacional, durante la última década han comenzado a cobrar importancia, lo que ha resultado en un aumento significativo de la superficie dedicada a estas especies (González et al., 2019).

Las bayas son de los cultivos más rentables para los productores en México, ya que genera retornos rentables a partir del segundo año, aun requiriendo mucha mano de obra (900 jornales por hectárea) (SAGARPA et al., 2018).

La alta demanda de estos frutos, combinada con una alta rentabilidad y potencial de exportación, está impulsando un crecimiento acelerado en la producción y comercialización en todo el mundo (SAGARPA et al., 2017). Actualmente, México es

considerado uno de los principales productores. Solo en el 2022, las bayas se ubicaron como el segundo producto agrícola con mayor valor en las exportaciones en el país, con 4,700 millones de dólares en ingresos, y creando más de 450 mil puestos de trabajo (SADER, 2023). Un ejemplo, es que México produce 10% de las fresas en el mundo (Broom et al., 2022).

Este tipo de frutos son muy perecederos y se caracterizan por tener una vida útil corta postcosecha en condiciones óptimas de manipulación. Por ejemplo, la vida útil máxima de la zarzamora y frambuesa es de 2 a 5 días, de la fresa de 7 a 10 días, del arándano azul de 1 a 2 semanas y de los arándanos rojos de 2 a 4 meses (Yahía et al., 2017).

Con excepción del arándano, todas las bayas son no-climatéricas, lo que significa que no pueden seguir madurando después de la cosecha, por ello es importante no cosecharlas antes de que hayan alcanzado su estado óptimo de consumo. Todas estas frutas producen cantidades mínimas de etileno (<0.1 a 1.0 ppm por kg por hora a 20°C) y el etileno no estimula la maduración de la fresa, frambuesa y zarzamora. Siendo climatérico, el arándano si responde al tratamiento con etileno (Yahía et al., 2017).

Todas las bayas son susceptibles al daño por frío una vez cosechadas y por lo que es importante almacenarlas a la temperatura más baja posible (arriba de la temperatura de congelación). Además, las bayas son muy resistentes a altas concentraciones de dióxido de carbono, lo que supone una gran ventaja para usar al controlar pudriciones (Yahía et al., 2017).

Las principales causas del deterioro de las bayas son las pudriciones (causados especialmente por *Botrytis cinerea* y *Rhizopus stolonifer*), daños tanto físicos como mecánicos, pérdida de agua y daños que puedan ser causados por concentraciones de gases extremas (concentraciones de oxígeno bajas y muy altas de bióxido de carbono) (Yahia et al., 2017).

Con el propósito de evitar o disminuir los efectos adversos de los factores anteriores y en conjunto alargar la vida postcosecha de frutas y hortalizas se han implementado diversas tecnologías, entre ellas podemos destacar, el almacenamiento a temperaturas bajas, la aplicación de radiaciones gamma y ultravioleta, el control biológico, el mantenimiento por

atmósfera controlada, el uso de envases plásticos, el uso de películas y la aplicación de recubrimientos comestibles (RC), entre otras (Núñez et al., 2012).

Los RC juegan un papel importante en la vida útil de los alimentos, ya que reducen la pérdida de agua, proporcionan control respiratorio, retardan el envejecimiento y mejoran su calidad y valor comercial manteniendo sus características de calidad y valor nutricional. Por ello, se han dedicado varias investigaciones sobre el uso de estas tecnologías aplicadas a diversos productos hortofrutícolas (Restrepo y Aristizába et al., 2010).

Un RC puede definirse como una matriz continua, delgada, comestible y transparente, que se forma alrededor de un alimento generalmente mediante la inmersión del mismo en una solución formadora del recubrimiento para preservar su calidad y servir de empaque. Por otro lado, las películas comestibles (PC), en cambio, son una matriz preformada, obtenida por moldeo y su espesor es siempre mayor al de los RC (Del-Valle et al., 2005). Estas soluciones que forman la película o recubrimiento pueden ser conformadas de polisacáridos, proteínas, lípidos o mezclas de los mismos. A pesar de las diferencias, ambas proceden de igual manera frente a diversas sustancias que actúan como barrera sobre el alimento frente al transporte de gases y vapor de agua durante su conservación de los alimentos (Vasconez et al., 2009).

Las PC son una fina capa de material homogéneo, que se aplica sobre un alimento y son comestibles. En los últimos años se ha investigado una amplia gama de materiales para obtener PC y biodegradables. Entre los materiales investigados están los almidones (Mathew & Abraham et al., 2008), la pectina (Medeiros et al., 2012), la proteína de soya (Kokoszka et al., 2010), la carragenina (Moraes et al., 2012), el quitosano (Martins et al., 2012), las gomas (Flores et al., 2010), entre otros. Las formulaciones de películas pueden contener uno o más de estos materiales que pueden actuar de forma sinérgica (Valenzuela et al., 2013). En su estudio, (Prodpran et al., 2007), afirmaron que la adición de ceras y lípidos mejora las propiedades de barrera de las películas elaboradas a partir de proteínas. Las películas comestibles son el resultado de mezclar varios biopolímeros, plastificantes, emulsificantes, lípidos, agentes antimicrobianos, saborizantes, colorantes,

probióticos, antioxidantes, etc., que pueden mejorar la permeabilidad y las propiedades mecánicas de la película.

Una de las funciones de las películas comestibles es extender la vida útil reduciendo la pérdida de peso y preservando el color, aroma, sabor y valor nutricional de los alimentos. (Perdones et al., 2012).

Con el fin de mejorar la nutrición de la población y, al mismo tiempo conservando los recursos naturales, se ha considerado el uso de especies nativas que tienen potencial nutricional en el ámbito alimenticio pero están olvidadas; este es el caso del garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*), una cactácea que crece en zonas áridas de México, considerada como una alternativa natural, ya que el fruto es considerado un alimento nutritivo rico en compuestos fitoquímicos como las vitaminas A, C y E, ácido fólico, calcio, selenio, antocianinas, quercetinas, proantocianidinas y taninos (Seram et al., 2008).

2.2 Zarzamora

2.2.1 Origen y producción

Se cree que el fruto de zarzamora (*Rubus fruticosus var. Tupy*) se originó en el Monte Ida en Grecia, desde donde emigró y se extendió por toda Europa, principalmente Italia (Los Alpes), Países Bajos, Inglaterra y luego fue llevada al norte de América, algunas especies son nativas de Europa y Asia, aunque las especies son distintas y pueden tener orígenes diferentes (Anacleto et al., 2015).

Aunque se dice que la zarzamora es una de las variedades frutales más fáciles de producir (donde se cultiva comúnmente), y que ha sido una de las plantas más confiables para producir durante varios años, la producción en áreas subtropicales no ha sido tan fácil aun cuando ha demostrado que es una actividad altamente rentable y con un gran potencial económico (Zavala et al., 2006)

En los últimos años, la producción de zarzamora en México ha ido aumentando paulatinamente, y ahora México es actualmente el principal productor mundial de esta fruta. La zarzamora es cultivada en doce estados de México, de los cuales Michoacán es el principal productor, representando el 97% de la producción total con más de 100 mil toneladas producidas anualmente (Zamora-Torres et al., 2023), siguiendo en importancia Jalisco y Colima. Dicha especie tiene un rendimiento promedio de 18.7 t/ha, llegando a rendimientos superiores a las 20 t/ha, esto en sistemas de producción protegida. Aparte de la rentabilidad y las posibilidades de exportación, el interés generado hacia el consumo de alimentos con propiedades nutraceuticas, propias de las bayas, ha sido un factor importante para el rápido crecimiento de la producción y comercialización a nivel mundial (Martínez-Camacho et al., 2022; Zamora-Torres et al., 2023).

Entre las ventajas de la zarzamora destacan su sabor único y el contenido de antioxidantes propios de esta fruta. La zarzamora suele venderse en pequeñas cantidades (en empaques de aproximadamente 250 g). Es un fruto muy delicado que requiere cuidados adecuados de temperatura; además, no soporta cargas, por lo que el empaque debe ser especial para aislar al fruto del roce ya que la fruta al triturarse se convierte en jugo (Torres et al., 2023).

La producción a nivel nacional de zarzamoras satisface la demanda propia en la República Mexicana, su consumo es generalizado y son fáciles de conseguir, su costo no es alto en comparación con el de otros frutos rojos, como los arándanos o las frambuesas. En general la producción de zarzamoras está controlada y rara vez se encuentran problemas serios que estén relacionados con plagas o estrés ambiental que provoquen un precio estacionalmente alto (Torres et al., 2023)

El objetivo de la exportación de zarzamora fresca es asegurar la diversidad de usos que se le pueden dar al fruto en el país de destino, ya que los consumidores utilizan ya sea la zarzamora fresca, deshidratada o con valor agregado; además los chefs la suelen utilizar en la repostería, en platillos como relleno y/o decoración, en mermeladas, jugos, en licores u otras bebidas para matizar o dar el toque en vinos de mesa, entre otros (CERTIMEX et al., 2016).

México es un gran productor de zarzamora a nivel internacional, lo cual ha contribuido a realizar exportaciones a distintas partes del mundo. Como se muestra en el Cuadro 2, las exportaciones de este producto han ido en aumento gradualmente en los últimos años. La mayor parte de las exportaciones de la zarzamora mexicana se destinan hacia los Estados Unidos, teniendo que en 2020 se enviaron alrededor de 70 mil toneladas a este país, mientras que el volumen restante fue exportado hacia Canadá, Europa, Emiratos Árabes Unidos y Arabia Saudita.

Cuadro 2. Oferta de zarzamora en México a nivel mundial.

| Año | Cantidad (Ton) | Valor (USD) |
|------------|-----------------------|--------------------|
| 2010 | 40,624 | 118,486 |
| 2011 | 43,655 | 131,742 |
| 2012 | 50,115 | 149,888 |
| 2013 | 51,518 | 162,177 |
| 2014 | 63,028 | 214,497 |

Adaptado de TRADE MAP, (2015).

La producción de zarzamora con calidad de exportación debe cumplir con las especificaciones dictadas por los mercados internacionales; sin embargo, el fruto de zarzamora presenta sensibilidad al efecto de reversión que se manifiesta como alteraciones de la coloración en su etapa de madurez al ser cosechadas (Edgley et al.,

2019); es por ello que debe manejarse con sumo cuidado durante su crecimiento con apoyo de insumos y posterior a su cosecha para asegurar la conservación de sus características organolépticas, además de la sanidad requiere demostrar la inocuidad del producto (Kim et al., 2019).

