

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



Evaluación antimicrobiana y antioxidante de compuestos químicos presentes en *Myrtillocactus geometrizans* (garambullo) y su aplicación en un recubrimiento comestible sobre zarzamora

Por:

TANIA PADIERNA ARAIZA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Mayo, 2021

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

**Evaluación antimicrobiana y antioxidante de compuestos químicos presentes en
Myrtillocactus geometrizans (garambullo) y su aplicación en un recubrimiento
comestible sobre zarzamora**

Por:

TANIA PADIERNA ARAIZA

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

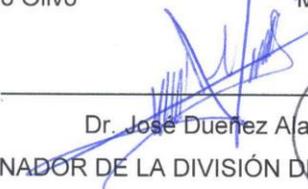
Dra. María Lilitiana Flores López

Asesor

Dr. Armando Robledo Olivo

Asesor

M.C. Jorge Luis Guía García


Dr. José Duñez Alanís

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

Saltillo, Coahuila, México

Mayo 2021



MANIFIESTO DE HONESTIDAD ACADÉMICA

La suscrita **Tania Padierna Araiza** alumna de la carrera Ingeniero en Ciencia y Tecnología de Alimentos con matrícula 41154709 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 los otros autores y utilizadas en la presente tesis han sido debidamente citadas reconociendo la autoría de la fuente original.

3.- Toda 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 ninguno de ellos.

5.- Entiendo que la función y alcance de mi comité de asesoría está circunscrito a la orientación de guía respecto a la metodología de la investigación realizada para la presente tesis, así como del análisis e interpretación de mis resultados obtenidos, y por lo tanto eximo de toda responsabilidad relacionada al plagio académico a mi comité de asesoría y acepto que cualquier responsabilidad respecto es únicamente mía.

Atentamente



Tania Padierna Araiza

Tesista

AGRADECIMIENTOS

Externo mi agradecimiento principalmente a **Dios**, pues ha sido gracias a él que la luz en mi camino jamás ha desaparecido pese a las circunstancias que pudieran visitarme; sin él mis fuerzas no hubieran sido renovadas cada día cursado en esta noble Institución, simplemente no tengo palabras que puedan expresar cuán agradecida estoy con él.

A mi **ALMA MATER** por abrirme las puertas y marcar mi vida, llenándome de experiencias, oportunidades, pero sobre todo de aprendizajes, que me ha dejado claro que por los sueños se lucha y se persevera.

A mi **familia**, pues son grandes pilares que sostienen mi vida y fuertes motores que hacen andar mis sueños; personas que soportan esos fuertes dramas que puedo llegar a tener, pero también son quienes siempre han estado dispuestos a levantarme, sostenerme y no soltarme.

A mi hermana **Sandra**, quien, sin importar la hora del día, siempre ha estado pendiente en todos los sentidos de mí, su apoyo emocional y económico fueron factores importantes para culminar esta etapa de mi vida; ¡gracias por negociar conmigo este sueño!

A mi tutora favorita **Juana Yanira Yaber**, gracias por apoyarme durante y posterior a esta etapa, por los consejos y tiempo, por la disposición y por poner un granito de arena para mi formación tanto estudiantil como personal, me llevo bastante de ella.

A la **Dra. Ana Verónica Charles Rodríguez**, por contribuir al logro de mis metas, por la motivación que inspiraba el trabajar con ella, por su paciencia, tiempo, organización y dedicación, por guiarme; sin duda, el trabajar con ella me retroalimentó en diferentes áreas, no sólo en la académica.

A la **Dra. María Liliana Flores López**, por la motivación, inspiración, dedicación, paciencia y disponibilidad para el logro y progreso de este trabajo. Una gran experiencia el haber colaborado con ella en este trabajo.

Al **M.C. Jorge Luis Guía García**, gracias por las asesorías y apoyo en la aclaración de mis dudas, así como en la realización de algunas técnicas.

A **Juana Vaca Rodríguez**, una gran amiga, que pese a la distancia siempre me ha aconsejado. Muchas gracias por estar siempre ahí para mí.

A **Josué Esaú Cruz Espinosa** y **Melesio de León Pérez**, quien diría que serían mis mejores amigos. Gracias por la alegría, la paciencia, el respeto y la empatía.

DEDICATORIA

A mi madre **Alicia Araiza Torres**, por dejarme volar lejos de su regazo y darme la libertad de forjar mi propio camino, me hace sentir afortunada, pues sé que muchas personas, especialmente mujeres por raro que parezca en pleno siglo XXI no han tenido esta elección.

A mi hermano **J. Enrique Padierna Araiza**, quien ha sido una fuente de inspiración y motivación para aventurarme en este trayecto; gracias por apoyar este sueño desde antes de partir.

A mi hermana **Sandra del Rosario Padierna Araiza**, por motivarme e impulsarme al alcance de mis sueños; por respetar y acompañarme en mis decisiones, aun cuando en el fondo de su corazón desearía algo diferente para mi destino; éste logro no es mío, es de toda mi familia, pero especialmente de ella por todo lo que hemos compartido de cerca estando tan lejos.

A mi **familia**, por siempre estar ahí apoyándome y guiándome, para que logre tener un mejor futuro, por esos regaños que han contribuido a construir mi identidad.

Sin lugar a duda tengo una deuda con todos ellos, pero espero compartan mi entusiasmo al traerles como fruto la realización de este trabajo, que no compensa mi ausencia, sin embargo, trae a mi vida felicidad y sé que ellos son felices si yo lo soy
¡gracias por tanto!

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	I
DEDICATORIA	III
ÍNDICE GENERAL	IV
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
ÍNDICE DE CUADROS	VII
RESUMEN	1
ABSTRACT	3
1. INTRODUCCIÓN	5
1.1. Antecedentes	5
1.2. Justificación	9
1.3. Hipótesis	11
1.4. Objetivo general	11
1.5. Objetivos específicos	11
2. REVISIÓN DE LITERATURA	12
2.1. Generalidades	12
2.2. Zarzamora	13
2.2.1. Origen y producción	13
2.2.2. Composición química	15
2.2.3. Técnicas alternativas	17
2.3. Recubrimientos comestibles	19
2.3.1. Generalidades	19
2.3.2. Clasificación de recubrimientos comestibles	21
2.3.3. Recubrimientos comestibles como vehículos de compuestos bioactivos	23
2.4. <i>Myrtillocactus geometrizans</i> (garambullo)	24
2.4.1. Generalidades	24
2.4.2. Composición química	28
3. MATERIALES Y MÉTODOS	29
Etapa 1. Producción y caracterización de extractos de <i>Myrtillocactus geometrizans</i>	29
3.1. Reactivos.	29
3.2. Materia prima	29
3.3. Caracterización de la materia prima	30
3.3.1. Fenoles totales	30
3.3.2. Azúcares totales	31
3.3.3. Azúcares reductores	31
3.3.4. Caracterización bromatológica	31
3.4. Producción de extractos de <i>M. geometrizans</i>	32
3.5. Caracterización de extractos de <i>M. geometrizans</i>	32
3.5.1. Fenoles totales	32
3.5.2. Actividad antioxidante	33
3.5.3. Perfil fenólico por el método de UHPLC	33
3.6. Actividad antifúngica	34
3.6.1. Concentración mínima inhibitoria	35
3.6.2. Elección del extracto para funcionalizar el recubrimiento	35
Etapa II. Desarrollo de recubrimientos funcionales a base de mucílago de chía y evaluación de su efecto en la vida de anaquel de zarzamora	36
3.7. Materia prima	36

3.8. Extracción de mucílago	36
3.8.1. Elaboración del recubrimiento comestible (RC) a base de mucílago de chía y aplicación en zarzamoras	37
3.9. Vida de anaquel	37
3.9.1. Aplicación de recubrimiento a base de mucílago de chía funcionalizado con extracto de <i>M. geometrizans</i> en zarzamora	37
3.9.2. Pérdida de peso	39
3.9.3. Firmeza	40
3.9.4. Sólidos solubles totales (SST), pH y acidez titulable (AT)	40
3.9.5. Análisis microbiológico	41
3.9.6. Color	42
3.10. Análisis estadístico	42
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
Etapla I. Producción y caracterización de extractos de <i>M. geometrizans</i>	43
4.1. Caracterización de la materia prima	43
4.2. Producción de extractos de <i>M. geometrizans</i>	45
4.3. Caracterización de extractos de <i>M. geometrizans</i>	47
4.3.1. Fenoles totales	47
4.3.2. Actividad antioxidante	48
4.3.3. Perfil fenólico por UHPLC	48
4.4. Actividad antifúngica	50
4.4.1. Concentración mínima inhibitoria	51
Etapla II. Desarrollo de recubrimientos funcionales a base de mucílago de chía y evaluación de su efecto en la vida de anaquel de zarzamora	53
4.5. Vida de anaquel	53
4.5.1. Pérdida de peso	53
4.5.2. Firmeza	54
4.5.3. Sólidos solubles totales (SST), pH y acidez titulable (AT)	55
4.5.4. Análisis microbiológico	57
4.5.5. Color	59
5. CONCLUSIONES	63
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Algunos tipos de berries	5
Figura 2. Representación esquemática de los principales métodos de aplicación de recubrimiento comestible (RC) para frutas y verduras: inmersión (A), cepillado (B), y por pulverización (C)	20
Figura 3. Hábitat y recolección del fruto de <i>M. geometrizans</i> (garambullo)	26
Figura 4. Preparación de la materia prima: A) Almacenamiento de frutos secos; B) Molienda de frutos seco	30
Figura 5. Preparación de extractos de <i>M. geometrizans</i> : A) Concentración en rotavapor de los extractos; B) Extracto acuoso (EA) concentrado; C) Extracto hidroalcohólico (EHA) concentrado	32
Figura 6. Prueba de actividad antifúngica: A) Siembra del explante de <i>F. oxysporum</i> en la caja; B) Efecto inhibitorio de ambos extractos sobre <i>F. oxysporum</i> , a) Efecto del extracto hidroalcohólico (EHA), b) Efecto del extracto acuoso (EA); C) Control absoluto <i>F. oxysporum</i>	35
Figura 7. Obtención del mucílago de chíá	37
Figura 8. Pasos seguidos para la aplicación de RC en zarzamoras	38
Figura 9. Montaje de la prueba: A) Aplicación del recubrimiento; B) Secado de los frutos; C) Distribución de los frutos en charolas; D) Almacenamiento	39
Figura 10. Determinación de peso	40
Figura 11. Determinación de firmeza	40
Figura 12. Análisis microbiológico	41
Figura 13. Medición de color	42
Figura 14. Efecto antifúngico de los extractos del fruto de <i>M. geometrizans</i> sobre <i>F. oxysporum</i> expresado como porcentaje (%) de inhibición	50
Figura 15. Efecto del recubrimiento de mucilago de chíá funcionalizado con extracto hidroalcohólico (HAE) de <i>M. geometrizans</i> (RC+G) en la pérdida de peso de zarzamoras recubiertas y sin recubrir almacenadas por 15 días a 5 °C y 85% HR	53
Figura 16. . Efecto del recubrimiento de mucilago de chíá funcionalizado con extracto hidroalcohólico (HAE) de <i>M. geometrizans</i> (RC+G) en la firmeza (N) de zarzamoras recubiertas y sin recubrir almacenadas por 15 días a 5 °C y 85% HR	55
Figura 17. Efecto del recubrimiento de mucilago de chíá funcionalizado con extracto hidroalcohólico (HAE) de <i>M. geometrizans</i> (RC+G) en mohos y levaduras totales de zarzamoras recubiertas y sin recubrir almacenadas por 15 días a 5 °C y 85% HR	57
Figura 18. Efecto del recubrimiento de mucilago de chíá funcionalizado con extracto hidroalcohólico (HAE) de <i>M. geometrizans</i> (RC+G) en mesófilos aerobios totales de zarzamoras recubiertas y sin recubrir almacenadas por 15 días a 5 °C y 85% HR	58
Figura 19. Efecto del recubrimiento de mucilago de chia chíá funcionalizado con extracto hidroalcohólico (HAE) de <i>M. geometrizans</i> (RC+G) en parámetros de color en zarzamoras recubiertas y sin recubrir almacenadas por 15 días a 5 °C y 85% HR. A) <i>L</i> *; B) <i>a</i> *; C) <i>Croma</i> D) Ángulo de tono	60
Figura 20. Efecto del recubrimiento de mucilago de chíá funcionalizado con extracto hidroalcohólico (HAE) de <i>M. geometrizans</i> (RC+G) en la calidad de zarzamoras recubiertas y sin recubrir almacenadas por 15 días a 5 °C y 85% HR	61

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición fenólica de las zarzamoras	15
Cuadro 2. Composición química de las zarzamoras de la base de datos de nutrientes del Departamento de Agricultura de EUA	16
Cuadro 3. Efectos de recubrimientos comestibles (RC) en algunos frutos	22
Cuadro 4. Distribución de las especies mexicanas del género <i>Myrtillocactus</i> tomado de Ocegueda y Llorente-Bousquets (2008) con algunas modificaciones	25
Cuadro 5. Usos y estructura utilizada en el aprovechamiento de <i>M. geometrizans</i> (garambullo), en diferentes localidades de México	27
Cuadro 6. Caracterización fisicoquímica del fruto de <i>M. geometrizans</i>	43
Cuadro 7. Rendimiento, contenido de fenoles totales (CFT) y actividad antioxidante de extractos del fruto de <i>M. geometrizans</i>	46
Cuadro 8. Perfil fenólico de extractos de fruto de <i>M. geometrizans</i> por UHPLC	49
Cuadro 9. CMI ₅₀ y CMI ₉₀ del extracto hidroalcohólico (HAE) de fruto de <i>M. geometrizans</i> para inhibir el crecimiento de <i>F. oxysporum</i>	52
Cuadro 10. Efecto del recubrimiento de mucilago de chia con extracto hidroalcohólico (HAE) de <i>M. geometrizans</i> (RC+G) en pH, acidez titulable (A), sólidos solubles totales (SST) de zarzamoras recubiertas y sin recubrir almacenadas por 15 días a 5 °C y 85% HR	56

RESUMEN

México es uno de los productores de berries más importantes a nivel mundial, destacándose como el mayor exportador de zarzamora (*Rubus fruticosus* var. tupy), cuyos principales mercados son Estados Unidos de América, Canadá, Japón y Europa. Sin embargo, las características de este fruto (alto contenido de humedad y azúcares), así como la falta de infraestructura y tecnología que garantice la llegada del fruto en condiciones adecuadas, lo hacen susceptible al ataque de microorganismos fitopatógenos, con la consecuente pérdida de calidad poscosecha. En ese contexto, la aplicación de recubrimientos comestibles (RC) a base de diferentes matrices naturales (ej. polisacáridos, proteínas y lípidos), ha mostrado efectos favorables para extender la vida de anaquel de frutos y vegetales, además de ser un vehículo apropiado para la incorporación de compuestos bioactivos (ej. antioxidantes, antimicrobianos), que en sinergia, potencializan su acción protectora.

El objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de un RC a base de chía (*Salvia hispanica* L.) funcionalizado con extractos de *Myrtillocactus geometrizans* (garambullo) en la calidad poscosecha de zarzamora. En la caracterización del fruto de *M. geometrizans* se encontró un elevado contenido de carbohidratos ($67.4 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$), fibra ($6.7 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$), cenizas ($5.2 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$) y proteína ($5.1 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$); además, presentó un interesante contenido de azúcares reductores ($854.9 \text{ mg AT g}^{-1}$). Estos resultados confirmaron el potencial del fruto de *M. geometrizans* como fuente alternativa e innovadora para la obtención de compuestos bioactivos naturales.

En la producción de extractos de *M. geometrizans* se obtuvo un mayor rendimiento en el extracto hidroalcohólico (EHA, 52.2%) en comparación con el extracto acuoso (EA, 42.7%). Además, presentó un mayor contenido de fenoles totales (CFT) con valores de $10.1 \text{ g GA kg}^{-1}$ de extracto, mejor potencial antioxidante ($\text{CI}_{50} = 6.0 \text{ mg mL}^{-1}$) y un interesante perfil fenólico, destacando el contenido de ácido rosmarínico (12.4 mg L^{-1}), ácido elágico (5.1 mg L^{-1}) y rutina (2.8 mg L^{-1}).

El EHA también demostró un mayor efecto inhibitorio que el EA sobre *Fusarium oxysporum*, hongo de importancia comercial en zarzamora, con valores de concentración

mínima inhibitoria (CMI) de 1915 y 4881 mg L⁻¹ para inhibir el 50 y 90% del crecimiento fúngico, respectivamente.

Considerando que el EHA demostró mejores propiedades en todos los parámetros estudiados (perfil fenólico, potencial antioxidante y antifúngico), fue seleccionado para su incorporación en un RC a base de chía (RC+G) en concentración de 1915 mg L⁻¹ (CMI₅₀), para evaluar su efecto en la vida de anaquel de zarzamora a 5 °C y 85% de humedad relativa (HR) por 15 días.

En general, la aplicación del RC+G fue una barrera protectora en zarzamora, ya que los frutos recubiertos no presentaron pérdida de peso hasta el día 6 de la evaluación; mientras que, al final de la prueba permitió mantener la pérdida de peso de los frutos por debajo del 3.2% en comparación con los frutos sin recubrir (19.6%). Por otro lado, el color de los frutos tratados fue retenido durante el almacenamiento, presentando mayor luminosidad (L^*) que el tratamiento control. Sin embargo, en otros parámetros de calidad (ej. firmeza y control microbiológico), la acción del RC+G no se prolongó durante la prueba, asociándose al carácter biodegradable del recubrimiento.

La presente investigación proporciona una visión del alcance e importancia que representa el desarrollo de nuevas alternativas utilizando extractos de *M. geometrizans* para prolongar la vida útil de frutos de importancia comercial en México.

Palabras clave: *Myrtillocactus geometrizans*; compuestos bioactivos; zarzamora; recubrimiento comestible; calidad poscosecha

ABSTRACT

Mexico is one of the most important berry producers worldwide, standing out as the largest exporter of blackberry (*Rubus fruticosus* var. tupy), whose main markets are the United States of America, Canada, Japan, and Europe. However, the characteristics of this fruit (high moisture and sugars contents); as well as the lack of infrastructure and technology that guarantees the arrival of the fruit in adequate conditions, makes it susceptible to attack by phytopathogenic microorganisms, with the consequent loss of postharvest quality. In this context, the application of edible coatings (RC) based on different natural matrices (e.g. polysaccharides, proteins, and lipids), has shown favorable effects to extend the shelf life of fruits and vegetables, in addition to being an appropriate vehicle for the incorporation of bioactive compounds (e.g. antioxidants, antimicrobials), which in synergy, potentiate their protective action.

The objective of the present study was to evaluate the effect of a RC based on chia (*Salvia hispanica* L.) functionalized with extracts of *Myrtillocactus geometrizans* (garambullo) on the postharvest quality of blackberry. *M. geometrizans* fruit was characterized by its high content of carbohydrates ($67.4 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$), fiber ($6.7 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$), ashes ($5.2 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$), and protein ($5.1 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$); besides, it presented an interesting content of reducing sugars ($854.9 \text{ mg AT g}^{-1}$). These results confirmed the potential of *M. geometrizans* fruit as an alternative and innovative source for obtaining natural bioactive compounds.

In the production of *M. geometrizans* extracts, a higher yield was obtained in the hydroalcoholic extract (EHA, 52.2%) compared to the aqueous extract (EA, 42.7%). Furthermore, it presented a higher total phenolic content (CFT) with values of $10.1 \text{ g GA kg}^{-1}$ extract, better antioxidant potential ($\text{CI}_{50} = 6.0 \text{ mg mL}^{-1}$) and an interesting phenolic profile, highlighting the content of rosmarinic acid (12.4 mg L^{-1}), ellagic acid (5.1 mg L^{-1}), and rutin (2.8 mg L^{-1}).

EHA also demonstrated a greater inhibitory effect than EA on *Fusarium oxysporum*, a fungus of commercial importance in blackberry, with minimum inhibitory concentration (CMI) values of 1915 and 4881 mg L^{-1} to inhibit 50 and 90% of fungal growth, respectively.

Considering that EHA demonstrated better properties in all the parameters studied (phenolic profile, antioxidant, and antifungal potential), it was selected for its incorporation in a chia-based RC (RC + G) at 1915 mg L⁻¹ (CMI₅₀), to evaluate its effect on the blackberry shelf life at 5 °C and 85% relative humidity (RH) for 15 d.

In general, the application of RC + G was a protective barrier in blackberry, as the coated fruit did not show weight loss until day 6 of the evaluation; while, at the end of the test, it allowed to maintain the weight loss of the fruit below 3.2% compared to the uncoated fruit (19.6%). On the other hand, the color of the treated fruit was retained during storage, presenting greater luminosity (L^*) than the control treatment. However, the action of the RC + G was not prolonged during the test in other parameters (e.g. firmness and microbiological control), being associated with the biodegradable nature of the coating.

This research provides a vision of the scope and importance of the development of new alternatives using extracts of *M. geometrizans* to improve the shelf life of fruit of commercial importance in Mexico.

Keywords: *Myrtillocactus geometrizans*; bioactive compounds; blackberry; edible coating; postharvest quality

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Las berries también conocidas como frutillas o bayas, son un género de plantas rastreras que generan frutos succulentos con coloridos avivados, característico dulzor y que no poseen hueso, como la zarzamora, fresa, frambuesa y arándanos azules, mayormente conocidos como mora azul o blueberry (SENASICA, 2019) (Figura 1). El valor nutricional de las berries es extensamente apreciado y muy buscado por los consumidores, principalmente por su alto contenido de fitonutrientes, antioxidantes, contenido de polifenoles y beneficios generales para la salud (Milivojević et al., 2011).

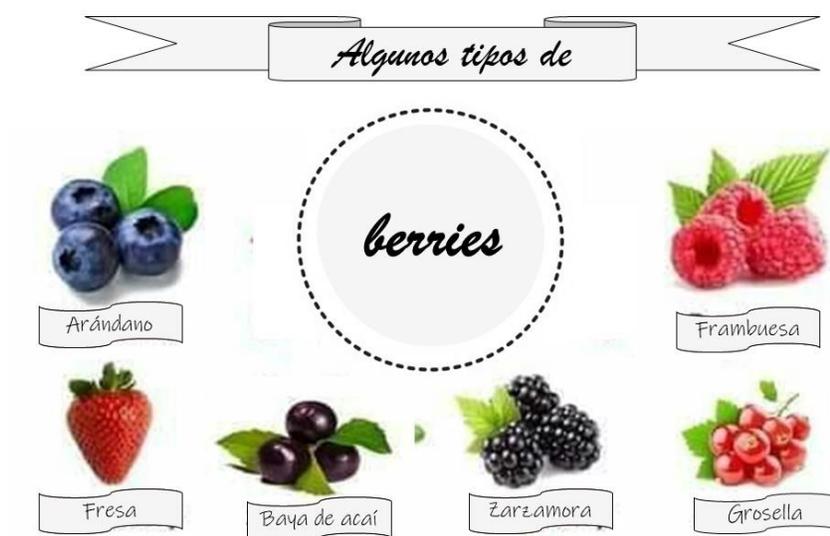


Figura 1. Algunos tipos de berries.

La producción, el consumo y la exportación de berries en México han tenido un crecimiento exponencial en años recientes, ya que en 2018 se tuvo un registro de exportación de 364 mil toneladas a 35 países (SENASICA, 2019). Las fresas, frambuesas, moras y arándanos son los que mayormente se consumen en Europa, pero también son consideradas frutas de consumo importante en todo el mundo, lo que ha

provocado la necesidad de mejorar la seguridad alimentaria en esta industria (Kong et al., 2014; Sospedra et al., 2013).

Se sabe que las prácticas de producción, los factores de desarrollo y la localización de las berries en la planta de crecimiento (superficie del suelo, parte aérea), en conjugación con elementos intrínsecos y extrínsecos, al igual que la cosecha y procesamiento, influyen en la calidad microbiológica de las berries en el punto de consumo (Li y Wu, 2013; Harris et al., 2003).

En términos generales, las berries se caracterizan por tener una reducida vida poscosecha afectada por la aparición de microorganismos fitopatógenos, principalmente hongos como *Mucor* sp., *Rhizopus* sp. y *Botrytis cinerea*, además de su sensibilidad a lesiones mecánicas, reblandecimiento y merma en la cantidad de humedad (Oliveira et al., 2013; Barth et al., 1995). *Colletotrichum* spp., *Monilinia* spp., *Penicillium* spp., *Aspergillus* spp., *Alternaria* spp. y *Cladosporium* spp., también son considerados dentro del grupo de patógenos de berries (Verma et al., 2006). Algunos de estos microorganismos se pegan a la superficie de las berries y, si la fruta no es desinfectada de manera adecuada, se añaden a las ensaladas y frutas mínimamente procesadas, como jugos frescos o cortadas en rodajas (Tournas et al., 2006).

Por ello, el empleo de técnicas que puedan mejorar el período de la vida útil sin modificar las propiedades físicas, sensoriales y nutricionales de la fruta es de esencial importancia para disminuir la merma después de la cosecha, que en ciertos casos pueden alcanzar el 60% de la producción (Sora et al., 2006).

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 berries 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).

En diferentes frutos se han aplicado recubrimientos comestibles (RC) para lograr prolongar la vida útil de aquellos alimentos destinados para el consumo fresco (Guimarães et al., 2018). Los RC son cubiertas delgadas que emplean, preferentemente,

materiales comestibles; éstas son aplicadas en los productos alimenticios, siendo capaces de ejercer el efecto de barrera contra gases, además proveen resistencia a la pérdida de agua y son aceptables sensorialmente por el consumidor (Falguera et al., 2011b). Un RC adecuado es capaz de proporcionar una semibarrera al flujo de agua, que provoca una disminución en la pérdida de humedad de la superficie de la fruta y altera la atmosfera alrededor de la fruta al actuar como un obstáculo para el intercambio de gases (Jongsri et al., 2016).

Esta reciente alternativa emplea componentes biológicos o químicos, (destacando el uso de biopolímeros), como una capa de recubrimiento sobre el producto que ayuda a eludir el movimiento de gases y parar o desacelerar el ciclo de maduración (Maringgal et al., 2020).

Con la finalidad de disminuir las tasas de respiración y la senescencia, se usa el RC como estrategia conocida en alimentos frescos o recién cosechados (Yousuf et al., 2021). Entre los principales impactos fisicoquímicos de los RC en las frutas enteras están: la mejora de la firmeza, disminución de la pérdida de agua (Ribeiro et al., 2007) y proporcionar al alimento una barrera más eficaz contra carga microbiológica (Vieira et al., 2016). La mayor cantidad de efectos probablemente aparecen en frutas enteras y recién cortadas. Esto ha aumentado la atención de los investigadores, lo que ha generado extensos estudios sobre el diseño de RC (Vishwasrao y Ananthanarayan, 2017).

La oxidación es una de las causas más importantes de la degradación de los alimentos y puede afectar desfavorablemente los atributos organolépticos (sabor, color, etc.) (Milani y Sahraee, 2015). Muchos antioxidantes de origen sintético como el hidroanisol butilado (BHA), la hidroquinona terc-butilada (TBHQ) y el hidrotolueno butilado (BHT), son empleados comúnmente como aditivos en los alimentos con la finalidad de evitar la peroxidación de los lípidos (Nieva-Echevarría et al., 2015). Sin embargo, su empleo está limitado dadas las probables consecuencias de toxicidad (Babbar et al., 2011). Derivado de esta problemática, estudios orientados a la búsqueda de compuestos obtenidos de productos vegetales como los extractos, han recibido atención, siendo objeto de diversos estudios por las interesantes características antioxidantes y antimicrobianas que presentan (Hayes et al., 2011).