2.2.2 Composición

La zarzamora es un fruto que cuenta con un alto contenido de agua en el que se pueden encontrar disueltas gran cantidad de sustancias, principalmente azúcares y ácidos orgánicos. Dentro de los últimos, predominan el ácido málico y el ácido isocítrico. Sin embargo, lo que caracteriza en realidad a estas frutas es su contenido abundante de antocianinas, pigmentos naturales con acción antioxidante (Jackman et al., 1996), destacando la cianidina-3-glucósido con un contenido del 90% del total de antocianinas que se encuentran presentes en la zarzamora (Elisia et al., 2007). Sin embargo, estos componentes en medio ácido son muy inestables, susceptibles a degradación cambiando así de color por efecto del pH, el calor, el oxígeno y la luz (Wesche-Ebeling, 1984).

En general, las zarzamoras tienen una composición basada en carbohidratos, minerales, fibra, ácido málico, ácido ascórbico, ácido fólico, polifenoles y carotenoides concentrados los cuales les otorgan sus características como el sabor, color y propiedades nutraceuticas (Talcott et al., 2007). Además, son ricas en vitamina A, B1, B2, C, E y minerales (potasio, fósforo, hierro, sodio, manganeso, selenio, cobre, calcio), y otros compuestos como ácido fólico y niacina (SADER et al., 2019)

2.3 Recubrimientos comestibles

2.3.1 Generalidades

Los recubrimientos comestibles (RC) son definidos como una fina capa de material comestible, depositada en un alimento como cubierta para extender la vida útil de vegetales frescos (Aguirre et al., 2015) al reducir procesos metabólicos, facilitar la distribución y la comercialización de los productos alimenticios (Sánchez et al. 2015), retardar el crecimiento microbiano y servir como barrera protectora para reducir respiración, retardando el proceso de senescencia y preservando la calidad (Guerreiro et al. 2014), el objetivo de la aplicación de RC es inhibir o reducir la migración de humedad, oxígeno, dióxido de carbono y aromas, entre otros, ya que promueven barreras semipermeables, además de transportar compuestos bioactivos como antioxidantes, antimicrobianos y con ello, logran mejorar la integridad mecánica o las características de manipulación del alimento (Aguirre et al., 2015).

En cuanto a la composición de los RC es variada, recibiendo especial atención aquellos a base de biopolímeros, tales como polisacáridos y proteínas, principalmente, como materiales adecuados para la formación de recubrimientos ya que presentan propiedades mecánicas y estructurales excelentes. Sin embargo, comúnmente son una barrera contra la humedad deficiente (Andrade et al. 2014), y esto implica una disminución en la tasa de respiración en las frutas y hortalizas (Guerreiro et al., 2014), por otro lado, lo RC a base de lípidos no presentan este problema, debido a sus propiedades hidrofóbicas, especialmente en los que cuentan con puntos de fusión alto, sin embargo, estos presentan propiedades mecánicas deficientes y se deben de contrarrestar usando aditivos (Andrade et al. 2014). Es por ello, que la combinación o mezclas de biopolímeros puede solventar las deficiencias o retos que estos presentan de manera individual. Algunas de las ventajas que ofrecen los RC de base natural son propiedades barrera a la permeabilidad selectiva a gases (CO_2 y O_2), mejor apariencia, propiedades mecánicas buenas, biodegradabilidad (Durango et al., 2011), no son tóxicos, son amigables con el medio ambiente y son de bajo costo (Bezerra et al., 2014). Además, pueden elaborarse en combinación de tal forma que logren aprovechar las ventajas de cada grupo, dichas formulaciones pueden incluir conjuntamente plastificantes y emulsificantes que se utilizan

de diversa naturaleza química con la finalidad de ayudar a mejorar las propiedades finales del recubrimiento (Fernández et al., 2015).

El uso de RC se ha incrementado en los últimos años debido a sus ventajas ambientales favorables frente a los recubrimientos sintéticos. Por ello, los RC son considerados una tecnología prometedora y respetuosa con el medio ambiente ya que reduce la utilización del envasado tradicional como películas plásticas, además son elaborados a base de biopolímeros naturales y biodegradables, es decir, que pueden ser obtenidos a partir de recursos naturales o extraídos a partir de los subproductos de las industrias agroindustriales (Elsabee y Abdou et al., 2013), además de ser envases activos cuando se incorporan en su matriz polimérica aditivos naturales con propiedades antimicrobianas y antioxidantes (Begoña et al., 2015).

Diversos estudios reconocen la importancia de evaluar las matrices preformadas, con la tarea de cuantificar diversos parámetros como propiedades mecánicas, ópticas y antimicrobianas a fin de determinar las posibilidades de su aplicación como nuevo empaque, ya que crea una atmosfera modificada que restringe la transferencia de gases (O_2 , CO_2) y se convierte en una barrera para la transferencia de compuestos aromáticos (Miller y Krochta et al., 1997).

El empleo de una película o recubrimiento comestible en aplicaciones alimentarias, especialmente en productos que son altamente perecederos, como pueden ser los pertenecientes a la cadena hortofrutícola, considera algunas características importantes como el costo, disponibilidad, resistencia estructural al agua, atributos funcionales, propiedades mecánicas (tensión y flexibilidad), efecto barrera que tenga frente al flujo de gases, propiedades ópticas (brillo y opacidad), resistencia a microorganismos y la aceptabilidad sensorial. Dichas características se ven influenciadas por parámetros como el tipo de material empleado como matriz estructural (conformación, masa molecular, distribución de cargas), las condiciones en las que se preforman las películas (concentración de componentes, tipo de solvente, temperatura, pH, entre otras) y el tipo y la concentración de los aditivos (agentes entrecruzantes, plastificantes, antimicrobianos, antioxidantes, emulsificantes, etc.) (Rojas-Graü et al., 2009a).

Los recubrimientos formulados apropiadamente pueden ser utilizados en la mayoría de los alimentos para responder a los retos asociados con la estabilidad de la calidad, seguridad comercial, valor nutrimental y los costos económicos de producción. A reserva de la industria de productos frescos, los beneficios potenciales de utilizar RC incluyen:

a) barrera para la pérdida de humedad en la superficie del alimento; barrera al intercambio de gases (Ulloa et al., 2007).

b) barrera al intercambio de compuestos volátiles entre los alimentos frescos y el medio ambiente (Falguera et al., 2011).

c) protección al daño físico por impacto mecánico, presión, vibraciones, entre otros.

d) vehículo de otros compuestos funcionales, tales como agentes antimicrobianos, antioxidantes, nutraceúticos, colorantes y saborizantes (Falguera et al., 2011)

2.3.2 Recubrimientos comestibles como vehículos de compuestos bioactivos

Actualmente, la demanda creciente por parte de los consumidores de alimentos fáciles de preparar o de consumir, seguros, naturales, con propiedades biológicas más allá de las nutricionales, y todo eso sin perder a las características sensoriales de frescura del alimento, han motivado a los investigadores e industriales a desarrollar nuevas tecnologías de procesado y conservación, conocidas como “procesado mínimo”, con principal objetivo de la inactivación de enzimas y de microorganismos alterantes y/o patógenos que dan lugar al deterioro del alimento pero descartando las consecuencias adversas de las tecnologías tradicionales (tratamientos térmicos, secado, acidificación, salado, aditivos químicos, etc.), que estén relacionadas con la pérdida de calidad sensorial y nutricional (Oms-Oliu et al., 2010).

La eficiencia de un RC para proteger frutas y vegetales va a depender del control de la humectabilidad (Cerqueira et al., 2009), de la capacidad que tenga la película para mantener compuestos de distinta funcionalidad (plastificantes, antimicrobianos, antioxidantes, sabores, olores) dentro de dicha matriz, ya que al perder dichas soluciones

se verá afectado el espesor de la película, y de la solubilidad en agua, ya que es indispensable evadir la disolución de la PC o RC (Ozdemir y Floroset al., 2008).

En la última década se han realizado numerosas investigaciones científicas que demuestran que las PC y RC son una herramienta útil para el mejoramiento de la calidad de los alimentos vegetales mínimamente procesados, esto se debe a que forman una barrera semipermeable que disminuye la pérdida de agua y de solutos, controlan también el intercambio gaseoso incluida la velocidad de respiración (O_2 y CO_2) y la emisión de etileno, y disminuyen el riesgo de contaminación microbiológica, los desórdenes fisiológicos y los cambios bioquímicos que están relacionados con reacciones oxidativas (pardeamiento enzimático) y la pérdida de firmeza. (Vargas et al., 2008).

Tomando en cuenta que los RC y PC serán ingeridos por los consumidores junto con el producto vegetal, los materiales que son utilizados en su formación deben tener las siguientes características: a) compuestos que sean considerados GRAS (Generalmente Reconocidos como Seguros); b) deben ser estables en condiciones de humedad alta; c) deben tener una buena barrera al oxígeno, dióxido de carbono y vapor de agua, aunque también deben permitir un mínimo de 1-3% de oxígeno con entorno al producto para evitar los efectos negativos que presente la anaerobiosis; d) buenas propiedades mecánicas y de adhesión al vegetal cortado; e) deben ser sensorialmente aceptables, es decir, que no transfieran sabores y olores ajenos al alimento, que mejoren la resistencia mecánica del alimento y que sean translucidos para no modificar el color original del alimento; f) deben tener una estabilidad desde un punto de vista fisicoquímico y microbiológico; g) con un coste económico razonable (Dahall et al., 2013).

Una característica importante de los RC y las PC es que pueden ser empleados como un transportador para aumentar las propiedades nutricionales y saludables del alimento mínimamente procesado por la adición de compuestos bioactivos. Para que se pueda mantener su carácter de película o recubrimiento comestible natural, estos aditivos deben ser también aditivos de origen natural aprobados para su uso en alimentos por la legislación de cada país (Silva-Weiss et al., 2003).

Actualmente, los RC y las PC están siendo usados como transportadores para adicionar determinados aditivos de forma más eficiente a los alimentos. Esta vía de incorporación

de aditivos en los alimentos ayuda a su efectividad y disminuye la cantidad necesaria para su acción, así consiguiendo también beneficios para la seguridad y calidad sensorial y nutricional del alimento de IV y V gama (Silva-Weiss et al., 2013). En los RC y las PC se pueden adicionar aditivos con diferentes funciones como las sustancias para mantener la textura, antimicrobianos, antioxidantes, nutrientes e ingredientes bioactivos capaces de aumentar el valor nutricional y funcional del alimento vegetal.

En este contexto, el uso de extractos de plantas de zonas áridas y semiáridas de México ha recibido especial atención debido a sus compuestos bioactivos, que les confieren propiedades funcionales interesantes como antioxidantes, antimicrobianas y antiproliferativas. Investigaciones recientes han reportado el uso de extractos de *Flourensia cernua* y *Rhus microphylla* en recubrimientos para extender la vida de anaquel de tomate y fresa, respectivamente (Salas-Méndez et al. 2019; Guía-García et al., 2023). El estudio de las cactáceas también es prometedor en esta área, aunque aún es limitado. Recientes estudios han destacado el potencial bioactivo de extractos de *Myrtillocactus geometrizans*, nombre común “garambullo”, pero su exploración como agentes para extender la vida de anaquel de frutos comerciales sigue siendo limitada.

2.4 *Myrtillocactus geometrizans* (garambullo)

2.4.1 Generalidades

Las zonas áridas y semiáridas abarcan alrededor del 60% del territorio de México y presentan una enorme riqueza de especies vegetales que crecen en condiciones de temperatura alta y humedad limitada debido a la precipitación baja y altas tasas de evaporación (González-Medrano et al., 2012).

El garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*) (Mart. Ex Pfeiff.) (Figura 1) es un tipo de cactácea endémica que crece en zonas áridas y semiáridas de México (Hernández-López et al., 2008). Ecológicamente es de importancia ya que aumenta la cantidad de materia orgánica en los suelos y evita la erosión, captura CO₂, promueve la estabilización de suelos inestables y la infiltración de agua pluvial (González-Insuasti y Caballero et al., 2007). En matorrales abiertos se distingue el *Myrtillocactus geometrizans* como elemento arborescente y tiene una alta densidad fuera de las zonas cultivadas (González-Insuasti y Caballero et al., 2007). Es distribuido principalmente en zonas áridas, en los estados de Hidalgo, Querétaro, Guanajuato, Michoacán, Jalisco, San Luis Potosí, Zacatecas, Tamaulipas, Nuevo León, Estado de México, Puebla, Veracruz, Guerrero y Oaxaca (Guzmán et al., 2003). Las flores que presenta son tubulares de un color blanco verdoso y producen frutos comestibles del tipo baya, de un color azul-rojizo (Arias et al., 2010).



Figura 1. Plantas de garambullo (*M. geometrizans*) en su hábitat. Tula, Tamaulipas, México. 2024.

Este cactus produce un fruto comestible, llamado 'garambullo'. El fruto tiene una forma globular, con un diámetro de 1,5 cm. La pulpa de esta fruta es de una consistencia suave y jugosa, y es de un color rojo a púrpura más oscuro (Hernández-López et al., 2008). Las propiedades sensoriales que presenta el fruto lo hacen ser uno de los favoritos de los lugareños (Herrera-Hernández et al., 2011). Sin embargo, la información presentada sobre las propiedades fisicoquímicas que tiene esta fruta, los componentes bioactivos y la actividad antioxidante es limitada. No existen parámetros establecidos hasta ahora que permitan identificar el nivel de maduración óptima de la fruta para su recolección; debido a esto, los criterios de cosecha son basados en la experiencia de los recolectores locales.

Las investigaciones han demostrado que el garambullo es una gran fuente de compuestos bioactivos (como la vitamina C y las betalaínas) y contiene considerables cantidades de compuestos fenólicos simples (como el ácido gálico) y flavonoides (como la rutina y la quercetina) (Guzmán-Maldonado et al., 2010). Estos fitoquímicos han sido relacionados con una actividad antioxidante sobresaliente en comparación con otro tipo de frutas de consumo común como lo son las cerezas, la frambuesa, la fresa y el arándano (Pellegrini et al., 2003).

A pesar de las propiedades nutrimentales y funcionales que presenta el garambullo, no satisface la demanda en el mercado de alimentos funcionales. Una razón es la perecibilidad rápida de la fruta, además de que no se emplean tecnologías postcosecha que alarguen la vida útil de la fruta. Debido al incremento del precio de venta de la fruta fresca, la refrigeración es utilizada como medio de conservación; sin embargo, el almacenamiento a 5 °C solo retarda la vida útil de la fruta en cinco días. Por lo tanto, los productores locales buscan elaborar mermeladas, helados, jugos y frutas deshidratadas (Hernández-López et al., 2008). Una investigación preliminar observó que la calidad de la fruta se disminuye considerablemente a causa de la pérdida de agua a baja temperatura, deteriorando así la apariencia del producto (Correa-Betanzo et al., 2011).

2.4.2 Composición química

En el contenido nutricional del garambullo está incluida la presencia de minerales, carbohidratos, proteína y fibra, mismos que se muestran en el Cuadro 3. En cuanto al

contenido de carbohidratos, proteínas y fibra dietaria se ha reportado un mayor contenido en garambullo en comparación con frutos más populares (Herrera-Hernández et al., 2011).

Cuadro 3. Contenido de minerales, carbohidratos, proteínas y fibra en *M. geometrizans*.

Adaptado de Herrera-Hernández (2011).

| Componente | g/kg |
|-------------------|---------------|
| Potasio | 19.4 – 23.3 |
| Calcio | 4.3 - 5.5 |
| Magnesio | 2.6 – 3.5 |
| Hierro | 3.7 – 4.1 |
| Manganeso | 5.4 - 6.9 |
| Fosforo | 1.54 – 1.9 |
| Azufre | 1.38 – 1.9 |
| Zinc | 0.96 – 1.28 |
| Cobre | 0.26 – 0.32 |
| Componente | mg/kg |
| Carbohidratos | 103.0 – 105.6 |
| Proteína | 7.1 – 8.7 |
| Fibra dietaria | 34.9 – 36.9 |

Recientemente, Sánchez-Recillas et al. (2022) sometieron al garambullo a una simulación de la digestión y fermentación gastrointestinal *in vitro*, simulando las condiciones químicas y enzimáticas que se tienen en la boca, estómago, intestino delgado y colon. Dentro del extracto obtenido del intestino delgado se encontraron 2 fracciones: la fracción digerible (FD) y fracción no digerible (FND) del fruto, en las que se identificaron y se cuantificaron los metabolitos y compuestos bioactivos que se presentaron en ambas fracciones. En el Cuadro 4 se muestra las familias de compuestos bioactivos reportadas en la caracterización de la FND del garambullo y ejemplos de cada una.

Cuadro 4. Cuantificación de compuestos bioactivos de la fracción no digerible (FND). Adaptado de Sánchez Recillas et al. (2022).

| Familia | Componente | FND (µg/g) |
|-------------------------|---|-------------------|
| Flavononas | Eritrosina | 0.19 |
| Flavonoles | Quercetina ramnosil-ramnosil-hexosido | 52.71 |
| Ácidos hidroxibenzoicos | Ácido hidroxibenzoico hexóxico isómero II | 382.54 |
| Ácidos hidroxicinámicos | Ácido cafeico hexóxico | 2.07 |
| Betacianinas | Betanidina β-hexoxido | 22.04 |
| Betaxantinas | Prolina-betaxantina | 1.35 |

La fracción no digerible es sugerida por dichos autores como aquella que alcanza el colon y que pudiera estar dentro del proceso fermentativo propio de este tejido, generando así metabolitos con potencial efecto benéfico sobre la salud.

Los componentes bioactivos que componen el fruto de garambullo tienen ciertos efectos que son benéficos sobre la salud del consumidor demostrado en otras matrices alimentarias. Sin embargo, se desconoce aún si los compuestos que tiene el garambullo que llegan al colon, así como los metabolitos que son generados a partir de ellos, tuviesen algún efecto sobre células cancerosas, y su mecanismo de acción involucrado (Cano et al., 2023).

Considerando que en México existe una gran diversidad de plantas de zonas áridas y semiáridas que no han sido aprovechadas aun, entre las cuales se encuentra *M. geometrizers*, del cual se tiene mínimo conocimiento, en la presente investigación se tiene como objetivo su aprovechamiento como fuente de compuestos bioactivos alternativa para extender la vida de anaquel de zarzamora, un cultivo de importancia comercial en México.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se desarrolló en el laboratorio de fermentaciones del Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. La experimentación fue llevada a cabo en dos etapas: Etapa I. Producción y caracterización de extractos de *Myrtillocactus geometrizans* y Etapa II. Efecto de recubrimientos a base de mucilago de chíá funcionalizados con extractos de *Myrtillocactus geometrizans* en la vida de anaquel de zarzamora. Ambas etapas son descritas a continuación:

Etapa I. Producción y caracterización de extractos de *Myrtillocactus geometrizans*

3.1 Reactivos

Los reactivos usados en la presente investigación son de grado analítico. La base utilizada en la disolución de los reactivos fue agua destilada y etanol absoluto al 99.9% en las pruebas que lo requirieron. Para la medición de actividad antioxidante se empleó el reactivo DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidracilo) de Sigma Aldrich (Alemania). En cuanto a la prueba de fenoles totales se realizó el análisis con el reactivo Folin Ciocalteu (FC) (Merk, Suiza), carbonato de sodio y ácido gálico (Sigma, Japón).

3.2 Materia prima

La recolección del fruto fue llevada a cabo en terrenos del municipio de San Luis de la Paz, Guanajuato, México, entre los meses de junio y agosto de 2018. Fueron recolectados manualmente y se seleccionaron considerando el color, seleccionando los frutos de color púrpura oscuro, correspondientes a un fruto “maduro” de acuerdo con lo reportado por Guzmán-Maldonado et al. (2010). Posteriormente, los frutos se sometieron a un secado previo a temperatura ambiente bajo condiciones de oscuridad hasta que alcanzaron una humedad del 50%. Los frutos se almacenaron en condiciones de oscuridad y se transportaron al laboratorio de fermentaciones del Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos de la UAAAN, en donde se llevó a cabo un proceso de pasteurización para la inactivación de enzimas, siguiendo el método reportado por Jasso de Rodríguez et al. (2005), el cual consiste en llevar las muestras a 65°C durante 30 min tres veces. Las muestras obtenidas de este proceso se trituraron en una licuadora

a baja velocidad, después se pasaron por una malla no. 20 y se almacenó a temperatura ambiente hasta su uso (Padierna-Araiza et al., 2021).

3.3 Producción de extractos de *M. geometrizans*.

Para la preparación de los extractos se siguió la metodología propuesta por Charles-Rodríguez et al. (2020). Se pesaron 11.5 g de fruto de garambullo (seco y molido) y se mezcló con 125 mL de cada solvente a usar. Los solventes utilizados fueron hidroalcohólico (1:1 p/v) (etanol: agua) y agua destilada, obteniendo así los extractos hidroalcohólico (EHA) y acuoso (EA), la mezcla obtenida fue colocada en un matraz Erlenmeyer de 250 mL cubierto en su totalidad con aluminio y sellado en la boquilla con Parafilm, para después someterlos a agitación constante a 150 rpm (New Brunswick Scientific, EU) durante 22 h a temperatura ambiente. Posteriormente, los extractos fueron concentrados eliminando el solvente usando un evaporador rotatorio (IKA RV 10, China). La temperatura aplicada fue dependiente del tipo de solvente usado, para el EHA la concentración se realizó a 89°C y para EA fue a 99°C. A continuación, los extractos fueron llevados a peso constante a 45°C durante 24 h y la resina obtenida se protegió de la oscuridad y se almacenó en refrigeración (4°C) hasta su uso (Figura 2). Las extracciones se realizaron con seis repeticiones y el rendimiento fue expresado en porcentaje (%).