En ese contexto, los cactus pertenecientes al género *Myrtillocactus* se desarrollan en la parte norte de México, poseedor de áreas áridas o semiáridas que no son competentes para la agricultura. Como consecuencia a que estas plantas cuentan con características altamente valoradas en términos nutricionales y son capaces de producir sin un manejo agronómico especial, demuestran potencial y sus frutos resultan adecuados para segmentos de mercado de frutas (Hernández-López et al., 2008). Dentro de estos cactus, *M. geometrizans*, cuyo nombre común es garambullo, resulta viable para ser considerado como una fuente alternativa de compuestos antimicrobianos y antioxidantes. Actualmente, se tienen pocos estudios de garambullo, los cuales se enfocan principalmente en los pigmentos rojos hidrosolubles llamados betalaínas. Se ha reportado que los frutos de garambullo contienen 2.3 mg 100 g⁻¹ en la fruta fresca de betalaínas (Reynoso et al., 1997), por lo cual resulta de gran importancia generar nuevas líneas de investigación que logren aportar un enfoque de explotación distinto a este fruto infrautilizado. Aunado a ello, la ascendente demanda dirigida hacia el consumo de alimentos frescos que se encuentren libres de químicos ha atraído la atención a la aplicación de compuestos naturales en sinergia con RC para lograr mantener la calidad de frutos y vegetales (Ashtari et al., 2019; Flores-López et al., 2016a; Vieira et al., 2016).

Exponiendo todos los puntos anteriores resulta importante establecer un plan que contribuya a enriquecer y prolongar la calidad de los frutos obtenidos por los productores del campo mexicano, aprovechando los recursos naturales que México ofrece en su territorio. Esto permitirá extender y generar información sobre el tema, así como también, fomentará futuras investigaciones que abarquen el aprovechamiento de flora endémica infrautilizada. Por ello, en el presente estudio se evaluó el potencial de extractos de fruto de garambullo en términos de actividad antifúngica y antioxidante, para su incorporación en recubrimientos comestibles (RC) a base de mucílago de chía (*Salvia hispanica* L.), capaces de inhibir el crecimiento de *Fusarium oxysporum*, patógeno presente en la etapa poscosecha de zarzamora (*Rubus fruticosus* var. tupy). Además, se realizó la prueba de aplicación del RC en zarzamora determinando los parámetros de calidad poscosecha: pérdida de peso, color, firmeza, pH, sólidos solubles totales (SST), calidad microbiológica y acidez

1.2 Justificación

La producción, el consumo y la exportación de berries en México han tenido un crecimiento exponencial en años recientes, ya que en 2018 se tuvo un registro de exportación de 364 mil toneladas a 35 países (SENASICA, 2019). Como consecuencia se ha generado una mayor exportación, destinada para consumo fresco lo que demanda asegurar la calidad de las berries dirigidas a este fin.

El empleo de RC ha obtenido una mayor atención en años recientes, como consecuencia del creciente interés por disminuir la contaminación ambiental ocasionada por los plásticos, la necesidad de ampliar la vida útil de los alimentos y la creciente demanda de alimentos más saludables y ecológicos (Espino-Díaz et al., 2010). Su aplicación permite la mejora de la calidad organoléptica de los productos (frutas y hortalizas), además de actuar como una barrera efectiva a la pérdida de humedad y al ataque de microorganismos. Algunos de estos han mostrado resultados prometedores y se encuentran documentados en diferentes estudios, los resultados muestran que podrían ser tan eficientes como el cloro, o incluso más, en la eliminación de microorganismos de la superficie de las frutas.

Por otro lado, México cuenta con una enorme diversidad vegetativa, cuya caracterización tanto como aprovechamiento no ha sido llevada a cabo ni explotada en su totalidad. Destaca la presencia de frutos de la familia Cactaceae, cuya composición química podría aportar propiedades positivas provechosas para el desarrollo de nuevos alimentos o bien para enriquecer las gamas de aditivos con las que ya cuenta la industria. Entre ellos, el fruto obtenido de *M. geometrizans*, conocido localmente como garambullo o bien Berry cactus, presenta características interesantes. Sin embargo, la mayor parte de la producción de sus frutos se limita al consumo local en zonas o rurales; o bien para la elaboración de mermeladas y nieves artesanales, las cuales aún no han logrado trascender fronteras a pesar de las propiedades funcionales del fruto y ventajas agrícolas que presenta el cultivo de esta cactácea.

Este trabajo busca enlazar los avances disponibles en la ciencia, mediante la extracción de compuestos bioactivos de un fruto actualmente no industrializado como lo es el garambullo, así como aplicar dichos compuestos en un RC a base de chíá (S.

hispanica L.), y estudiar su efecto en la calidad poscosecha de zarzamora (*R. fruticosus* var. tupy), fruto de importancia comercial en México.

1.3 Hipótesis

La aplicación de un recubrimiento comestible a base de chía (*Salvia hispanica* L.) funcionalizado con fitoquímicos presentes en extractos de *Myrtillocactus geometrizans* (garambullo), tendrá un efecto positivo en la calidad poscosecha de zarzamora (*Rubus fruticosus* var. tupy).

1.4 Objetivo general

Evaluar la capacidad antimicrobiana y antioxidante de compuestos químicos presentes en extractos de *M. geometrizans* y estudiar el efecto de su incorporación en un recubrimiento comestible a base de chía (*S. hispanica* L.) sobre la calidad poscosecha de zarzamora (*R. fruticosus* var. tupy).

1.5 Objetivos específicos

- I. Obtener y caracterizar extractos de garambullo.
- II. Seleccionar el extracto de garambullo más apropiado en función de su potencial antioxidante y su actividad antifúngica *in vitro* sobre *Fusarium oxysporum*.
- III. Evaluar el efecto de un recubrimiento de mucílago de chía con compuestos bioactivos de garambullo en la calidad poscosecha de zarzamoras.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Generalidades

México es uno de los principales productores de berries a nivel mundial, cuyo principal mercado se encuentra en Estados Unidos, Países Bajos, Reino Unido, Italia, Bélgica, Francia, Canadá, Alemania y Chile (Infoagro, 2017). Las berries representan el tercer producto agroalimentario más exportado, tan sólo superadas por la cerveza y el aguacate (SIAP, 2020), siendo el 95% de la producción de berries destinadas a exportación a diferentes puntos del mundo (Diaz-Lara et al., 2020). La industria de las berries representa ventas anuales aproximadamente de dos mil 282 millones de dólares (FND, 2020), siendo uno de los productos mexicanos con mayor presencia a nivel mundial y el tercer producto más exportado del territorio mexicano lo que convierte al país en el 3º productor a nivel internacional (SIAP, 2020).

La demanda a nivel mundial de berries ha sido consecuencia, en gran parte, por los consumidores que tienen interés en alimentos que otorgan beneficios de forma natural hacia la salud (Foito et al., 2018). Sin embargo, este sector de la industria, trabaja con un producto que en mayor proporción es perecedero, lo que demanda exigentes estándares coordinados entre las cadenas de suministro y distribución involucradas (González-Ramírez et al., 2020).

En ello radica la importancia de desarrollar métodos que proporcionen la posibilidad de incrementar el período de vida útil de las berries, sin que esto provoque modificaciones en los atributos físicos, sensoriales y nutricionales de la fruta para disminuir la merma después de la cosecha, que en ciertos casos pueden alcanzar el 60% de la producción (Sora et al., 2006).

Para atender esta necesidad, surge el desarrollo y empleo de los recubrimientos comestibles (RC), vehículos de compuestos funcionales, para su aplicación en productos altamente perecederos o susceptibles a deterioro, con el objetivo de proporcionar a la industria agroalimentaria una técnica alternativa para prolongar su vida útil (Paul, 2020). Esta reciente alternativa emplea componentes naturales y sintéticos como una capa de

recubrimiento sobre el producto que ayuda a eludir el movimiento de gases y parar o desacelerar el ciclo de maduración (Maringgal et al., 2020).

Por otro lado, es interesante el enorme potencial y diversidad de plantas que crecen en las tierras mexicanas, particularmente las regiones áridas, que en México captan el 65% del territorio nacional. Aproximadamente, el 50% de la flora que se desarrolla en las zonas áridas es endémica. Algunas de estas plantas no han recibido la suficiente atención para su aprovechamiento, provocando que se descarte la aplicación de las propiedades que albergan y en otros casos solo son explotadas por los pobladores, teniendo sólo un alcance local (Ramírez-Rodríguez et al., 2020).

Dentro de esta vegetación endémica se encuentra la especie *M. geometrizans*, cuyo elevado valor nutricional y ventajas agronómicas, hace posible orientar la explotación de su fruto hacia mercados de frutas (Hernández-López et al., 2008). El consumo actual de estos frutos es como fruto fresco, secos, como pasas o combinados por agua ardiente para la elaboración de bebidas espirituosas, y procesados como helados (Pérez-Negrón et al., 2014). Recientemente, las interesantes propiedades de este fruto han llamado la atención de investigaciones para su aprovechamiento potencial. Sin embargo, aún son escasos los estudios sobre su composición y bioactividad de compuestos presentes en garambullo, para aplicación en diversas áreas, por ejemplo, en la agroindustria como agentes antimicrobianos y antioxidantes que promuevan la extensión de la calidad de frutos en poscosecha.

2.2 Zarzamora

2.2.1 Origen y producción

La producción de zarzamora en el territorio mexicano se ha visto favorecida en años recientes (SADER, 2019). Michoacán alberga la mayor superficie sembrada de zarzamoras con 18 641 hectáreas, liderando la producción de zarzamora (Aneberries, 2016), con una aportación del 97% del volumen total de las zarzamoras que son cosechadas en México (SENASICA, 2020). La producción comercial de zarzamoras se localiza, principalmente, en la parte céntrica del país (Aneberries, 2016).

Se ha logrado posicionar a México como líder productor a nivel mundial de berries, destacando como el primer productor de zarzamora, ya que su aporte representa una cuarta parte de la producción mundial (SADER, 2019), con una producción de 298 000 toneladas. En segundo lugar, le sigue la producción de frambuesa con 129 000 toneladas, tercer lugar en fresa con 861 000 toneladas, y finalmente produciendo 49 000 toneladas de arándanos (SIAP, 2020). Es notorio que el principal destino de zarzamoras mexicanas son países con un elevado poder adquisitivo como Alemania, Canadá, Holanda, Francia y Reino Unido, con un valor mayor a 400 millones de dólares por año (SENASICA, 2020).

Las zarzamoras son extensamente valoradas y muy buscadas por los consumidores, debido a su valor nutricional, principalmente a sus niveles sobresalientemente elevados de fitonutrientes antioxidantes, contenido de polifenoles y beneficios generales para la salud (Milivojević et al., 2011). Aunque la mayor proporción se consume de forma fresca, también es posible consumirlas con un elevado nivel de procesamiento, así como para la elaboración de conservas, postres, bebidas, entre otros (González Razo et al., 2019). Los extractos se comercializan como nutraceuticos y también como suplementos dietéticos para cubrir las demandas de los consumidores (Stoner y Seeram, 2011).

2.2.2 Composición química

Cada variedad, especie o cultivar de zarzamora presenta una cantidad de compuestos bioactivos diferente (Skrovankova et al., 2015), las propiedades y contenido de compuestos con potencial antioxidante está bien documentado (Schulz y Chim, 2019; Fazio et al., 2013; Pantelidis et al., 2007). En este fruto destaca su contenido de compuestos fenólicos, los cuales se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Composición fenólica de las zarzamoras.

Compuesto	Referencia
Flavonoles y flavones	
Glucósidos de kaempferol	Kolniak-Ostek et al. (2015); Mertz et al. (2007); Mi et al. (2004)
Glucósidos de quercetina	
Glucósidos de miricetina	
Antocianinas	
Glucósidos de cianidina	Kolniak-Ostek et al. (2015); Gancel et al. (2011); Koca y Karadeniz (2009); Mertz et al. (2007); Mi et al. (2004); Siriwoharn et al. (2004)
Glucósidos de pelargonidina	
Glucósidos de peonidina	
Ácidos fenólicos y taninos hidrolizables	
Ácido elágico y sus glucósidos	Kolniak-Ostek et al. (2015); Gancel et al. (2011); Hager et al. (2010); Mertz et al. (2007)
Ellagitaninos	
Ácido gálico y ésteres de galoilo	
ácido p- cumarico y cumaroil glucósidos	

Fuente: Adaptado de Skrovankova et al. (2015).

La zaramora se caracteriza por su baja presencia de compuestos lipídicos, bajo contenido calórico, elevado contenido de vitaminas, minerales, fibra y azúcar simple (Zia-UI-Haq et al., 2014). Estos valores se presentan en el Cuadro 2, los cuales también son influenciados por factores ambientales, composición del suelo, disponibilidad de agua para la planta, etapa de desarrollo, al igual que por las medidas proporcionadas durante

el periodo de almacenamiento una vez que el fruto ha sido cortado, lo que provoca que la composición sea variable en cada fruto (Skrovankova et al., 2015).

Cuadro 2. Composición química de las zarzamoras de la base de datos de nutrientes del Departamento de Agricultura de EUA.

Análisis proximal y contenido de carbohidratos	(g)
Agua	88.20
Proteína	1.39
Lípidos totales	0.49
Ceniza	0.37
Carbohidrato	9.61
Fibra total	5.30
Azucares totales	4.88
Sacarosa	0.07
Glucosa	2.31
Fructosa	2.40
Maltosa	0.07
Galactosa	0.03
Almidón	n.d.
Energía (Kcal)	43.00

Fuente: Adaptado de Kaume et al. (2012).

n.d.: no detectado.

Dadas las ventajas nutricionales y las propiedades altamente buscadas por consumidores e industrias, la zarzamora se ha convertido en un fuerte atractivo para la investigación y desarrollo de prácticas que permitan una explotación óptima del fruto. Sin embargo, aunque las ventajas nutricionales de la zarzamora son significativas, los escasos métodos eficaces de conservación desarrollados e implementados, al ser un producto con una elevada fragilidad, además de tener un importante contenido de agua, lo convierten en un fruto con elevadas pérdidas poscosecha, altamente perecedero y también en un producto susceptible al desarrollo de microorganismos.