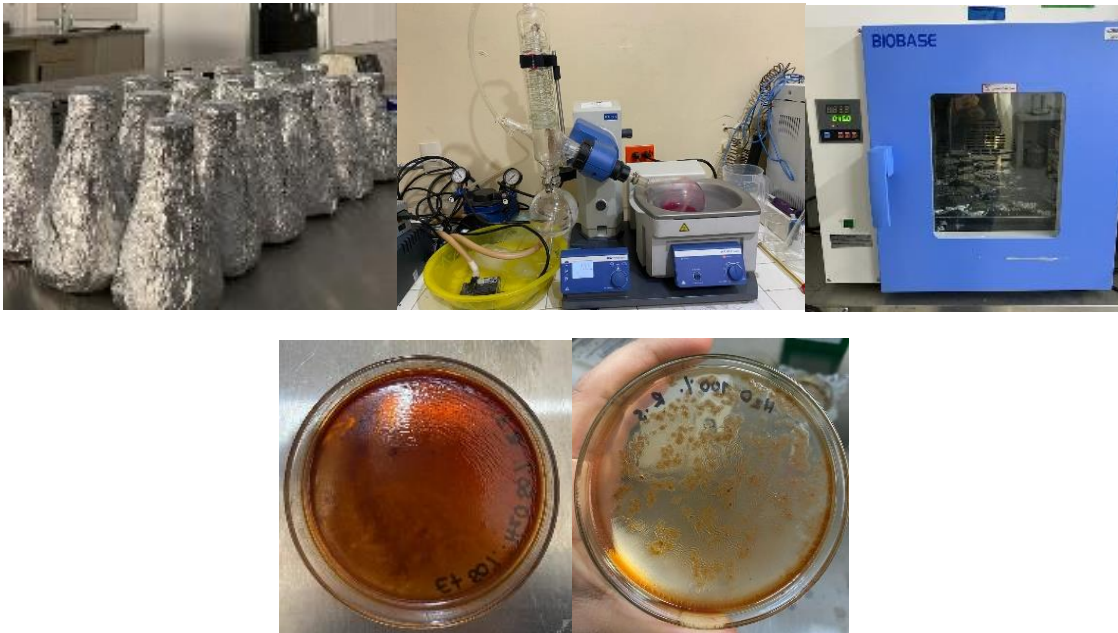


Figura 2. Producción de extractos de *M. geometrizans*.

3.4 Caracterización de extractos de *M. geometrizzans*

3.4.1 Fenoles totales

El contenido de fenoles totales (CFT) fue determinado en microplaca de 96 pocillos, siguiendo la metodología de acuerdo a Müller et al. (2010), empleando el reactivo de FC modificado. Se preparó una solución, pesando 20 mg de muestra para luego disolverse en 5 mL de su respectivo disolvente mediante agitación, después se tomaron 20 µL de la solución problema y se mezclaron con 100 µL del reactivo de FC en una microplaca de 96 pocillos, se agitó suavemente y se dejó reaccionar durante 5 min. Posteriormente, a la mezcla se le añadieron 75 µL de Na₂CO₃ (7.5% p/v), se agito suavemente y se dejó incubar la reacción durante 45 min a temperatura ambiente en condiciones de oscuridad. La medición de la absorbancia se realizó a 750 nm en un lector de microplacas (BIOBASE-EL 10A, China). La curva empleada fue realizada con ácido gálico (AG) como solución estándar en un rango de 0.2 a 0.6 g L⁻¹. El CFT se reportó como g de ácido gálico por peso (kg) de material seco (g AG kg⁻¹).

3.4.2 Actividad antioxidante

Para la determinación de actividad antioxidante de los extractos de *M. geometrizzans* se siguió la metodología de acuerdo con Charles-Rodríguez et al. (2020), en la que se emplea el radical DPPH. Se prepararon soluciones con diferentes concentraciones de cada extracto (0.0, 0.04, 0.08, 0.13, 0.2 y 0.25 mg mL⁻¹), se colocaron 25 µL de la muestra diluida (en su respectivo disolvente) y se mezclaron con 200 µL de la solución de DPPH, se agitó suavemente y se mantuvo a temperatura ambiente durante 30 min la reacción cubierta de la luz. Una vez transcurrido este tiempo se procedió a medir la absorbancia en un lector de microplaca (Biobase, China) a 520 nm. Los resultados se expresaron en términos de porcentaje de actividad antioxidante (%RSA, radical scavenging activity por sus siglas en inglés) empleando la ecuación siguiente:

$$(\% RSA) = \frac{(Abs_{control} - Abs_{muestra})}{(Abs_{control})} \times 100 \quad \text{Ec. 1}$$

Donde la absorbancia del control (etanol absoluto) es representada por $Abs_{control}$ y la absorbancia de la muestra es representada por $Abs_{muestra}$. La actividad antioxidante fue expresada como CI_{50} , es decir, la concentración del compuesto causante del 50% de RSA. Estas evaluaciones fueron realizadas por triplicado.

Etapa II. Efecto de recubrimientos a base de mucílago de chía funcionalizados con extractos de *Myrtillocactus geometrizans* en la vida de anaquel de zarzamora

3.5 Reactivos

Los reactivos que fueron usados durante la Etapa II fueron de grado analítico. En el caso de las pruebas de vida de anaquel se usaron diferentes reactivos: Hidróxido de sodio (DEQ, México), fenoltaleína (ACS, México), agar nutritivo, glicerol (Jalmek, México), y cloruro de calcio (Merck, Japón).

3.6 Materia prima

Para la formación del RC se utilizó semilla de chía (*S. hispanica* L.) variedad negra, originaria de Huaquechula, Puebla. Los frutos de zarzamora (*R. fruticosus* var. Tupy) que se usaron se adquirieron en un mercado local en Saltillo, Coahuila. Para la elección de los frutos se basó en sus características (tamaño, color, peso y madurez aparente) para establecer una homogeneidad en las características de los frutos considerados para realizar la prueba.

3.7 Extracción de mucílago

Para realizar la extracción del mucílago se siguió la metodología empleada por Charles-Rodríguez et al., (2020). Se preparó una suspensión de semilla de chía en una proporción 1:10 (p/v) (50 g de semilla en 500 mL de agua), esto en condiciones de agitación constante a 500 rpm durante 60 min a temperatura ambiente. Transcurrido este tiempo

la mezcla se licuó durante 10 s a una velocidad baja y posteriormente se centrifugó (Beckman Coulter, Allegra X-12R, EU) a 10,000 rpm durante 10 min a temperatura ambiente, para finalmente separar el sedimento, obteniendo así el mucilago de chía (Figura 3).



Figura 3. Extracción de mucilago de chía (*S. hispanica* L.)

3.7.1 Elaboración del recubrimiento comestible (RC) a base de mucílago de chía y su aplicación en zarzamoras

En la formulación del RC fue empleada la matriz optimizada por el grupo de investigación y reportada por Charles-Rodríguez et al. (2020). Ésta consiste en un 24% (p/v) de mucílago fresco, 0.15% (p/v) de cloruro de calcio y 0.05% (p/v) de glicerol. El RC fue preparado bajo agitación constante disolviendo todos los componentes, posteriormente a esto se incorporó el extracto a usar hasta que se consiguió un sistema totalmente homogéneo. La mezcla resultante fue colocada en un recipiente adecuado para realizar el recubrimiento de los frutos mediante el método de inmersión (Figura 4). Los frutos recubiertos fueron secados por aire forzado.



Figura 4. Elaboración del recubrimiento comestible (RC)

3.8 Vida de anaquel

3.8.1 Aplicación de recubrimiento a base de mucílago de chíá funcionalizado con extracto de *M. geometrizans* en zarzamora

La aplicación del RC fue llevada a cabo por el método de inmersión, la cual consistió en sumergir los frutos durante 10 s en la solución formadora del recubrimiento (500 mL de la matriz formadora del recubrimiento funcionalizada con 9.57 mg de extracto). Posteriormente, los frutos que fueron recubiertos se llevaron a secar a 30°C usando un horno de secado por convección (Yamato, China) durante 20 min. La distribución de los frutos se realizó usando una charola de aluminio por tratamiento (frutos con recubrimiento y control). Para el tratamiento control los frutos usados fueron sin recubrimiento (Figura 5). Como último paso se almacenaron las zarzamoras de ambos tratamientos a una temperatura de 5°C durante 15 días a 85% de humedad relativa (HR), realizando las respectivas evaluaciones de calidad postcosecha (color, firmeza, pérdida de peso, pH, entre otros) en los tiempos de 0,3,6,9,12 y 15 días.



Figura 5. Aplicación del recubrimiento (RC) en zarzamoras.

3.8.2 Pérdida de peso

Para la pérdida de peso de las zarzamoras durante el tiempo de vida de anaquel fue calculado tal como lo plantea Salas-Méndez et al. (2019) y es expresado en porcentaje (%) para ambos tratamientos (fruto con recubrimiento y control). Se calculó considerando los pesos desde el día 0 hasta el día 15 de almacenamiento, tomando el peso (g) de 3 frutos por cada muestreo. Para obtener el porcentaje total de la pérdida de peso se tomó en cuenta la diferencia entre el peso inicial (tiempo 0) y peso final (tiempo correspondiente al día de evaluación 3,6,9,12,15 días) siguiendo la ecuación:

$$Pérdida\ de\ peso\ (\%) = \frac{p_i - p_f}{p_i} * 100 \quad \text{Ec. 2}$$

donde p_i es el peso del tiempo 0 y p_f corresponde al peso del día de evaluación.

3.8.3 Firmeza

La firmeza del fruto de zarzamora fue medida según Moreno et al. (2016), usando un texturómetro digital (EXTECH, China), empleando una sonda de 3 mm. El valor para esta evaluación se basó en determinar la fuerza que se aplicó para penetrar el fruto. El

analizador de textura permite determinar el grado de madurez de la fruta (Figura 6). Se muestrearon tres frutos por tratamiento en cada tiempo de evaluación y los resultados se expresaron en Newton (N).