2.2.3 Técnicas alternativas

Las zarzamoras se exportan principalmente en fresco (González Razo et al., 2019). Del total de producción en el país, el 90% es destinado a exportación, del cual el 85 % tiene como principal mercado EUA y Canadá, y el restante se distribuye entre los otros países (Milenio, 2014) como Italia, Países Bajos, Reino Unido, Bélgica, Francia, Canadá, Alemania y Chile (Infoagro, 2017).

Ya que la mayor proporción de zarzamoras producidas en México es con fines de exportación y en presentación fresca (González Razo et al., 2019), es importante considerar que aunque no tiene barreras arancelarias, si se debe considerar las normas fitosanitarias, ya que de surgir un problema de esta naturaleza, México puede perder el acceso a nichos de mercados de interés (Ibarra Morales et al., 2012). Además, es importante resaltar la importancia y responsabilidad de suplir las necesidades no sólo del mercado, si no también los estándares de exportación de manera simultánea (Chollett, 2009). Sólo la zarzamora que no entra dentro de los estándares, es sometida a procesamiento (Crespo Stupková, 2016).

Una vez que las zarzamoras han sido cortadas, se caracterizan por ser frutos perecederos, con una elevada sensibilidad al sol y con acelerada pérdida de humedad, además que por el contenido de agua, se vuelven un riesgo para el desarrollo de hongos (Torres Salcido et al., 2020), y también por ser sensible al manejo manual y condiciones de transporte (González Razo et al., 2019). Su distribución de manera eficaz se ve afectada, ya que no todos los productores cuenta con las medidas que requiere comercializarla, reduciendo las oportunidades de crecimiento y expansión del mercado local (Troncoso, 2010).

El cultivo de zarzamora, además de desarrollarse en territorio que le proporciona ventajas climáticas para su óptimo desarrollo, también cuenta con deficientes medidas que coloca en desventaja a los agricultores, como una infraestructura en los campos inadecuada, incidencia e nuevas plagas y enfermedades, por citar algunos ejemplos (Troncoso, 2010). Entre las especificaciones con las que debe cumplir el producto, está que el fruto no esté contaminado con patógenos o contenga rastros de compuestos químicos (Crespo Stupková, 2016).

La producción en México de zarzamora de manera orgánica es muy baja, principalmente a que el mercado EUA (principal importador de zarzamora mexicana) consume zaramora convencional (Astudillo-Miller et al., 2019). Sin embargo, la tendencia presentada por parte de los consumidores hacia el consumo de alimentos orgánicos y la consciencia generada en los últimos años sobre los efectos benéficos que estos productos pueden proporcionar a la salud, hace que sea viable el desarrollo de productos orgánicos cultivados en México.

La apertura de canales de distribución en Europa, representa una oportunidad para incentivar el desarrollo del mercado orgánico de la zarzamora (Astudillo-Miller et al., 2019). Por otra parte, el cultivo convencional de zarzamoras, regularmente emplea una diversidad de productos químicos, que abarcan plaguicidas organofosforados con un alto grado de toxicidad (por ejemplo azinfos metilo, carbarilo, diazinón, diurón, metil paratión, permetrina) (Chollett, 2009), y también en la etapa de producción, se ha reportado el uso de fungicidas como el Paraquat (Corrêa et al., 2006), que ya ha reportado efectos negativos en la salud de los consumidores, por los residuos que genera (García et al., 2018). Por lo cual, el considerar una alternativa favorable que al ser aplicada no contribuya a que el producto destinado a exportación sea rechazado, además sea amigable con el medio ambiente y no comprometa la inocuidad y estándares establecidos por las organizaciones del país a donde se exporta la zarzamora, se ha convertido en un reto para este sector de la industria.

Una alternativa sería la aplicación de RC, ya que se consideran inocuos, económicos y accesibles (La et al., 2021). Entre los efectos que acarrearán con su aplicación están prologar la firmeza, evitar la pérdida de peso y disminuir la tasa de respiración (Salama y Abdel, 2021); además, tienen la peculiaridad de ser utilizados como vehículos para la incorporación de compuestos funcionales que añaden propiedades al producto (ej. antimicrobianos y antioxidantes) (Charles-Rodríguez et al., 2020; Flores-López et al., 2016a; Vieira et al., 2016).

2.3 Recubrimientos comestibles

2.3.1 Generalidades

Aunque los recubrimientos y películas comestibles pueden ser muy similares, la principal diferencia se encuentra en que el RC se fija como una capa que reviste al alimento en el que se aplica, mientras que la película ejerce una función similar a la de un empaque (Paul, 2020). Además, los RC se aplican a partir de una solución líquida formadora, y las películas se premoldean para posteriormente emplearlas como una especie de envase (Falguera et al., 2011b). La estructura de RC y películas es a partir de compuestos que son reconocidos como sustancias generalmente reconocidas como seguras (GRAS, por sus siglas en inglés) (Salama y Abdel Aziz, 2021), ya que para su aplicación se usan macromoléculas amigables con el medio ambiente (Abu-Shama et al., 2020), con la finalidad de disminuir el impacto ambiental generado por el uso de envases de plástico (Hassan et al., 2018). La clasificación de RC se basa principalmente considerando los compuestos que integran la matriz, es decir en proteínas, lípidos, carbohidratos o mezclas de ellos (Falguera et al., 2011b). Para seleccionar un RC es muy importante considerar características del alimento en el que se va a aplicar y el lugar donde se almacenará (Paul, 2020). En este contexto, en la aplicación de RC se emplean diversas técnicas, entre las que se encuentran la aplicación de recubrimiento por esparcimiento cepillado, aplicación por inmersión (Dhumal y Sarkar, 2018) y aplicación en spray o por pulverización (Silva-Vera et al., 2018). La elección correcta del método es de gran importancia, ya que tiene un efecto en la eficacia del mismo, así como en los costos (Suhag et al., 2020). En la Figura 2 se presentan algunos de los diferentes métodos de aplicación.

Se ha reportado con anterioridad que la aplicación de RC genera una especie de barrera en el fruto en el que se aplica (Jiang et al., 2011), reduciendo la transferencia de gases (por ejemplo O₂, CO₂ y vapor de agua) (Valero et al., 2013) vitales para que la fruta u hortaliza lleve acabo el proceso de respiración (Ayranci y Tunc, 2004). De esta manera, se consigue provocar una alteración en el ciclo del fruto, retardando la maduración (Valero et al., 2013).

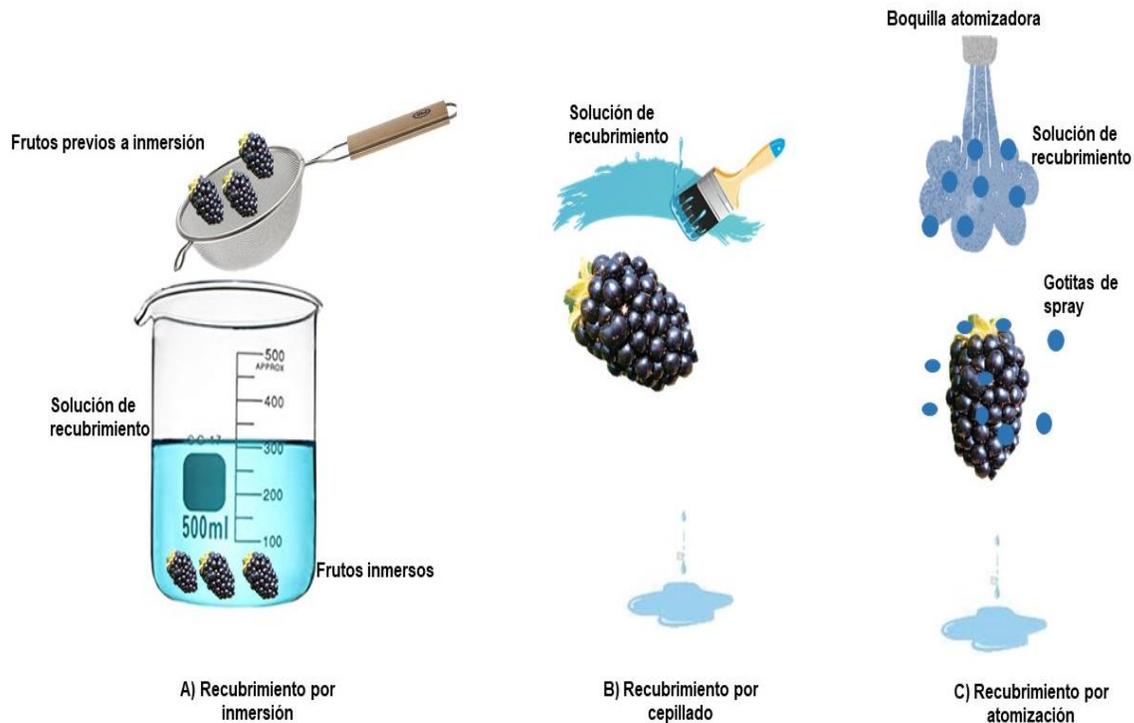


Figura 2. Representación esquemática de los principales métodos de aplicación de recubrimiento comestible (RC) para frutas y verduras: inmersión (A), cepillado (B), y por pulverización (C).

Uno de sus principales objetivos es proporcionar al alimento una protección que obstaculice efectos físicos, químicos y microbiológicos no favorables (Salgado et al., 2015). El éxito en la aplicación y propiedades del RC tiene una estrecha relación con el comportamiento de los compuestos empleados (como proteínas, carbohidratos, lípidos, plastificantes, entre otros) para su elaboración (Han y Gennadios, 2005). Sin embargo, se ha reportado en años recientes el empleo de la combinación de diferentes componentes, con la finalidad de generar sinergia por las características que integra cada uno (Falguera et al., 2011b), pues además, el uso de RC empleando sólo un componente, limita su uso (Paul, 2020).

El empleo de estas macromoléculas como matrices en el desarrollo de RC, es la respuesta a las necesidades de la industria alimentaria y del medio ambiente, ya que permiten proteger a los alimentos, y además, contribuyen a reducir el impacto al medio ambiente que provocaría otro tipo de materiales (no biodegradables) (Ribeiro et al.,

2021), presentando una alternativa para el aprovechamiento de desechos orgánicos derivados de la pesca, la agricultura o la ganadería (Ribeiro et al., 2021).

2.3.2 Clasificación de recubrimientos comestibles

Hasta el momento se han desarrollado cuatro tipos de recubrimientos: RC de polisacáridos, proteínas, lípidos y compuestos (Md y Ding, 2020); en los que los materiales empleados para producir el RC son polímeros de polisacáridos, proteínas, lípidos y las combinaciones entre ellos (RC compuestos), de esta manera su combinación puede derivar en RC con propiedades favorables (Flores-López et al., 2016a). Los RC permiten, además, considerar la integración de aditivos con la finalidad de mejorar sus características (Cazón et al., 2017). De la composición de los RC depende su eficiencia (Panahirad et al., 2021). En el Cuadro 3 se presentan ejemplos de los efectos de la aplicación de diferentes RC en algunos frutos. Sin embargo, de todos los polímeros considerados, los polisacáridos se caracterizan por su disponibilidad y bajo costo (Dehghani et al., 2018). Además, los avances en el diseño de recubrimientos empleando polisacáridos se deben principalmente a su porosidad selectiva hacia el O₂ y CO₂ (Falguera et al., 2011b).

Dentro de este tipo de RC se encuentran los mucílagos, dentro de los cuales, en años recientes el mucílago de chía (*S. hispanica* L.) ha atraído especial atención para nuevas aplicaciones dentro del sector alimentario (Cámara et al., 2019; Muñoz et al., 2012). Este mucílago se ha convertido en una fuente viable para la elaboración de RC, por lo que las semillas de *S. hispanica* representan una fuente alternativa a considerar para sustituir el empleo de plásticos (Urbizo-Reyes et al., 2020). Numerosos estudios muestran el potente alcance que podría tener, no solo el empleo de la semilla, sino también el mucílago dentro de la industria agroalimentaria (Charles-Rodríguez et al., 2020; Dick et al., 2015; Reyes-Caudillo et al., 2008).

Cuadro 3. Efectos de recubrimientos comestibles (RC) en algunos frutos.

Ingredientes principales	Fruto para aplicar	Propiedades del RC	Referencia
Lípidos			
Cera de abejas y carnauba	Mandarinas	Disminución de la pérdida de peso	Khorrám et al., (2017)
Proteínas			
Gelatina y aceite de propóleo	Frambuesas	Disminución del impacto de la descomposición en las frambuesas recubiertas en comparación con el control.	Moreno et al. (2020)
Aislado de proteína de soja y ácido ferúlico	Manzanas	Disminución de pérdida de peso y firmeza.	Alves et al. (2017)
Polisacáridos			
Goma de anacardo y alcohol polivinílico	Fresas	Retraso de la pérdida de peso y barrera al deterioro fúngico.	Moreira et al. (2020)
Compuestos			
Fracciones de quitosano y aloe vera	Arándano	Reducción del desarrollo de microorganismos y pérdida de humedad	Vieira et al. (2016)

Los RC pueden ser vehículos de moléculas que proporcionen no solo un efecto nutricional, si no también nutracéutico o funcional (Falguera et al., 2011b). De esta manera, se han incorporado extractos de plantas y compuestos bioactivos con propiedades antioxidantes y antimicrobianas en matrices formadoras de RC, que además presentan la posibilidad de ejercer un efecto de funcionalidad (Ebrahimi y Rastegar, 2020).

2.3.3 Recubrimientos comestibles como vehículos de compuestos bioactivos

En los últimos años las preferencias por parte de los consumidores se inclinan hacia alimentos que no tengan un elevado grado de procesamiento (Falguera et al., 2011a). Además de que los consumidores han desarrollado consciencia sobre el impacto del consumo de compuestos sintéticos en la salud, lo que ha provocado el auge en la búsqueda de fuentes alternativas para estos compuestos (Paul, 2020).

Se tiene conocimiento que la degradación en productos frescos es consecuencia de diferentes factores y uno de los más importantes es el desarrollo de microorganismos en la superficie (Pranoto et al., 2005). Por ello, con el uso de RC actualmente no sólo se busca contribuir a mantener la calidad del producto en el que se aplica, si no que también se busca darle un valor agregado mejorando sus características (Ganiari et al., 2017). El diseño de RC con compuestos bioactivos surge con la finalidad de prolongar la vida útil de los alimentos, contribuir a reducir el impacto en el medio ambiente y no presentar un riesgo para el consumidor (Paul, 2020). En ese contexto, es ampliamente conocido que las propiedades de un RC, dependen en gran medida de la matriz formadora y de los compuestos que lo integran (Falguera et al., 2011b).

Por otro lado, el efecto proporcionado por compuestos antioxidantes derivados de fuentes vegetales en los RC se ha estudiado arduamente (Roy y Rhim, 2020; Wang et al., 2019). Los resultados empleando RC con compuestos bioactivos obtenidos de diferentes fuentes vegetales, han logrado ser prometedores a la vez que sustituyen el empleo de sustancias sintéticas (Paul, 2020). La aplicación de compuestos bioactivos que demuestren una efectividad similar a la de compuestos de origen sintético representa una oportunidad para consumidores y productores, pero a la vez un reto para la industria agroalimentaria y el sector de la investigación. Sin embargo, se han reportado resultados favorables en aquellos RC donde se han aplicado antioxidantes y antimicrobianos (ej. eugenol y citral).

Por su parte Prakash et al. (2020) evaluaron el efecto de un RC con citral en diferentes concentraciones sobre la vida útil y el potencial antimicrobiano sobre piña recién cortada, obteniendo resultados promisorios; sin embargo, se observó que las altas concentraciones podrían afectar la aceptabilidad sensorial y textura. Wei et al. (2021)

demonstraron el efecto de un RC integrado con citral sobre el kiwi 'Jinkui' y el impacto favorable que acarreó sobre los parámetros de calidad poscosecha y el contenido de antioxidantes que presentó este tratamiento en comparación con el tratamiento control. Guerreiro et al. (2016) también encontraron que los RC añadidos con eugenol y citral representan una alternativa prometedora para disminuir la carga microbiana en frambuesas, y con ello, la prolongación de la vida útil. Salas-Méndez et al. (2019) también encontrarán resultados similares en un recubrimiento con extracto antimicrobiano de *Flourensia cernua* aplicado en tomate, con efectos que prologaron la retención de firmeza y color.

En este contexto, las plantas desérticas de México han logrado atraer la atención de diversos investigadores, con la finalidad de explotar sus propiedades y generar fuentes que además de sustentables sean rentables para la obtención de compuestos bioactivos (Charles-Rodríguez et al., 2020; Salas-Méndez et al., 2019). Siendo México considerado como un país donde más de la mitad del territorio pertenece a tierras áridas y el 47.7 % de los cactus que habita en estas zonas son endémicos (Ramírez-Rodríguez et al., 2020), dentro de los cuales se encuentra el fruto de *M. geometrizzans* (garambullo), cuyas escasas investigaciones para su aprovechamiento muestran resultados prometedores y en el mayor de los casos se limitan al aprovechamiento de las betalainas en el fruto y efectos funcionales que provee al organismo algunos de sus compuestos (Montiel-Sánchez et al., 2021; Barrera et al., 1998; Reynoso et al., 1997).

2.4 *Myrtillocactus geometrizzans* (Garambullo)

2.4.1 Generalidades

El cactus *M. geometrizzans* pertenece a la familia Cactaceae y forma parte de la flora endémica que habita dentro de México, se desarrolla en zonas áridas o semi áridas (Montiel-Sánchez et al., 2021), poco favorables para el desarrollo de cultivos y su producción no requiere cuidados agronómicos especiales, además se caracterizan por tener un contenido nutricional interesante y competente (Hernández-López et al., 2008). La producción de *M. geometrizzans* es inferior a 500 kg ha⁻¹, cosechándose solo entre el 35 y el 70% (Corona et al., 2007), y crece en zonas de Aguascalientes, Durango,

Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, el estado de México, Michoacán, Morelos, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz y Zacatecas (Ramírez-Rodríguez et al., 2020) (Cuadro 4).

Cuadro 4. Distribución de las especies mexicanas del género *Myrtillocactus* tomado de Ocegueda y Llorente-Bousquets (2008) con algunas modificaciones.

<i>M. cochal</i> (Orcutt) Britton & Rose, 1909	<i>M. geometrizzans</i> (Mart.) Console, 1987	<i>M. schenkii</i> (JA. Purpus) Britton & Rose, 1909
		
<p>Baja California Sur y Baja California Norte. Endémico de México</p>	<p>Aguascalientes, Durango, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz y Zacatecas. Endémico de México</p>	<p>Oaxaca y Puebla Endémico de México</p>

Fuente: Adaptado de Salazar (2011).

El fruto de este cactus es conocido localmente como garambullo, el tamaño del fruto es pequeño (con un promedio de 1.5 cm de diámetro y 1.2 cm de altura) y su forma tiene tendencia a ser redonda, una vez que alcanza la madurez, su color se torna de verde a vino, la cáscara es muy frágil y cubre el contenido que esta conformado por semillas muy pequeñas (<1 mm) y la pulpa (Guzmán-Maldonado et al., 2010). El período

de cosecha abarca desde Junio hasta Septiembre (López et al., 2019). El fruto también es conocido como la Berry de cactus dentro de los frutos de las cactáceas, debido a su similitud con este grupo de frutillas (Ozuna et al., 2017). En la Figura 3 se presenta el habitat donde crece y es recolectado, además del fruto.



Figura 3. Hábitat y recolección del fruto de *M. geometrizarans* (garambullo).

Hasta el momento las plantas de este *M. geometrizarans* no han llamado la atención para ser consideradas como cultivos medicinales o agronómicos importantes (Céspedes et al., 2005). Su potencial ha sido infravalorado y no ha sido explotado (Herrera-Hernández et al., 2011). Derivado de su composición nutricional y funcional, se considera como un fuente competente y un producto prometedor para el desarrollo de productos de alta calidad (Guzmán-Maldonado et al., 2010). Es común que el contenido nutricional del garambullo se afecte cuando las condiciones de almacenamiento no son las adecuadas, debido a su elevado grado de perecibilidad (Correa-Betanzo et al., 2011).

En las zonas mexicanas en las que la producción de fruta es esencial, el fruto de *M. geometrizarans* con frecuencia se infrutiliza o se consume únicamente a un grado local. A pesar de ello, la importancia industrial por *M. geometrizarans* se ha incrementado por ser un alimento innovador en el sector agroalimentario (Guzmán-Maldonado, 2010). En el

Cuadro 5 se presenta el aprovechamiento de diferentes partes de *M. geometrizzans* y algunos de sus usos más comunes o de los cuales se tiene conocimiento.

Cuadro 5. Usos y estructura utilizada en el aprovechamiento de *M. geometrizzans* (garambullo), en diferentes localidades de México.

Localidad	Uso	Estructura utilizada	Presentación de consumo	Referencia
Zapotitlán Salinas, Puebla	Alimentario	Frutos	En fresco Bebida alcohólica	Betanzos-González, 2008
Valle de Tehuacán-Cuicatlán	Alimentario	Frutos	En fresco Licor de garambullo	Las plantas del Valle Tehuacán-Cuicatlána, 2008
	Construcción	Tallo	Cercas vivas Control de la erosión Como forrajera	
	Combustible		Leña	
“Los Mármoles”, Hidalgo	Alimentario	Frutos	Mermelada Dulces	Arias et al., 2012
Estado de México, Hidalgo, Querétaro	Alimentario	Frutos	Frescos como postres Aguas frescas Nieves, paletas heladas Mermelada Almíbar Orejones Licor	Coronado y Vega, 1999
		Flores	Verdura Capeadas con huevo Fritas Complemento de algunos guisos Se cuecen y se utilizan en tostadas, tamales, tortitas con frijoles Cristalizada “Claveles de garambullo”	
Querétaro	Alimentario	Frutos	Fresco Mermelada Paleta de hielo Pasa	Pérez-González, 1999

Fuente: Adaptado de Cano Rodríguez (2017)

2.4.2 Composición química

La composición química y los efectos nutraceuticos de garambullo son parecidos a los de otras cactáceas (Ozuna et al., 2017). Vazquez-Cruz et al. (2012) determinaron la presencia de 34 compuestos volátiles, entre los que se encuentran furanonas (9) y cetonas (10) en mayor proporción, además se encontraron 17 ésteres, y también se determinó la presencia de algunos alcoholes, demostrando que el solvente y la etapa de maduración considerados para la prueba ejercían un efecto en la determinación. Los autores también reportaron que algunas de sus propiedades son similares a las encontradas para otros frutos como moras, fresas y tunas; además de que el poder antioxidante es igual de importante e incluso a veces más significativo que el de la de frambuesa, zarzamora y fresa (Herrera-Hernández et al., 2011).

Los estudios realizados para conocer el potencial sobre el garambullo no son extensos, de los compuestos que se conocen y sobre los cuales se ha centrado una mayor atención se encuentran las betalaínas (Barrera et al., 1998; Reynoso et al., 1997). También se ha encontrado con anterioridad la presencia de terpenos como peniocerol 1 y macdougallin 2 y chichipegenin 3; sin embargo, estos compuestos no se encuentran en el fruto sino más bien en otras partes del cactus (Céspedes et al., 2005).

Como consecuencia al poco conocimiento disponible para el correcto aprovechamiento de las propiedades del fruto, en la presente investigación se busca proporcionar nuevas alternativas sostenibles para su explotación.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó en el Laboratorio de Fermentaciones del Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. La experimentación de este trabajo consta de dos etapas: I) Producción y caracterización de extractos de *Myrtillocactus geometrizans* y II) Desarrollo de recubrimientos funcionales a base de mucílago de chía y evaluación de su efecto en la vida de anaquel de zarzamora. Dichas etapas, se describen a continuación:

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

3.1 Reactivos

Todos los reactivos utilizados en esta investigación son grado analítico. La base en la disolución de los reactivos fue agua destilada, y etanol absoluto 99.9% en algunas pruebas. En la Etapa I se empleó para la determinación de azúcares totales, ácido sulfúrico (DEQ, México) y fenol al 5% (HYCEL, México); para cuantificar los azúcares reductores se utilizó el reactivo 3,5-ácido dinitrosalicílico (DNS), tartrato de sodio (Jalmek, México), sulfito de sodio (Jalmek, México), hidróxido de sodio (Jalmek), glucosa (SIGMA, EUA) y fenol (HYCEL, México). El agar papa dextrosa (PDA) fue adquirido en TM MEDIA (India); y en la medición de actividad antioxidante se utilizó el reactivo DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidracilo) de Sigma Aldrich (Alemania). La prueba de fenoles totales se analizó con el reactivo Folin Ciocalteu (FC) (Merk, Suiza), carbonato de sodio y ácido gálico de Sigma (Japón). Para la prueba de cromatografía líquida de ultra alta resolución (UHPLC) se utilizó ácido fórmico y acetonitrilo grado HPLC (Sigma, EUA).

3.2 Materia prima

La recolección del fruto de la planta de cactus (*M. geometrizans*) se llevó a cabo en los meses junio y agosto de 2018, en terrenos del municipio de San Luis de la Paz, en Guanajuato, México. Los frutos fueron manualmente recolectados, y la selección se basó principalmente en su color, recolectando sólo los frutos que tenían un color púrpura oscuro, considerando que cumplía con las características de fruto “maduro” de acuerdo

con lo reportado por Guzmán-Maldonado (2010) (Figura 4). Posteriormente, los frutos fueron sometidos a un previo secado a temperatura ambiente bajo condiciones de oscuridad total, hasta alcanzar una humedad del 50%. Los frutos fueron almacenados bajo condiciones de oscuridad y transportados al Laboratorio de Microbiología y Fermentaciones del Departamento de Alimentos de la UAAAN. 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 consistió en llevar tres veces las muestras a 65 °C por 30 min. Las muestras obtenidas fueron triturados a velocidad baja en una licuadora, pasados a través de malla no. 20, y almacenados a temperatura ambiente hasta su uso.



Figura 4. Preparación de la materia prima: A) Almacenamiento de frutos secos; B) Molienda de frutos secos.

3.3 Caracterización de la materia prima

3.3.1 Fenoles totales

El contenido de fenoles totales (CFT) fue determinado en microplaca de 96 pocillos, siguiendo el método propuesto por Meneses et al., (2013) empleando el reactivo FC con algunas modificaciones. La muestra de fruto de garambullo fue preparada a una concentración de 20 mg L⁻¹ (solución madre) y después fue filtrada. De esta solución fueron tomados 5 µL del sobrenadante y se mezclaron en un pocillo de microplaca con de 60 µL de solución de carbonato de sodio (7.5% p/v), 15 µL de reactivo FC y 200 µL de agua destilada. La mezcla de reacción se dejó reposar por 5 min a 60 °C; posteriormente, se dejó enfriar a temperatura ambiente para la lectura de absorbancia (750 nm) en un lector de microplaca (BIOBASE-EL 10A, China). Se utilizó agua destilada como blanco. La curva empelada se realizó con ácido gálico como solución estándar (en un rango de

0.2 a 0.6 g L⁻¹), el CFT se reportó como g de ácido gálico (AG) por peso (kg) de material seco (g AG kg⁻¹). Todos los análisis se realizaron por triplicado.

3.3.2 Azúcares totales

Se siguió la metodología según DuBois et al. (1956); para ello se añadieron a 250 µL de extracto, 250 µL de fenol al 5%, la mezcla se agitó y se colocó en baño de hielo para la posterior adición de 1000 µL de H₂SO₄. La mezcla de reacción se llevó a baño maría a temperatura constante (50 °C) por 5 min con agitación. Se leyó a 505 nm en un espectrofotómetro de microplacas (BIOBASE-EL 10A, China). La curva patrón se llevó a cabo por triplicado, empleando glucosa como solución estándar en un rango de 10 a 100 mg L⁻¹. Todas las evaluaciones se realizaron por triplicado.