Figura 6. Medición de firmeza

3.8.4 pH y Acidez Titulable (AT)

Para las determinaciones de pH y AT fue necesaria la obtención del jugo de los frutos de zarzamora por cada uno de los tratamientos en cada uno de los tiempos de evaluación. Para ello, se tomaron tres frutos al azar de cada tratamiento en cada tiempo de evaluación, los cuales fueron triturados. La medición de pH fue realizada de acuerdo con Vieira et al. (2016), introduciendo el electrodo del potenciómetro (HANNA, China) en el jugo obtenido de la zarzamora. Para la determinación de AT se siguió la metodología descrita por AOAC (1997), en la que a 5 mL del jugo de zarzamora se le adicionaron 5 gotas de fenolftaleína (0.1%), para después proceder a la titulación con hidróxido de sodio (0.1 N), expresando los resultados como porcentaje de ácido málico (%) (Figura 7).



Figura 7. Medición de pH y acidez titulable

3.8.5 Análisis microbiológico

Para la cuenta total de microorganismos, se empleó agar papa dextrosa (PDA) por la técnica de vertido en placa siguiendo el método de Camacho et al. (2009), para la determinación de mesófilos aerobios totales y mohos y levaduras totales, respectivamente. Las evaluaciones se realizaron por duplicado, incubando a 30°C durante 2-5 días para la cuantificación de microorganismos mohos y levaduras totales. Para el conteo de mesófilos aerobios totales se realizó según Salas-Méndez et al. (2019), para ello se tomó 1 mL de solución madre y se vació en cajas Petri; posteriormente, se adicionó el agar conteo en placa (PCA, por sus siglas en inglés) antes de solidificar, para después realizar la mezcla de la combinación resultante y esperar la solidificación del agar. Las cajas inoculadas fueron incubadas a 30°C durante 3-4 días. Para ambas determinaciones, la cuantificación de mesófilos totales y mohos y levaduras totales se expresaron en log UFC g⁻¹. Todas las determinaciones se realizaron por duplicado.

3.8.6 Color

El color de la superficie de las zarzamoras fue determinado de acuerdo con Pérez-Gallardo et al. (2015) usando un colorímetro (Minolta, EUA). Las mediciones fueron realizadas en tres puntos distintos de cada fruto, considerando tres frutos al azar por cada tratamiento y por cada tiempo de evaluación (0,3,6,9,12,15 días) (Figura 8). Los valores

de L^* fueron considerados para luminosidad, a^* para enrojecimiento y b^* para determinar la tonalidad amarilla/azul. También fueron medidos los valores de croma (C^*) y el ángulo de tono (h°) usando las siguientes ecuaciones:

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad \text{Ec. 3}$$

$$h^\circ = \tan^{-1}(b^*/a^*) \quad \text{Ec. 4}$$



Figura 8. Medición de color.

3.9 Análisis estadísticos

Los resultados se analizaron con un análisis de varianza (ANOVA). La comparación de medias fue llevada a cabo por el método Tukey y diferencias entre los tratamientos de $p < 0.05$ se consideraron como significantes.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Etapa I. Producción y caracterización de extractos de *Myrtillocactus geometrizans*

4.1 Producción de extractos de *M. geometrizans*

En el Cuadro 5 se pueden observar los rendimientos obtenidos de los EHA y EA de los extractos obtenidos del fruto de *M. geometrizans*. El ANOVA indicó que no existe influencia del solvente (agua o mezcla etanol: agua, 1:1) en los rendimientos de los extractos obtenidos. Previamente, ha sido reportada la influencia del solvente utilizado sobre el mayor rendimiento para extractos acuosos sobre etanólicos, tales como los encontrados en extractos de hojas de *Aloe vera* de 47.4% para el extracto acuoso y 9.6% para el extracto etanólico (Flores-López et al., 2016). Estudios mencionan que la cantidad de extracción de compuestos incrementa de acuerdo con el aumento del contenido de agua, esto puede deberse a la facilidad de extracción por la solubilidad que presentan los compuestos de la muestra (Ramos et al. 2013). Por lo que el usar un solvente hidroalcohólico pudiera ser una ventaja con respecto a la cantidad de compuestos extraídos del fruto de *M. geometrizans*. Por otro lado, se ha reportado que la concentración del solvente etanólico ejerce cierto efecto sobre la extracción de compuestos polifenólicos (Adil et al., 2007), además de que la presencia del agua podría favorecer la extracción, ya que está induce el hinchamiento de la matriz, proporcionando así una superficie de contacto mayor para extraer los compuestos (Both et al., 2014). Sin embargo, en el presente estudio no se observó influencia del solvente sobre el rendimiento de recuperación en los extractos de *M. geometrizans*.

Cuadro 5. Rendimiento de extractos del fruto de *M. geometrizans*.

| extracto | Rendimiento (%) |
|----------|---------------------------|
| EA | 38.7 ± 0.050 ^a |
| EHA | 39.9 ± 0.105 ^a |

Hasta este momento son limitadas las investigaciones reportadas sobre el aprovechamiento de *M. geometrizans* fuera del consumo del fruto sin procesar. Los reportes científicos que existen hasta el momento son principalmente sobre los pigmentos rojos hidrosolubles que contiene, la caracterización del fruto, el alargamiento de la vida

postcosecha que tiene y en sus beneficios nutricionales y funcionales que aportan a la salud. Sin embargo, con este trabajo se busca la posibilidad del aprovechamiento de este fruto en distintos campos de la industria.

4.2 Caracterización de extractos de *M. geometrizans*

4.2.1 Contenido de Fenoles Totales

El efecto del solvente de extracción se observó en el CFT, ya que en el EHA se obtuvo el doble de CFT que en el EA como se puede observar en el Cuadro 6. Actualmente, la información disponible sobre extractos producidos con el fruto de garambullo es escasa; sin embargo, la información reportada de otras especies que se desarrollan en climas parecidos o que toleran las mismas condiciones climáticas puede ser utilizada como referencia. De manera general, los dos extractos de fruto de garambullo presentaron valores de CFT menores que los que han sido reportados para extractos metanólicos de *Rhus coriaria* L. (171.7 g GA kg⁻¹ de extracto) y para extractos hidroalcohólicos y acuosos de fruto de *R. microphylla* (151 y 146.8 g GA kg⁻¹ de extracto, respectivamente) (Charles-Rodríguez et al., 2020).

Cuadro 6. Conteo de fenoles totales en extractos de *M. geometrizans*.

| Extracto | CFT (g GA kg ⁻¹ de extracto) |
|----------|--|
| EA | 4.8 ± 0.1 ^b |
| EHA | 9.9 ± 0.3 ^a |

Se infiere que, en cuanto al rendimiento de extracción de compuestos fenólicos de diferentes materiales, principalmente depende de la naturaleza del compuesto extraíble, su estructura, grado de polimerización y la relación con la polaridad del solvente utilizado en la extracción, ya que no existe algún método que sea preciso para la extracción (Bochi et al., 2014). También, el obtener un bajo CFT en el EA podría deberse a la posible

presencia de otros compuestos solubles que hayan sido extraídos tales como carbohidratos solubles en lugar de compuestos fenólicos (Do et al., 2014).

4.2.2 Actividad antioxidante

El radical DPPH es empleado con la finalidad de poder valorar el potencial que tiene ante la eliminación de radicales libres por parte de los antioxidantes (Zhenbao et al., 2007). Este método fue empleado para poder determinar el potencial antirradical de los compuestos antioxidantes que contienen los extractos EA y EHA de *M. geometrizans*. La capacidad antioxidante en un extracto o fruto puede expresarse en función del porcentaje de DPPH reducido (Villanueva-Tiburcio et al., 2010). Los valores obtenidos de actividad antioxidante se presentan en CI_{50} que expresa la concentración requerida por compuestos para así provocar la inhibición de la oxidación en un 50%; teniendo así que, los valores bajos indican un mayor potencial antioxidante. Por lo tanto, el EHA presentó una significativa mayor actividad antioxidante en comparación con el EA como se observa en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Actividad antioxidante de extractos de *M. geometrizans*.

| Extracto | CI_{50} (mg mL ⁻¹) |
|----------|----------------------------------|
| EA | 22.7 ± 0.3 ^a |
| EHA | 5.6 ± 0.5 ^b |

La propiedad antioxidante es una de las de mayor interés de las fitomoléculas (Kayodé et al., 2012), ya que ésta es capaz de proteger al cuerpo humano contra daños que puedan ser provocados por radicales libres que puedan atacar a macromoléculas como los lípidos de membrana, proteínas e inclusive el ADN, llevándonos a trastornos en la salud como pudieran ser el cáncer, diabetes, envejecimiento o enfermedades neurodegenerativas (Nava, 2010).

Por otra parte, con esta investigación se comprobó el potencial antioxidante que tienen ambos extractos (EHA y EA), destacando el EHA de *M. geometrizans*, por lo cual se

consideró para la funcionalización de RC y estudiar su efecto en la vida de anaquel de zarzamoras en la Etapa II de la investigación.

Etapa II. Efecto de recubrimientos a base de mucilago de chíá funcionalizados con extractos de *Myrtillocactus geometrizans* en la vida de anaquel de zarzamora

4.3 Vida de anaquel

4.3.1 Pérdida de peso

La pérdida de peso es considerada un índice de calidad usado ampliamente en la postcosecha de frutas. En la Figura 9 se muestra el efecto que se tuvo durante el período de almacenamiento y del tratamiento sobre la pérdida de peso que tuvieron los frutos de zarzamora. El RC funcionalizado con EHA de *M. geometrizans* (R+G) tuvo una pérdida de peso del 6.74% cada tres días, mientras que el fruto control (frutos sin recubrir) presentó una significativa pérdida de peso mayor del 8.62% cada tres días. Esto significa que, el recubrimiento ayudo reduciendo la transpiración del fruto y consecuente a esto proporcionó una barrera a la pérdida de peso.

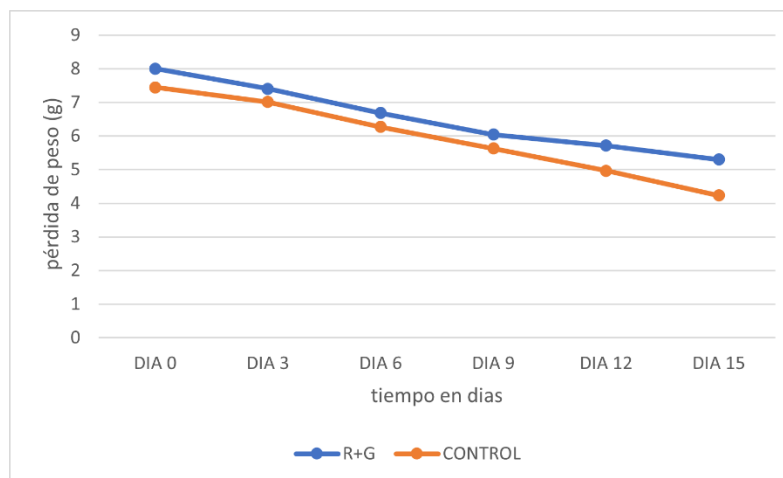


Figura 9. Efecto del recubrimiento aplicado en la pérdida de peso en zarzamoras recubiertas R+G y sin recubrir (Control) almacenadas a 5°C/85% HR por 15 días.