3.3.3 Azúcares reductores

Para la determinación de azúcares reductores se consideró la metodología reportada por Miller (1959). Se usaron 1000 µL de muestra, empleando como blanco agua destilada. A cada muestra se le agregaron 1000 µL de reactivo DNS, para posterior ebullición por 5 min. Transcurrido este tiempo, se llevó a baño de agua con hielo por 5 min y se añadieron 5 mL de agua destilada, después las muestras fueron mezclas, y llevadas a enfriamiento por 5 min a temperatura ambiente. Las muestras se leyeron en un espectrofotómetro (VELAB, EUA), a 540 nm. La curva de calibración se realizó utilizando glucosa en un rango de 0 a 250 mg L⁻¹. Todos los análisis se realizaron por triplicado.

3.3.4 Caracterización bromatológica

Para lograr la determinación de algunos componentes como grasa, proteína, ceniza y fibra, se emplearon las técnicas propuestas por el Método Oficial de Análisis (AOAC, 1990). El factor que se consideró para calcular la proteína fue el de 6.25. En el caso de los carbohidratos una vez realizadas las determinaciones anteriores, se sumaron y posteriormente se restaron al 100%.

3.4 Producción de extractos de *M. geometrizans*

En la preparación de extractos se siguió la metodología propuesta por Charles-Rodríguez et al. (2020), con algunas modificaciones (Figura 5). Se pesaron 11.5 g de fruto de garambullo y se mezclaron con 125 mL del solvente de interés. Los solventes empleados fueron mezcla hidroalcohólica (1:1, etanol:agua) y agua destilada, para la obtención de extractos hidroalcohólico (EHA) y acuoso (EA), respectivamente. La mezcla que se obtuvo se colocó en matraz Erlenmayer de 250 mL cubierto con aluminio y se selló la boquilla con Parafilm, para llevarse a agitación constante a 150 rpm (New Brunswick Scientific, EU) por 22 h a temperatura ambiente. Posteriormente, las muestras fueron concentradas eliminando el solvente en un evaporador rotatorio (IKA RV 10, China). La temperatura fue dependiente del solvente usado, para el EA se realizó la extracción a 99 °C y para el EHA fue de 89 °C. Las muestras se llevaron a peso constante a 45 °C, y la resina resultante se protegió de la oscuridad y se almacenó en condiciones de refrigeración (4 °C) hasta su uso. Las extracciones se realizaron por triplicado y el rendimiento se expresó en porcentaje (%).

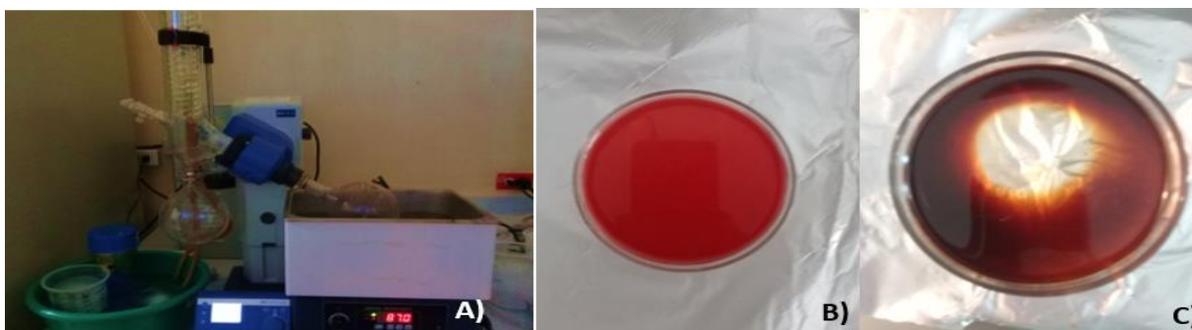


Figura 5. Preparación de extractos de *M. geometrizans*: A) Concentración en rotavapor de los extractos; B) Extracto acuoso (EA) concentrado; C) Extracto hidroalcohólico (EHA) concentrado.

3.5 Caracterización de extractos de *M. geometrizans*

3.5.1 Fenoles totales

La cuantificación de CFT se llevó a cabo como se describió en la Sección 3.3.1, con algunas modificaciones. Se preparó una solución madre, pesando 0.25 g de extracto y se disolvieron en 1 mL del solvente empleado para su extracción, después se tomaron

5 μL del sobrenadante y se mezclaron en un pozo de microplaca con 60 μL de solución de carbonato de sodio (7.5% p/v) y 15 μL de reactivo FC. Posteriormente, se añadieron 200 μL de agua destilada, se agitó y se dejó reposar la mezcla de reacción por 5 mins a 60 $^{\circ}\text{C}$. Finalmente, las muestras fueron enfriadas a temperatura ambiente, y la absorbancia fue medida a 750 nm en un lector de microplacas (BIOBASE-EL 10A, China). El respectivo solvente de extracción fue usado como control. La curva empleada se realizó con 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}).

3.5.2 Actividad antioxidante

Para determinar la actividad antioxidante de los extractos de *M. geometrizans*, se siguió el método descrito por Moutinho et al. (2013), donde se emplea el radical estable DPPH. Se prepararon soluciones a distintas concentraciones (0.0, 0.04, 0.08, 0.13, 0.2 y 0.25 mg mL^{-1}), de las cuales 25 μL se mezclaron con 200 μL de DPPH (150 μM en etanol absoluto). La mezcla del reactivo con cada extracto se dejó en reposo durante 30 min en condiciones de oscuridad, una vez transcurrido este tiempo, se midió 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) usando la siguiente ecuación:

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

donde $Abs_{control}$ representa la absorbancia del control (etanol absoluto) y $Abs_{muestra}$ representa la absorbancia de la muestra. El alcance antiradical se expresó como CI_{50} , es decir la concentración del compuesto causante del 50% de RSA. Todas las evaluaciones se realizaron por triplicado.

3.5.3 Perfil fenólico por el método de UHPLC

Se siguió el método de UHPLC, empleado por Charles-Rodríguez et al. (2020). Los extractos se inyectaron en un cromatógrafo Shimatzu Nexpera X2 UHPLC con detector de diodos de matriz (Shimadzu, SPD-M20A). La separación se llevó a cabo en

una columna de fase invertida de Aquity UPLC BEH C18 (2.1 mm × 100 mm, 1.7 μm de tamaño de partícula; de Waters, EU) y una precolumna elaborada del mismo material a temperatura de 40 °C. Se utilizó un caudal de 0.4 mL min⁻¹. Los disolventes de grado HPLC empleados fueron agua y ácido fórmico a una concentración de 0.1% (disolvente A) y acetonitrilo (disolventes B). El gradiente de elución del solvente B fue de 0.0 a 5.5 min, eluyente B al 5.0%, de 5.5 a 17 min un incremento lineal a 60.0%, de 17.0 a 18.5 min un incremento lineal a 100.0%, luego el equilibrio de columna fue de 18.5 a 30.0 min al 5.0%. Los compuestos fueron cuantificados e identificados en diferentes longitudes de onda, utilizando estándares de referencia. Todos los análisis fueron llevados a cabo por triplicado.

3.6 Actividad antifúngica

En esta prueba se empleó la cepa *Fusarium oxysporum* (no. de ascensión MT001892), proporcionada por el Centro de Investigación Científica de Yucatán, México (CICY). El hongo se incubó a 27 ± 2°C por un período de 7 días para su posterior uso. Los extractos de *M. geometrizans* se evaluaron en siete concentraciones (0, 500, 1000, 1500, 3000, 6000, 8000 mg L⁻¹) para ambos extractos obtenidos; empleando la técnica de medio envenenado usada por Jasso de Rodríguez et al. (2017), con el objetivo de identificar el efecto de inhibición de los extractos sobre el hongo fitopatógeno bajo estudio (Figura 6).

El medio envenenado se preparó en matraces Erlenmeyer de 250 mL, en condiciones de esterilidad, combinando agar PDA con la correspondiente concentración de extracto. La mezcla se descargó en cajas Petri con un diámetro de 5.0 cm. Se sembró un explante del hongo de 0.7 cm de diámetro en la parte central de la caja. Las cajas se incubaron a 27 ± 2°C hasta que el control absoluto invadió la caja Petri. Durante este período se midió el crecimiento micelial en intervalos de 24 h en centímetros, para posteriormente, determinar el porcentaje (%) de inhibición empleando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de inhibición} = \frac{DC-DT}{DC} \times 100 \quad \text{Ec. 2}$$

donde DC corresponde al diámetro del control y DT es el diámetro de los tratamientos a distintas concentraciones. Para las evaluaciones se realizaron cinco repeticiones por tratamiento.

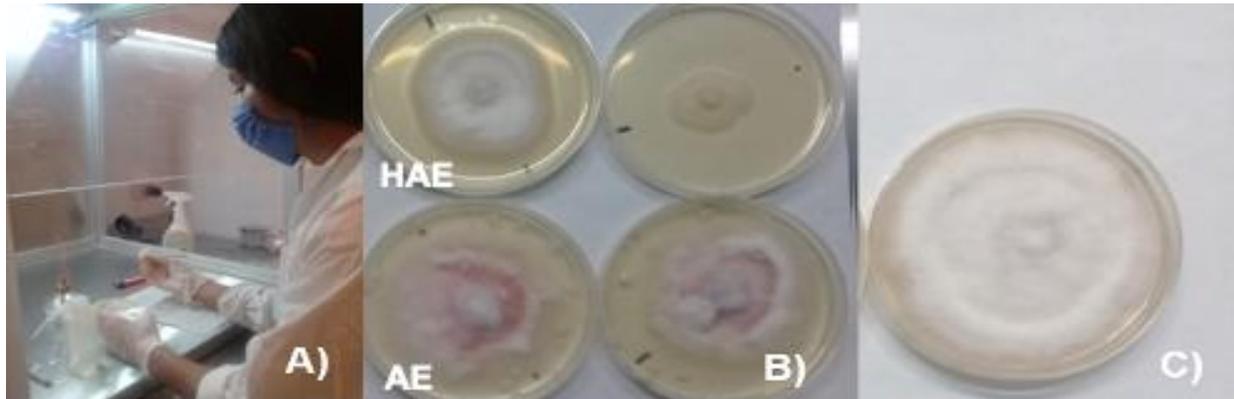


Figura 6. Prueba de actividad antifúngica: A) Siembra del explante de *F. oxysporum* en la caja; B) Efecto inhibitorio de ambos extractos sobre *F. oxysporum*, a) Efecto del extracto hidroalcohólico (EHA), b) Efecto del extracto acuoso (EA); C) Control absoluto *F. oxysporum*.

3.6.1 Concentración mínima inhibitoria (CMI)

La concentración mínima inhibitoria (CMI) se define como la concentración de los extractos de *M. geometrizans* que inhibieron el crecimiento *in vitro* de *F. oxysporum* en un 50% y 90%, expresada en términos de CMI_{50} y CMI_{90} , respectivamente. Dichas concentraciones se calcularon por medio de un programa estadístico SAS Probit (versión 9.1), fundamentado en el método de interpolación logarítmica (Jasso de Rodríguez et al., 2015; Castillo, 2010).

3.6.2 Elección del extracto para funcionalizar el recubrimiento

La elección del extracto se basó en los resultados obtenidos en actividad antioxidante y antifúngica (en términos de CMI). Se seleccionó aquel extracto en el que se requiriera menor concentración para obtener efectos más favorables sobre el hongo fitopatógeno.

Etapla II. Desarrollo de recubrimientos funcionales a base de mucílago de chíá y evaluación de su efecto en la vida de anaquel de zarzamora

Todos los reactivos utilizados en la Etapa II fueron grado analítico. Para las pruebas de vida de anaquel se emplearon diferentes reactivos: Hidróxido de sodio (DEQ, México), fenolftaleína (ACS, México), agar papa dextrosa (PDA) (TM MEDIA, India), agar cuenta en placa (PCA) (TM MEDIA, India), peptona de caseína (Solbiosa, México) y cloruro de sodio (DEQ, México).

3.7 Materia prima

Para la elaboración de RC se utilizó semilla de chíá (*S. hispanica* L.) variedad negra, originaria de Huaquechula, Puebla. El glicerol fue adquirido con Jalmek (México) y el CaCl₂ con Merck (J.T. Baker, Japón). Los frutos de zarzamoras (*R. fruticosus* var. tupy) fueron adquiridos en un mercado local en Saltillo, Coahuila. La elección de las zarzamoras se basó en características del fruto en cuanto a color, tamaño, peso aparente madurez, buscando establecer una homogeneidad en los frutos considerados para la prueba. Posteriormente, se almacenaron en condiciones de refrigeración a 5 °C y 85% de humedad relativa (HR) hasta su uso.

3.8 Extracción de mucílago

Para la extracción de mucílago, siguió la metodología empleada por Charles-Rodríguez et al. (2020). Para ello, se preparó una suspensión de semilla de chíá en una proporción 1:10 (p/v) (50 g en 500 mL de agua), bajo condiciones de agitación constante (500 rpm por 60 min, temperatura ambiente). Una vez transcurrido este período, la mezcla se licuó por 10 s a baja velocidad y se centrifugó (Beckman Coulter, Allegra X-I2R, EU) a 10,000 rpm durante 10 min a temperatura ambiente, finalmente el sedimento obtenido se separó del mucilago (Figura 7).



Figura 7. Obtención del mucílago de chía.

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

Para la formulación del RC, se empleó la matriz optimizada por el grupo de investigación y reportada por Charles-Rodríguez et al. (2020), la cual consiste de 24% (p/v) de mucílago fresco, 0.15 % (p/v) de cloruro de sodio y 0.05% (p/v) de glicerol. El RC se preparó disolviendo los componentes bajo agitación constante, y posteriormente, se incorporó el extracto seleccionado en la ETAPA I hasta conseguir un sistema homogéneo. La mezcla resultante se colocó en un contenedor adecuado para recubrir los frutos empleando un método de inmersión.