Un comportamiento similar fue reportado por Olivas et al. (2007) en recubrimientos con alginato de calcio en rodajas de manzana, donde las muestras sin recubrimiento tuvieron pérdidas de un 20%, mientras que las manzanas con recubrimiento tuvieron pérdidas solo del 7%. También, Sogvar et al. (2016) encontraron pérdidas de un 7% de peso en fresas recubiertas con *A. vera*, durante un tiempo de almacenamiento refrigerado de 9 días.

La pérdida de peso corresponde a la eliminación de agua causada por los procesos de transpiración y respiración de los alimentos (Bautista et al. 2003). Estas cubiertas proporcionan una barrera que sirve como protección que reduce la deshidratación de los frutos durante su almacenamiento, aminorando así la pérdida de peso en los frutos (Baldwin et al., 2005). La pérdida fisiológica de peso de los frutos está asociada principalmente, con la transpiración y es propia de cada alimento, la velocidad de la pérdida de agua es dependiente del gradiente de presión que existe entre el tejido de la fruta, la atmósfera circundante y la temperatura de almacenamiento que tiene. Las diferencias de presión baja de vapor entre la fruta y el ambiente externo y la temperatura de refrigeración son las condiciones que son más recomendables para el almacenamiento de las frutas (Hernández-Muñoz et al. 2008).

De acuerdo a los resultados obtenidos, se confirma el efecto favorable del R+G, pues disminuyó la pérdida de peso en los frutos, confirmando el efecto barrera del RC contra la pérdida de humedad.

4.3.2 Firmeza

La firmeza entre ambos tratamientos disminuyó en función del tiempo de almacenamiento como se muestra en la Figura 10. Este efecto es debido a la pérdida de agua y su consecuente pérdida de peso (Yousuf et al., 2021).

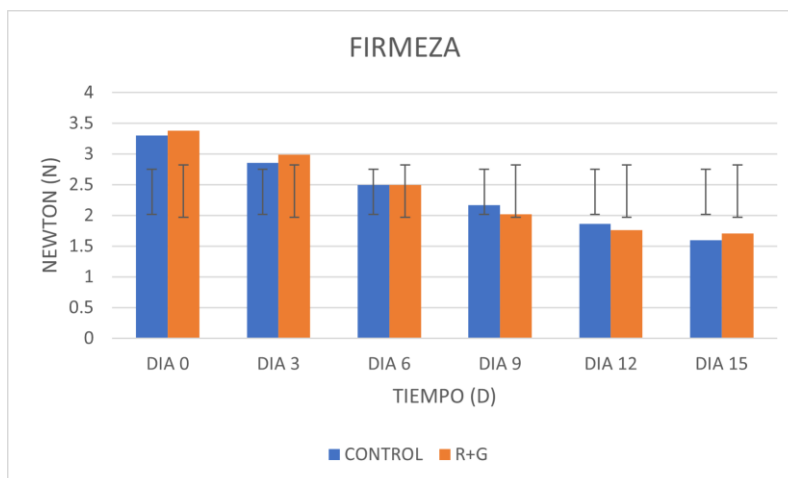


Figura 10. Efecto del recubrimiento de mucilago de chía funcionalizado con extracto de *M. geometrizans* en la firmeza de frutos de zarzamora recubiertos y sin recubrir almacenados a 5°C/85% HR por 15 días.

El fruto recubierto presentó una disminución de firmeza de 9.86% cada tres días, mientras que el fruto control (sin recubrir) presentó una disminución de 10.32% cada tres días. En general, el fruto recubierto presentó una mayor pérdida de firmeza en el día 9, para posteriormente mantenerse casi similar su firmeza durante los días 12 y 15, mientras que los frutos sin recubrir se mantuvieron perdiendo firmeza desde el día 0 sin alguna estabilidad. El comportamiento que se observó en los frutos está relacionado con la formación de una barrera superficial en el fruto que fue generada por el recubrimiento, modificando así la composición gaseosa interna, lo cual ayuda a la disminución de la tasa de respiración (Pérez et al. 2011) y la degradación de los compuestos de la pared celular (Zapata et al., 2007).

La textura es un atributo físico que es relacionado de manera directa con la firmeza del alimento, aspecto crítico que se tiene en la calidad de las frutas y hortalizas frescas y se manifiesta en la aceptabilidad del consumidor final (Hernández-Muñoz et al. 2008).

El ablandamiento es debido a la degradación que se tiene en los componentes de la pared celular, principalmente pectinas, por acción de enzimas como la pectinesterasa y

la poligalacturonasa, esto también puede facilitar la pérdida de agua de los tejidos (Del Valle et al. 2005).

Los resultados observados indican que frutos como la zarzamora o con características similares pueden requerir de un RC que tengan una buena resistencia o barrera a la humedad para que ésta no pueda afectar al fruto y lo lleve a la descomposición en menor tiempo y tengan una mejor vida de anaquel.

4.3.3 pH y acidez titulable (AT)

Los resultados de pH y AT se muestran en el Cuadro 8. Se observó que el nivel de pH en ambos tratamientos (con recubrimiento y sin recubrimiento) tuvieron un comportamiento similar conforme avanzaban los días de almacenamiento. Este comportamiento puede deberse a que la composición del recubrimiento fue la adecuada para aminorar la actividad respiratoria y así poder evitar la pérdida en cuanto al contenido de ácidos (Basaglia et al. 2021).

El incremento en el pH de las muestras puede asociarse al consumo o rompimiento de ácidos orgánicos que se presenta durante el almacenamiento del alimento, los cuales son empleados durante la respiración o algún otro proceso metabólico. Comportamiento similar fue registrado en estudios de recubrimientos en fresa (Sogvar et al. 2016) y en tomate (Athmaselvi et al. 2013).

Cuadro 8. Efecto del recubrimiento de mucilago de chíá con extracto hidroalcohólico (EHA) de *M. geometrizans* (RC+G) en pH y acidez titulable de zarzamoras recubiertas y sin recubrir almacenadas a 5°C/85% HR por 15 días.

| Variable | Tratamiento | Tiempo de almacenamiento (d) | | | | | |
|----------|-------------|------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | | 0 | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 |
| pH | Control | 3.7(0.0) ^a | 3.7(0.0) ^b | 3.8(0.0) ^a | 3.7(0.0) ^b | 3.8(0.0) ^b | 3.8(0.0) ^b |
| | R+G | 3.6(0.0) ^a | 3.7(0.0) ^a | 3.7(0.0) ^b | 3.8(0.0) ^a | 3.8(0.0) ^b | 3.8(0.0) ^a |
| AT (%) | Control | 5.05(0.2) ^a | 5.5(0.9) ^a | 5.9(0.4) ^a | 5.9(0.4) ^b | 6.8(0.1) ^a | 6.2(0.4) ^b |
| | R+G | 4.8(0.9) ^a | 5.3(0.9) ^a | 5.6(0.9) ^a | 6.2(0.9) ^a | 7.4(0.3) ^a | 7.7(0.4) ^a |

En cuanto a los valores de acidez bajos obtenidos en ambos tratamientos y en los diferentes tiempos de almacenamiento, pueden ser por consecuencia del estado de madurez más avanzado que presentaron los frutos (Horvitz et al., 2017).

La disminución de la acidez es debido a la actividad metabólica que tienen las frutas durante el periodo de maduración, ya que en estas condiciones son originadas actividades enzimáticas que establecen una red complicada de cambios metabólicos que se transportan y acoplan, originando así que los ácidos orgánicos de reserva que tienen las frutas sean convertidos en azúcares, y serán consumidos durante la respiración celular (Baeza et al., 2007).

La variación de estas características depende de su madurez, de las condiciones freáticas del cultivo y de las prácticas agrícolas (Carvalho & Betancour, 2015).

4.3.4 Análisis microbiológico

En la Figura 11 se muestran los resultados del conteo de mohos y levaduras. El conteo de mesófilos aerobios para ambos tratamientos se mantuvo en un crecimiento constante durante el periodo de almacenamiento de los frutos. La aplicación del recubrimiento en zarzamoras no presentó diferencia significativa entre tratamientos; sin embargo, los frutos recubiertos tuvieron un crecimiento menor a los frutos sin recubrir en los últimos días de la prueba (día 9-15). Este comportamiento puede asociarse a la alta susceptibilidad del fruto al ataque de microorganismos y esto se atribuye a la composición de la piel que tiene el fruto, ya que ésta al ser frágil no le representa protección alguna, además como Panahirad et al. (2021) afirman, también puede asociarse el elevado contenido de agua que tiene con el impacto en las propiedades de la calidad de los frutos. Por otra parte, Pinto et al. (2020) señalan al tipo de superficie del fruto como un factor de importancia que tiene un efecto sobre el desarrollo de microorganismos.

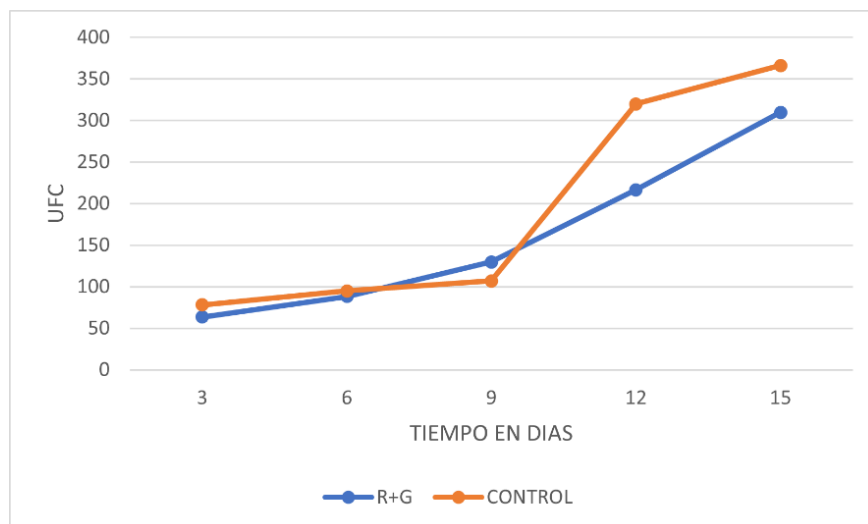


Figura 11. Efecto del recubrimiento de mucílago de chíá funcionalizado con extracto de *M. geometrizans* en mohos y levaduras totales de frutos de zarzamora recubiertos y sin recubrir almacenados a 5°C/85% HR por 15 días.