3.9 Vida de anaquel

3.9.1 Aplicación de recubrimiento a base de mucílago de chía funcionalizado con extracto de *M. geometrizans* en zarzamora

Las Figuras 8 y 9 muestran las etapas que se siguieron para la aplicación del RC en los frutos, los cuales no recibieron lavado posterior al corte. Los frutos fueron separados y seleccionados, considerando como merma aquellos demasiado maduros. La aplicación del RC se llevó a cabo por inmersión, y consistió en sumergir las zarzamoras por 10 s en la solución formadora del recubrimiento (500 mL de la matriz formadora de recubrimiento funcionalizada con 957.5 mg EHA). Posteriormente, los frutos recubiertos fueron llevados a secado a 30 °C, usando un horno con secado por convección (Yamato, China) por 20 min. La distribución de los frutos se realizó utilizando

tres charolas de aluminio por tratamiento (control y frutos recubiertos) y por tiempo de evaluación, colocando 10 frutos por charola. Para el tratamiento control se usaron frutos sin recubrir. Como paso final, las zarcamoras de ambos tratamientos se almacenarán a 5 °C por 15 días a 85% HR, realizando evaluaciones de la calidad poscosecha del fruto (pérdida de peso, color, firmeza, pH, entre otros) en el tiempo 0, 3, 6, 9, 12 y 15 días.

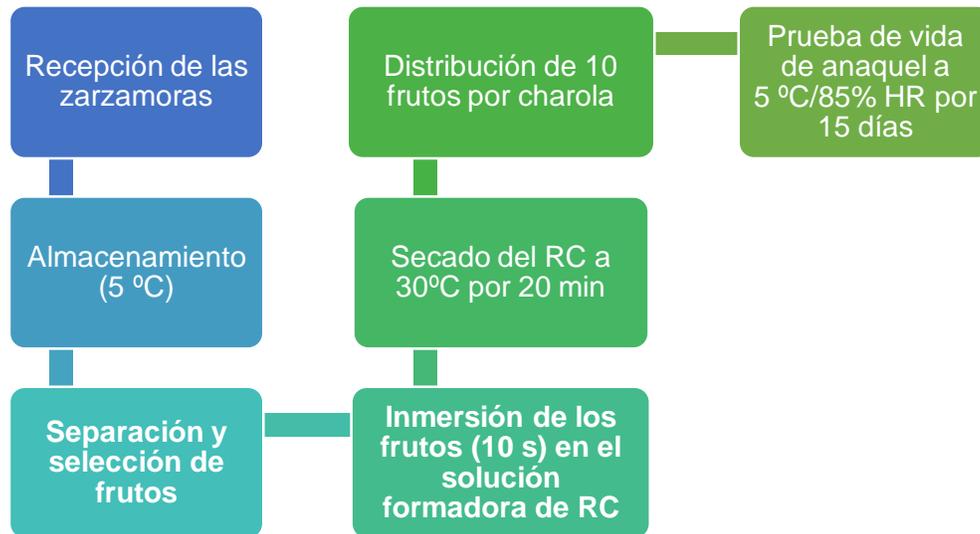


Figura 8. Pasos seguidos para la aplicación de RC en zarcamoras.



Figura 9. Montaje de la prueba: A) Aplicación del recubrimiento; B) Secado de los frutos; C) Distribución de los frutos en charolas; D) Almacenamiento.

3.9.2 Pérdida de peso

La pérdida de peso de las zarzamoras durante la vida de anaquel se calculó como plantea Salas-Méndez et al. (2019) y se expresó en porcentaje (%) para los dos tratamientos (control y fruto recubiertos). Se calculó considerando desde el día 0 hasta el día 15 de almacenamiento, tomando el peso (g) de 10 frutos por muestreo (Figura 10). El porcentaje total de la pérdida de peso se consideró como la diferencia entre el peso inicial y final del fruto, siguiendo la ecuación:

$$Pérdida\ de\ peso\ (\%) = \frac{P_i - P_f}{P_i} * 100 \quad \text{Ec. 3}$$

donde P_i es el peso del tiempo 0 y P_f corresponde al peso del día de evaluación.



Figura 10. Determinación de peso.

3.9.3 Firmeza

La firmeza del fruto de zarzamora (10 frutos por tratamiento en cada tiempo de evaluación) se midió según Moreno y Oyola (2016), empleando un analizador de textura (EXTECH, China), empleando una sonda de 3 mm (Figura 11). El valor para este parámetro se basó en determinar la fuerza necesaria para penetrar el fruto. El analizador de textura permite determinar el grado de madurez de la fruta. Los resultados se expresaron en Newton (N).



Figura 11. Determinación de firmeza

3.9.4 Sólidos solubles totales (SST), pH y acidez titulable (AT)

Para realizar las determinaciones de SST, pH y AT, fue necesario obtener el jugo de zarzamora por tratamiento en cada tiempo de evaluación. Para ello, se pesaron por muestreo y tratamiento, 40 g de zarzamoras, las cuales fueron procesadas utilizando un

extractor de jugo (BLACK&DECKER, China), seguida de un filtrado empleando un papel filtro. Las mediciones de pH se realizaron de acuerdo con Vieira et al. (2016), introduciendo el electrodo del potenciómetro (HANNA, China) en el jugo de zarzamora (20 mL). Para la determinación de SST y AT se siguieron las metodologías descritas por AOAC (1997). La detrmnacion de SST se realizó con la ayuda de un refractrómetro (PROCKET-ATAGO, EUA). En el caso de la determinación de AT, a 5 mL de jugo se le adicionaron 5 gotas de fenolftaleína (0.1%), seguidos de titulación con hidróxido de sodio (0.1 N), expresando los resultados como porcentaje de ácido málico (%). Todas las evaluaciones se realizaron por triplicado.

3.9.5 Análisis microbiológico

En 90 mL de agua peptona se diluyeron 10 g de muestra a fin de obtener la solución madre. Se realizaron diluciones seriadas empleando agua peptonada, las cuales se vaciaron en agar PCA y agar 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 (Figura 12). 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 PCA 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 mésofilos totales y mohos y levaduras totales se expresaron en log UFC g⁻¹.



Figura 12. Análisis microbiológico

3.9.6 Color

El color de la superficie de las zarzamoras se determinó de acuerdo con Pérez-Gallardo et al. (2015) empleando un colorímetro (Minolta, EUA). Las mediciones se realizaron en dos puntos de cada fruto, considerando 10 frutos por tratamiento y tiempo de evaluación. Valores de L^* se consideraron para luminosidad, a^* para enrojecimiento y b^* para determinar la tonalidad amarillo/azul (Figura 13). También se midieron los valores de croma (C^*) y el ángulo de tono (h°), empleando la Ec. 4 y 5, respectivamente:

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad \text{Ec. 4}$$

$$h^\circ = \tan^{-1}(b^*/a^*) \quad \text{Ec. 5}$$



Figura 13. Medición de color.

3.10 Análisis estadísticos

Los resultados fueron analizados usando un análisis de varianza (ANOVA) en el software FAUANL (Olivares, 1994). La comparación de medias se llevó a cabo por medio del método Tukey y diferencias entre tratamientos de $p < 0.05$ fueron consideradas significantes. El análisis Probit (programa de análisis SAS Probit, Versión 9.1) se aplicó para determinar la concentración de extracto de *M. geometrizans* que provoca una inhibición del 50% y 90% del crecimiento visible del hongo fitopatógeno (*F. oxysporum*) respecto al control (CMI_{50} y CMI_{90} , respectivamente).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

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

4.1 Caracterización de la materia prima

En el Cuadro 6 se presentan la caracterización fisicoquímica y bromatológica de frutos de *M. geometrizans*. Se determinó un contenido de materia seca de 89 g 100 g⁻¹, destacando el alto contenido de carbohidratos (67.4 g 100 g⁻¹). Tal comportamiento ha sido reportado anteriormente en tunas, frutos de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill., que pertenecen a la misma familia (Cactaceae) de *M. geometrizans*, con valores en el rango de 68.5 a 92.7 g 100 g⁻¹, dependiendo de la parte del fruto (pulpa, cáscara o semilla) (Valero-Galván et al., 2021).

Cuadro 6. Caracterización fisicoquímica del fruto de *M. geometrizans*.

Parámetros evaluados	Padierna-Araiza, 2021 ⁽¹⁾	Guzmán-Maldonado et al. (2010) ⁽²⁾
(g 100 g⁻¹)		
Humedad	11.0 ± 3.6	83.4-84.4
Materia seca	89.0 ± 3.6	n.d.
Grasa	4.7 ± 0.0	0.66-0.69
Fibra	6.7 ± 0.4	3.49-3.69
Proteína	5.1 ± 1.6	0.71-0.87
Cenizas	5.2 ± 0.1	0.51-0.64
Carbohidratos	67.4 ± 1.7	10.30-10.56
Fenoles solubles	n.d.	0.91-0.10
(mg AT g⁻¹)		
Azúcares totales	921.9 ± 75.4	n.d.
Azúcares reductores	854.9 ± 101.3	n.d.
(g AG kg⁻¹)		
Fenoles totales (CFT)	4.3 ± 0.4	n.d.

n.d.: no detectado. Resultados expresados en g 100 g⁻¹ base seca⁽¹⁾ y en base fresca⁽²⁾.

El contenido de proteína (5.1 g 100 g⁻¹), grasa (4.7 g 100 g⁻¹), fibra (6.7 g 100 g⁻¹) y cenizas (5.2 g 100 g⁻¹) de los frutos de *M. geometrizans* fueron más elevados a los reportados por Guzmán-Maldonado et al. (2010). Los autores sugirieron a partir de sus resultados, que el fruto de *M. geometrizans* podría ser considerado como una fuente

favorable para la salud humana, debido a su interesante contenido de fibra dietética. Por otra parte, para el nopal (*O. ficus indica* var. redonda), se han encontrado valores menores de proteína (7.1 g 100 g⁻¹) y de lípidos (2.2-1.9 g 100 g⁻¹) (Hernández-Urbiola et al., 2010).

Los resultados obtenidos en este estudio varían con respecto a los reportados con anterioridad para el fruto de *M. geometrizans*. Tales diferencias podrían atribuirse al tratamiento y condiciones de muestreo; además, De Souza et al. (2014) señalan que la variabilidad de compuestos bioactivos en frutos se deben a diversos factores como las condiciones climáticas, suelo, el manejo de las mismas, así como la diversidad de métodos de extracción empleados. Por otra parte, Faniadis et al. (2010) encontraron que la diferencia fisicoquímica también pueden atribuirse al tipo de cultivar, lugar de cosecha y condiciones de almacenamiento.

El fruto de garambullo presentó un CFT de 4.3 g AG kg⁻¹ de peso seco, valores menores a los reportados por Herrera-Hernández et al. (2011) para la fruta madura de garambullo (7.4 g AG kg⁻¹ de peso fresco). Esta diferencia puede relacionarse con las condiciones de cultivo y variedad, factores mediambientales, grado de maduración del fruto, entre otros. Serrano et al. (2009) observaron el aumento de CFT en cereza conforme aumentaba la madurez para los diferentes cultivares estudiados, observando también diferencias significativas entre ellos. Faniadis et al. (2010) encontraron que las cerezas cosechadas en altitudes más elevadas contenían un alcance fenólico y antioxidante superior en la cantidad de cultivares estudiados, sin afectar las características físicas de la berry, a la par que corroboraron como al someter las frutas a un período de almacenamiento corto con diferentes temperaturas, produjo variabilidad en el contenido de antioxidantes sujetos al cultivar y lugar de cosecha. Considerando que los compuestos fenólicos influyen de manera importante en la calidad de la fruta en parámetros de color, sabor, aroma (Tomás-Barberán y Espín 2001), los frutos que presenten una mayor cantidad de contenido de fenoles albergan una mejor calidad (Serrano et al., 2009).

El contenido de azúcares totales encontrados para el fruto de *M. geometrizans* muestra contenidos más elevados (921.9 ± 75.4 mg AT g⁻¹) que los reportados por de

Souza et al. (2015) para *O. ficus-indica*, quienes encontraron valores 98.3 mg AT g⁻¹ de pulpa. Estos resultados son interesantes, puesto que demuestran el potencial del fruto de *M. geometrizans* como una importante fuente de azúcares intrínsecos, ya que el 92% de los azúcares detectados para el fruto de *M. geometrizans* correspondió a azúcares reductores (ej. sacarosa, glucosa y fructosa), los cuales son recomendables para consumo humano (Bailey et al., 2018).

Es de gran importancia el desarrollo e implementación de nuevas líneas de investigación que además de determinar la composición de la diversidad vegetativa en zonas estratégicas (como las desérticas que tienen como antecedentes la presencia de frutos con propiedades altamente demandadas por sectores industriales), también busquen la aplicación y explotación orientada hacia innovadoras alternativas como bien podría ser el desarrollo y producción de extractos.

4.2 Producción de extractos de *M. geometrizans*

En el Cuadro 7 se muestran los rendimientos obtenidos de los EA y EHA del fruto de *M. geometrizans*. El ANOVA señaló que existe influencia ($p < 0.05$) del solvente (agua o mezcla etanol:agua, 1:1) en los rendimientos de los extractos obtenidos. El EHA presentó mayor rendimiento (52.2%), seguido por el EA (42.7%). En contraste a los resultados obtenidos, se ha reportado la influencia del solvente sobre mayores rendimientos para extractos acuosos sobre etanólicos, tales como los detectados para extractos de hojas de *A. vera* de 47.4 y 9.6% para extractos acuoso y etanólicos, respectivamente (Flores-López et al., 2016b). Los rendimientos están en función de la solubilidad de los compuestos bioactivos, ya que esto condiciona el solvente que se emplea para su extracción (Bachtler y Bart, 2021). Por lo tanto, el emplear un solvente hidroalcohólico podría representar una ventaja en la cantidad de compuestos extraídos del fruto de *M. geometrizans*. En este contexto, se ha informado previamente que la concentración del solvente etanólico también ejerce un efecto en la extracción de compuestos polifenólicos (Adil et al., 2007), además de que la presencia de agua posiblemente podría favorecer la extracción, ya que provoca el hinchamiento de la matriz, proporcionando una mayor superficie de contacto para la extracción de compuestos (Both et al., 2014). Posiblemente, el rendimiento podría aumentar empleando métodos

emergentes (calentamiento óhmico, fluidos supercríticos, entre otros) para la extracción (Bachtler y Bart, 2021).