4.3.5 Color

El color es el criterio principal utilizado para saber si un fruto está maduro y listo para su consumo. Durante el proceso de maduración los frutos tienen cambios de color debido a la degradación que tiene la clorofila y la síntesis de pigmentos (Figuerola et al., 2011; Centurión et al., 2008).

Los valores determinados en esta prueba con respecto a las propiedades cromáticas (L^* , a^* , C^* y h°) se muestran en la Figura 12. Para los valores de L^* (luminosidad) en el fruto recubierto se mantuvo en constante aumento desde el día 0 hasta el día 9 de almacenamiento y para los días 9 hasta día 15 fue disminuyendo su valor manteniéndose casi similares durante esos días, esto indica que el fruto fue oscureciéndose a partir del día 9 en adelante. Para los valores a^* y C^* (enrojecimiento y croma, respectivamente) se presentaron diferencias significativas entre ambos tratamientos durante los 15 días de prueba. En cuanto al valor de h° (ángulo de tono) los valores de ambos frutos (recubierto y sin recubrir) fueron casi similares durante los primeros 12 días de almacenamiento y a partir del día 12 al día 15 el tratamiento control disminuyó su valor significativamente.

La disminución que se obtuvo en los valores de L^* en los últimos días de prueba, como señalan Khodaei et al. (2012), puede ser derivado del desarrollo de mohos presentados en la superficie, ya que, como se iba acercando el período final de la prueba, la contaminación en el fruto iba aumentando. Estos resultados de igual manera indican una disminución en el nivel de oscurecimiento del fruto, como afirman Guerreiro et al. (2016).

El h° cambió mínimamente, mostrando solo en un muestreo diferencias significativas (día 12-15). Horvitz et al. (2017) reportaron un comportamiento parecido en frutos de zarzamora (*R. glaucus* Benth) irradiados y no irradiados sin ser recubiertos usando condiciones de almacenamiento en frío; sin embargo, los autores no pudieron observar diferencias que fueran significativas durante el tiempo de almacenamiento. De manera general, el valor reportado para h° fue disminuyendo durante el tiempo de almacenamiento, correspondiendo así a lo reportado por Pérez-Gallardo et al. (2015) en frutos de zarzamora recubiertos con almidón de tapioca oxidado agregado con diferentes concentraciones de micropartículas de cera de abejas, y los autores afirmaron que este cambio fue con relación a la aparición de un color rojizo en los frutos.

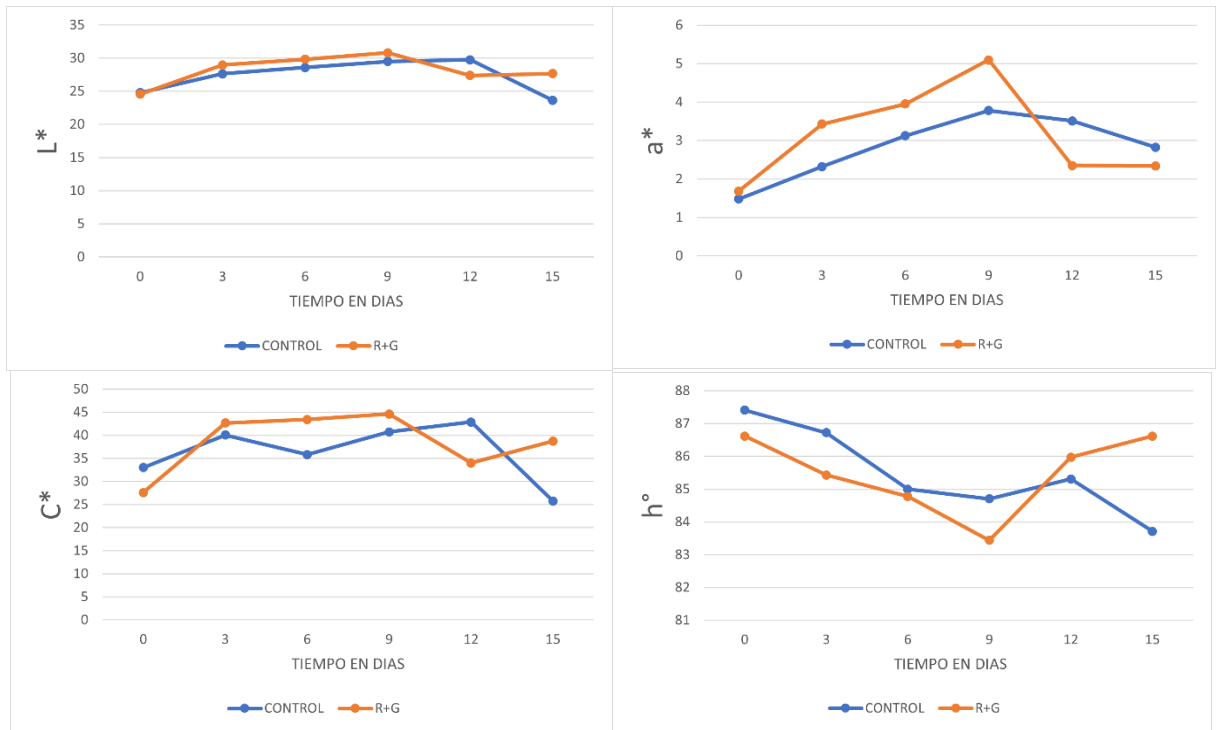


Figura 12. Efecto del recubrimiento de mucilago de chíá funcionalizado con extracto de *M. geometrizans* en parámetros de color en frutos de zarzamora recubiertos y sin recubrir almacenados por a 5°C/85% HR por 15 días.

El efecto que aportó el RC+G a los frutos de zarzamorras fue perceptible en los valores determinados. Debido a que los RC aplicados en frutas pueden crear un tipo de atmosfera modificada entre el RC y la superficie de éstas y así poder evitar la degradación que pueda tener la clorofila debido a la ausencia de CO₂ en la atmosfera de almacenamiento (Maftoonazad y Ramaswamy, 2005), además, fue posible observar el efecto del recubrimiento sobre la calidad de los frutos a través del almacenamiento (Figura 13).

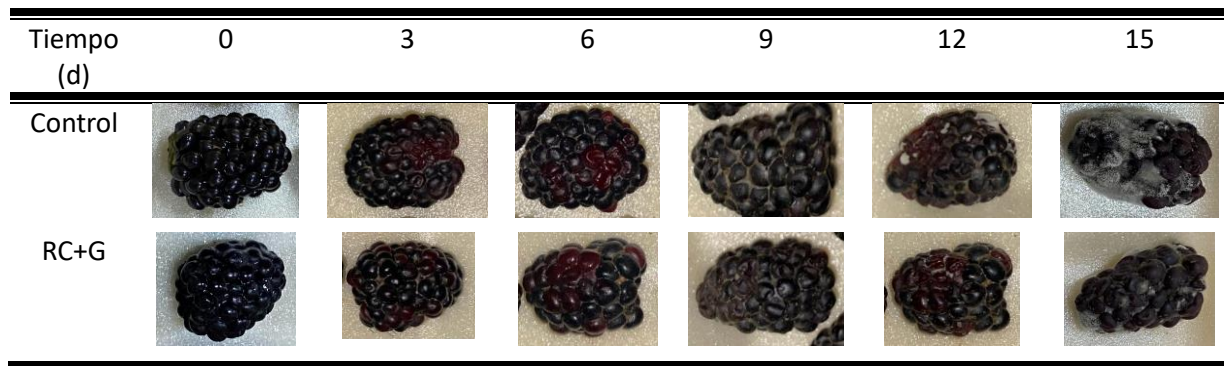


Figura 13. Efecto que tiene el recubrimiento de mucilago de chíá funcionalizado con extracto hidroalcohólico (HAE) de *M. geometrizans* (RC+G) en la calidad de frutos de zarzamora recubiertos y sin recubrir almacenados durante a 5°C/85% HR por 15 días.

La aplicación del RC elaborado a base de chíá funcionalizado con extracto hidroalcohólico (HAE) de *M. geometrizans* tuvo un efecto positivo en algunos de los parámetros evaluados de la calidad postcosecha del fruto de zarzamora. El RC+G se destacó en la pérdida de peso, observándose el efecto barrera que tiene ante la pérdida de humedad, ayudó también disminuyendo la pérdida de color en los frutos durante el periodo de prueba (15 días). Por otro lado, se detectó un menor impacto en cuanto a firmeza, pH y AT. También, la calidad del fruto se vio mejorada ya que aportó brillo y ayudó como barrera ante la contaminación por mohos y levaduras.

Con los resultados de esta investigación se presenta una visión de la importancia y alcance que puede tener el uso de nuevas tecnologías en las zarzamoras, ya que este es un fruto de gran importancia comercial para México. Es necesario realizar investigaciones para tener mayor conocimiento sobre los aportes benéficos que aporta la matriz formadora del RC para poder potencializar su impacto ante los efectos de la calidad postcosecha de los frutos.

5 CONCLUSIONES

- Se obtuvieron extractos acuosos (EA) e hidroalcohólico (EHA) del fruto de *M. geometrizans*, los cuales, de acuerdo al solvente usado en el proceso de extracción, mostraron variabilidad en cuanto al rendimiento, composición y bioactividad.
- El extracto hidroalcohólico (EHA) se seleccionó para su incorporación en recubrimientos comestibles (RC+G), ya que presentó mayor contenido de fenoles totales y mayor actividad antioxidante.
- Se comprobó el nivel de efectividad que tiene el recubrimiento a base de mucilago de chíá funcionalizado con extracto hidroalcohólico de *M. geometrizans* como barrera ante la pérdida de peso y retención de color en frutos de zarzamora.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Kersey-Maldonado, P. J. (2022). Análisis para la planeación estratégica de la producción de berries en México mediante la implementación de Business Intelligence.

Basu, A., Rhone, M., & Lyons, T. J. (2010). Bayas: impacto emergente en la salud cardiovascular. *Revisión de nutrición*, 68(3), 168-177.

Guadalupe Arriaga-López, F., Merced Castro-Valencia, A., & Macías-Martínez, R. (2023). ANÁLISIS DE LA CONTRIBUCIÓN ECONÓMICA DE LA PRODUCCIÓN DE BERRIES EN LA REGIÓN ALTOS SUR DEL ESTADO DE JALISCO, MÉXICO. *Ra Ximhai*, 19(1).

Aguilar-Duran, J. A., García León, I., & Quiroz Velásquez, J. D. C. (2020). Alargamiento de la vida de anaquel de las frutas por el uso de biopelículas. *Revista Boliviana de Química*, 37(1), 40-45

Rodríguez, L. B. D., & de Hernández, R. M. A. (2021). Tecnologías postcosecha para promover la vida de anaquel de frutos pequeños. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 22(1).

Camacho, J. E. M., González, R. G. G., Velázquez, R. V. O., García, E. R. R., & Pacheco, I. T. (2021). Efecto de tratamientos poscosecha con quitosano y ácido salicílico sobre la vida de anaquel, calidad y actividad enzimática de la zarzamora. *Perspectivas de la Ciencia y la Tecnología*, 4(7), 21-30.

Rojano, B. A. (1997). Oxidación de lípidos y antioxidantes. *Escuela de Química*.

López-Palestina, C. U., Aguirre-Mancilla, C. L., Ramírez-Pimentel, J. G., Raya-Pérez, J. R., Santiago-Saenz, Y. O., Gutiérrez-Tlahque, J., & Hernández-Fuentes, A. (2019). Compuestos bioactivos y actividad antioxidante en tres estados de madurez de *Myrtillocactus geometrizans* provenientes del Valle del Mezquital, Hidalgo. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 4, 317-322.

Monti Clavijo, C. M. (2021). *Aplicación de un método para cuantificar la pérdida de alimentos en pequeños productores de berries y hortalizas en la región del Maule* (Doctoral dissertation, Universidad de Talca (Chile). Escuela de Agronomía.).

González, F., Rebollar, S., Hernández, J., Morales, J., & Ramírez, O. (2019). Situación actual y perspectivas de la producción de berries en México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 44(1345-2019-3240), 260-272.

Alcántara, N. E. O., para la Sustentabilidad, P. U., & Bushbeck, J. C. O. El sabor de la demanda de las 'berries' y los costos socioambientales de los agronegocios.

Yahía, E. (2017). Manejo y Tecnologías Post-cosecha de los Berries. *En Diplomado Internacional en el Cultivo de Berries. Intagri. México. (accessed Aug 10, 2019).*

SADER. (2019). La zarzamora, cada día más mexicana. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Recuperado de <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/la-zarzamora-cada-dia-mas-mexicana>

García Álvarez, B. (2018). Estabilidad de la actividad antioxidante y del color de una bebida de jengibre-zarzamora.

Fernández Valdés, D., Bautista Baños, S., Fernández Valdés, D., Ocampo Ramírez, A., García Pereira, A., & Falcón Rodríguez, A. (2015). Películas y recubrimientos comestibles: una alternativa favorable en la conservación poscosecha de frutas y hortalizas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(3), 52-57.

Moncayo Martínez, D. C. (2013). *Desarrollo de un recubrimiento comestible a partir de un biopolímero para prolongar la vida útil de frutas frescas* (Doctoral dissertation).

Salas-Méndez, E. de J., Vicente, A., Pinheiro, A. C., Ballesteros, L. F., Silva, P., Rodríguez-García, R., ... & Jasso de Rodríguez, D. (2019). Application of edible nanolaminate coatings with antimicrobial extract of *Flourensia cernua* to extend the shelf-life of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Postharvest biology and technology*, 150, 19-27.

Guía-García, J. L., Charles-Rodríguez, A. V., Silva, P., Robledo-Olivo, A., Cerqueira, M. A., & Flores-López, M. L. (2023). Electrospayed hydroxypropyl methylcellulose microcapsules containing *Rhus microphylla* fruit extracts and their application in strawberry (*Fragaria* × *ananassa*) preservation. *LWT*, 184, 115048.

Vázquez, R. R., Hernández, M. G. H., & Maldonado, S. H. G. REFORESTACIÓN CON GARAMBULLO (*Myrtillocactus geometrizans*) EN LA COMUNIDAD DEL GARABATILLO, DOLORES HIDALGO, GTO. In *IV Congreso Internacional y XV Congreso Nacional sobre Recursos Bióticos de Zonas Áridas* (p. 24).

Anacleto, G. C. (2015). Diaporama: Origen y propagación de Zarzamora (*Rubus idaeus* L.)(31 Diapositivas).

Zavala, G. C. (2006). Producción forzada de Zarzamora en Mexico. *III Simpósio nacional do morango II Encontro sobre pequenas frutas e Frutas nativas do Mercosul*, 67.

Torres, A. I. Z., Figueroa, I. B., & Leyva, R. A. M. (2023). La producción de la zarzamora en México: un análisis de rentabilidad y ventaja comparativa. *Inquietud Empresarial*, 23(1), e15333-e15333.

Valencia Sullca, C. E., & Guevara Pérez, A. (2013). Variación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos durante el procesamiento del néctar de zarzamora (*Rubus fruticosus* L.). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 79(2), 116-125.

Montoya-Jasso, V. M., Arreola-Tostado, J. M., Castillo-Valdez, X., & Báez-Pérez, A. (2023). FERTILIZACIÓN DE BASE ORGÁNICA EN LA PRODUCCIÓN DE ZARZAMORA (*Rubus fruticosus* L.): EFECTO EN VARIABLES DE RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRUTO. *Suelos Ecuatoriales*, 53(1y2), 12-17.

González López, L. K., & Olivares Ortiz, L. E. ANÁLISIS DE LA OFERTA Y DEMANDA DE ZARZAMORA EN TOKYO, JAPÓN COMO PROYECTO MEXICANO DE EXPORTACIÓN.

Hernández, B., & Darney, I. (2013). *Microencapsulación de jugo de zarzamora (Rubus fruticosus) mediante secado por aspersion* (Doctoral dissertation).

FERNÁNDEZ, N., Echeverría, D. C., Mosquera, S. A., & 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.

Quintero, C. J., Falguera, V., & Muñoz, H. A. (2010). Películas y recubrimientos comestibles: importancia y tendencias recientes en la cadena hortofrutícola. *Tumbaga*, 1(5), 93-118.

Ruelas-Chacón, X., Reyes-Vega, M. D., Valdivia-Urdiales, B., Contreras-Esquivel, J. C., Montañez-Saenz, J. C., Aguilera-Carbó, A. F., & Peralta-Rodríguez, R. D. (2013). Conservación de frutas y hortalizas frescas y mínimamente procesadas con recubrimientos comestibles. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*, 5(9), 31-37.

Rojas Bravo, M. (2018). *Recubrimientos comestibles de almidón con cáscara de mango manila (Mangifera indica L. variedad manila) adicionados a rodajas de manzana (Malus domestica)* (Bachelor's thesis, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla).

Osorio Chuquitarco, N. M., & Yáñez Ponce, M. E. (2018). *Obtención de un recubrimiento comestible a base de Mucílago de Nopal (opuntia spp.) y Aceite Esencial de Romero (rosmarinus officinalis)* (Bachelor's thesis, Ecuador, Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)).

JAZMIN, A. C. J. (2021). *EFEECTO DE UN RECUBRIMIENTO COMESTIBLE A BASE DE MUCÍLAGO DE CHÍA Y ÁCIDOS ORGÁNICOS PARA ALARGAR LA VIDA ÚTIL EN FRUTILLA (Fragaria vesca)* (Doctoral dissertation, UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR).

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* (Master's thesis).

De Ancos, B., González-Peña, D., Colina-Coca, C., & Sánchez-Moreno, C. (2015). Uso de películas/recubrimientos comestibles en los productos de iv yv gama. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 16(1), 8-17.

Vázquez-Briones, M. C., & Guerrero-Beltrán, J. A. (2013). Recubrimientos de frutas con biopelículas. *Temas selectos de Ingeniería de Alimentos*, 7(2), 5-14.

Sanjuan-Trejo, G., Mejía-Segovia, D. M., & Moreno, C. E. (2021). Ensamblajes de artrópodos asociados a los frutos de garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*) en dos localidades del valle del Mezquital, Hidalgo, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 92.

López-Palestina, C. U., Aguirre-Mancilla, C. L., Raya-Pérez, J. C., Ramírez-Pimentel, J. G., Gutiérrez-Tlahque, J., & Hernández-Fuentes, A. D. (2018). The effect of an edible coating with tomato oily extract on the physicochemical and antioxidant properties of garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*) fruits. *Agronomy*, 8(11), 248.

Vieira, J. M., Flores-López, M. L., de Rodríguez, D. J., Sousa, M. C., Vicente, A. A., & Martins, J. T. (2016). Effect of chitosan–Aloe vera coating on postharvest quality of blueberry (*Vaccinium corymbosum*) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 116, 88-97.

García-Cruz, L., Salinas-Moreno, Y., & Valle-Guadarrama, S. (2012). Betalainas, compuestos fenólicos y actividad antioxidante en pitaya de mayo (*Stenocereus griseus* H.). *Revista fitotecnia mexicana*, 35(SPE5), 01-05.

Cano, Y. Y. M. (2023). Evaluación del efecto antiproliferativo y antioxidante del extracto de la fermentación del garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*) sobre células de cáncer de colon humano SW480.

Ugalde-Medellín, J. A., Guzmán-Ceferino, J., & López-López, L. I. Actividad Antioxidante de Extractos de Fruto de Garambullo Relacionado con su Contenido de Betalainas. *Aportaciones a las Ciencias Alimentarias*, 195.

Estrada Mesa, E. M., Padilla Reyes, F., & Márquez Cardozo, C. J. (2015). Efecto de recubrimientos protectores sobre la calidad del mango (*Mangifera indica* L.) en poscosecha. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 18(1), 181-188.

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 UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 22(2).

Baeza r. 2007. Comparison of technologies to control the physiological, biochemical and nutritional changes of fresh cut fruit. Master Work. College of Agriculture. Food Science Graduate Program. Manhattan, Kansas.

ACHIPIZ, S., CASTILLO, A. E., MOSQUERA, S. A., HOYOS, J. L., & NAVIA, D. P. (2013). Efecto de recubrimiento a base de almidón sobre la maduración de la guayaba (*Psidium guajava*). *Bioteología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 11(SPE), 92-100.

Cortés-Rodríguez, M., Alegría Macías, R., Cardona Velásquez, L., & Arango Tobón, J. C. (2019). Influencia de un recubrimiento comestible adicionado con calcio sobre la calidad de la mora de Castilla. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 22(1).

de Lorena Ramos-García, M., Romero-Bastida, C., & Bautista-Baños, S. (2018). Almidón modificado: Propiedades y usos como recubrimientos comestibles para la conservación de frutas y hortalizas frescas. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 19(1).

Figueroa, J., Salcedo, J., Aguas, Y., Olivero, R., & Narvaez, G. (2011). Recubrimientos comestibles en la conservación del mango y aguacate, y perspectiva, al uso del propóleo en su formulación. *Revista Colombiana de Ciencia Animal-RECIA*, 3(2), 386-400.