Cuadro 7. Rendimiento, contenido de fenoles totales (CFT) y actividad antioxidante de extractos del fruto de *M. geometrizans*.

Extracto	Rendimiento (%)	CFT (g GA kg ⁻¹ de extracto)	Cl ₅₀ (mg mL ⁻¹)
EA	42.7 ± 2.9 ^b	5.0 ± 0.1 ^b	23.1 ± 0.3 ^a
EHA	52.2 ± 0.8 ^a	10.1 ± 0.3 ^a	6.0 ± 0.7 ^b

EA-extracto acuoso; EHA-extracto hidroalcohólico. Los valores de la misma columna seguidos por diferentes letras son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$).

Por otro lado, algunos compuestos antioxidantes como antocianinas presentan una mayor solubilidad en etanol, y se ha demostrado que el etanol es más agresivo sobre las paredes celulares, lo que permite una mayor liberación de los compuestos (Lapornik et al., 2005). La aplicación que podrían tener estos compuestos es muy extensa y no se limita sólo dentro de la industria alimentaria, si no que podría tener alcance en la industria comestica y farmacéutica, entre otras (Matrose et al., 2021; Ong et al., 2021; Strati y Oreopoulou, 2014).

En los últimos años, el empleo de fungidas sintéticos ha mostrado desventaja, ya que además de representar opciones limitadas, existe la posibilidad de que los hongos desarrollen resistencia (McGehee et al., 2019). Por ello, surge la necesidad de encontrar fuentes alternativas a la par que el conocimiento disponible de los efectos favorables que proporcionan sobre compuestos sintéticos ha ido aumentando (Shokouhi y Seifi, 2020). La composición de los extractos obtenidos de plantas representen una innovadora alternativa para el control de patógenos que se desarrollan en cultivos y frutos y vegetales en poscosecha, además de ser ecológicos y económicos (El-Samawaty et al., 2021).

Hasta el momento no se han reportado investigaciones orientadas hacia el aprovechamiento de los compuestos bioactivos del fruto de *M. geometrizans*. Los pocos reportes científicos se centran prioritariamente en los pigmentos rojos hidrosolubles contenidos en el fruto, la caracterización del fruto, alargamiento de la vida postcosecha y en los beneficios nutricionales y funcionales que acarrea el consumo del fruto no

procesado. Sin embargo, en el presente trabajo surge la posibilidad de considerar el aprovechamiento del fruto de *M. geometrizans* en otros campos de la industria y de la investigación a través de la obtención de extractos, debido al interesante perfil de compuestos bioactivos y actividad antioxidante que se describen a continuación.

4.3 Caracterización de extractos de *M. geometrizans*

4.3.1 Fenoles totales

El efecto del solvente también fue observado en el CFT, ya que el EHA presentó el doble de CFT que el EA (10.1 ± 0.3 y 5.0 ± 0.1 g GA kg⁻¹ de extracto, respectivamente) (Cuadro 7). En la actualidad no existe información disponible sobre extractos producidos a partir del fruto de *M. geometrizans*; sin embargo, la información generada para otras especies que se desarrollan en climas similares o toleran las mismas condiciones climáticas puede utilizarse como referencia. En general, ambos extractos de fruto de *M. geometrizans* presentaron valores de CFT menores que los reportados para extractos metanólicos de *R. coriaria* L. (171.7 g GA kg⁻¹ de extracto), y para extractos acuosos e hidroalcohólicos de fruto de *R. microphylla* (146.8 y 151 g GA kg⁻¹ de extracto, respectivamente) (Charles-Rodríguez et al., 2020; Kosar et al., 2007).

Se ha informado previamente que el solvente ejerce un efecto significativo sobre el CFT (Bekir et al., 2013), por ello en la elección del solvente debe considerarse el tipo de compuestos que interesa extraer (Dirar et al., 2019). Además, el bajo CFT del EA puede deberse a la presencia de otros compuestos solubles extraídos como carbohidratos solubles en lugar de compuestos fenólicos (Do et al., 2014). Por otra parte, este comportamiento se ha observado en extractos obtenidos con solventes polares (ej. etanol), los cuales presentan un mayor CFT que en extractos obtenidos con solventes no polares (ej. diclorometano) (Bekir et al., 2013). También se ha señalado que el contenido se puede ver afectado por el tratamiento previo a la muestra y condiciones del cultivo (Faller y Fialho, 2009).

De esta manera, considerando los resultados de esta investigación, es posible asumir que los extractos de fruto de *M. geometrizans* obtenidos con la mezcla de solvente agua:etanol (1:1) (EHA), presentan un mayor contenido de metabolitos secundarios de naturaleza fenólica. Sin embargo, no es suficiente basar esta afirmación para determinar

el potencial de los extractos de *M. geometrizans*, así que se realizaron pruebas que contribuyeron para determinar su potencial bioactivo, de tal manera de poder preveer los efectos promisorios de los mismos.

4.3.2 Actividad antioxidante

El radical DPPH se emplea extensamente con la finalidad de valorar el potencial de eliminación de radicales libres por parte de los antioxidantes (Zhenbao et al., 2007). El método DPPH se empleó para determinar el potencial antirradical de los compuestos antioxidantes contenidos en los extractos de *M. geometrizans* (EA y EHA) (Cuadro 7). Los resultados de actividad antioxidante se presentaron en términos de CI_{50} , que expresa la concentración requerida de compuestos para provocar la inhibición de la oxidación en un 50%; siendo que, valores más bajos indican mayor potencial antioxidante. El extracto HAE mostró una significativa mayor actividad antioxidante en comparación con el EA, 23.1 ± 0.3 y 6.0 ± 0.7 mg mL⁻¹, respectivamente. Según Flores-López et al. (2016b) existe una relación directa entre CFT y la actividad antioxidante. Este comportamiento fue confirmado en el presente estudio, ya que el HAE presentó mayores valores de CFT y mejor actividad antioxidante en comparación con el EA.

Por otro lado, se confirmó el potencial antioxidante de ambos extractos obtenidos en este estudio, ya que presentaron valores menores que los encontrados para otros extractos de plantas que comparten condiciones climáticas similares a las de *M. geometrizans*. Por ejemplo, Charles-Rodríguez et al. (2020) reportaron valores de CI_{50} de 0.13 mg mL⁻¹ y 0.17 mg mL⁻¹ para el extracto acuoso e hidroalcohólico de frutos de *R. microphylla*; mientras que Cid-Pérez et al. (2019) detectaron valores en el rango de 83.7 mg L⁻¹ para aceites esenciales de *Poliomintha longiflora*.

4.3.3 Perfil fenólico por UHPLC

La cuantificación del contenido de fenoles por UHPLC de los extractos de *M. geometrizans* se presenta en el Cuadro 8. En ambos extractos se identificaron 4 compuestos fenólicos: ácido ferúlico, ácido *p*-cumárico + epicatequina, ácido elágico y rutina, mientras que en el HAE se detectó, además, la presencia de ácido romarínico. Algunos de estos compuestos ya han sido reportados previamente en el fruto de

M. geometrizans (epicatequina) (Correa-Betanzo et al., 2011). Los compuestos fenólicos se caracterizan por su poder antioxidante, que se producen con la finalidad de arrestar los radicales libres generados en el estrés oxidativo de la planta (Nair et al., 2018).

Cuadro 8. Perfil fenólico de extractos de fruto de *M. geometrizans* por UHPLC.

Compuestos fenólicos (mg L ⁻¹)	Extractos de <i>M. geometrizans</i>	
	EA	HAE
Ácido Ferúlico	8.3 (±0.0) ^a	8.3 (±0.0) ^a
Ácido p-cumárico + epicatequina	3.1 (±0.0) ^a	3.2 (±0.1) ^a
Ácido Elágico	4.8 (±0.1) ^b	5.1 (±0.0) ^a
Rutina	1.9 (±0.0) ^b	2.8 (±0.1) ^a
Ácido Rosmarínico	n.d.	12.4 (±0.1)

EA-extracto acuoso; EHA-extracto hidroalcohólico. n.d.: No detectado.

Valores con letras diferentes presentan diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).

El ANOVA presentó diferencias significativas en el contenido de ácido elágico y rutina, encontrándose en mayor ($p < 0.05$) concentración en el HAE. El ácido elágico es considerado uno de los antioxidantes más potentes que existen, además se ha reportado que posee un amplio poder antimicrobiano, actividad antitumoral, entre otros (Aldawsari y Hosny, 2018; Ascacio-Valdés et al., 2013). Por otra parte, la rutina ha demostrado características antibacteriana, antiprotozoaria, antitumoral, antiinflamatoria, antialérgica, antiviral, citoprotectora, vasoactiva, hipolipidémica, antiplaquetaria, antiespasmódica y antihipertensiva (Patel y Patel, 2019).

Por otro lado, ambos extractos presentaron la misma concentración de ácido ferúlico y de la mezcla ácido p-cumárico+epicatequina. Se ha demostrado que el ácido ferúlico posee propiedades antimicrobianas, por ejemplo, sobre *Cronobacter sakazakii* (Shi et al., 2016), *Listeria monocytogenes* (Takahashi et al., 2013), además de actividad antioxidante, lo que lo convierte en un metabolito interesante (Berton et al., 2020). En este contexto, el ácido p-cumárico también ha mostrado propiedades antiinflamatorias (ej. influye y afecta la producción citocinas proinflamatorias) (Souza et al., 2021), antimicrobianas (ej. inhibición de *Shigella dysenteriae*) (Lou et al., 2012) y antioxidantes (ej. proporciona protección al tejido renal contra las moléculas oxidativas) (Mozaffari Godarzi et al., 2020). La composición determinada en esta sección genera expectativas

promisorias, ya que el encontrar en extractos compuestos como epicatequina que se suma a moléculas antes mencionadas con propiedades antimicrobianas (Zhang et al., 2020) y antiinflamatorias (Ruijters et al., 2014), deriva en una posible sinergia entre los compuestos involucrados y sus propiedades.

Los resultados obtenidos confirman el interesante potencial de los extractos de frutos de *M. geometrizans*, que pueden representar una excelente alternativa para combatir el crecimiento de microorganismos fitopatógenos de una manera innovadora y amigable con el medio ambiente en la producción y distribución de productos hortícolas.

4.4 Actividad antifúngica

El efecto de la actividad antifúngica de las concentraciones de extractos del fruto *M. geometrizans* (EA y EHA) sobre *F. oxysporum* se muestran en la Figura 14. El HAE fue más efectivo en el control de *F. oxysporum* que el EA, ya que a partir de la concentración de 3000 mg L⁻¹ permitió la inhibición del 60.1% del crecimiento fúngico; mientras que con concentraciones superiores a 6000 mg L⁻¹ inhibió al 100% a *F. oxysporum*. Por su lado, el EA presentó porcentajes de inhibición inferiores del 10% con todas las concentraciones evaluadas. Cabe señalar que en el caso del HAE, éste presentó un efecto dependiente de la concentración (Charles-Rodríguez et al., 2020), observándose diferencias significativas ($p < 0.05$) en la actividad antifúngica conforme se incrementó la concentración del mismo.

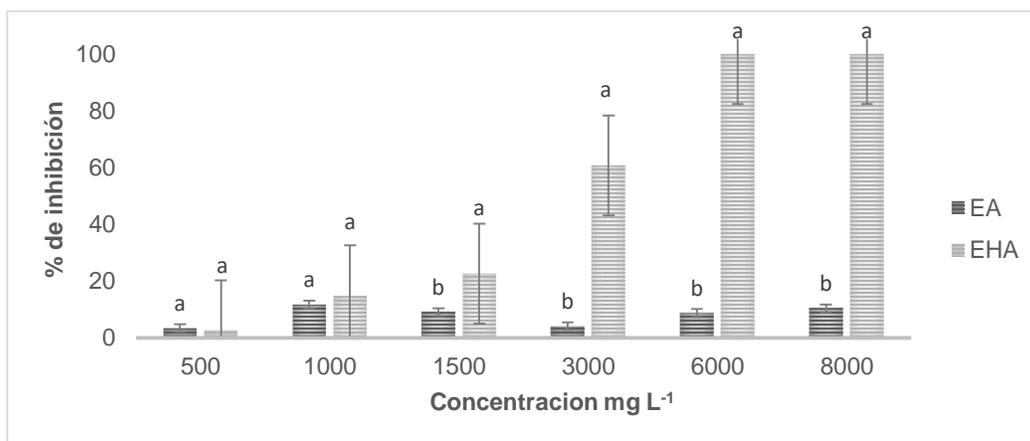


Figura 14. Efecto antifúngico de los extractos del fruto de *M. geometrizans* sobre *F. oxysporum* expresado como porcentaje (%) de inhibición.

De igual manera, el HAE de fruto *M. geometrizans* demostró actividad inhibitoria superior que la detectada para los extractos etanólicos de *R. muelleri* contra *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* reportados por Jasso de Rodríguez et al. (2015), donde el efecto mayor se alcanzó con concentraciones de 4500-6000 mg L⁻¹ para provocar una inhibición desde el 66.8% al 71.4%. Los autores también reportaron un alcance inhibitorio sobre el desarrollo micelial *in vitro* del 50% sobre el mismo patógeno empleando 3363 mg L⁻¹ de extracto etanólico de *R. muelleri*. Por otro lado, Charles-Rodríguez et al. (2020) encontraron alcances inhibitorios del 60% empleando una concentración de 3000 mg L⁻¹, usando un extracto HAE de fruto de *R. microphylla*. Ramírez et al. (2020) determinaron por medio de un extracto a base de hojas de *S. rebaudiana* en hexano, que una dosis de 833 mg L⁻¹ logró inhibir el desarrollo micelial en más al 50% de *F. oxysporum*. Osorio et al. (2010) reportaron extractos con alta efectividad antifúngica a pequeñas concentraciones (0.02 mg L⁻¹), ya que los extractos obtenidos de extractos de acetona (70%) de cáscara de nuez pecana presentaron una inhibición del 80% sobre *F. oxysporum*.

Cabe señalar que es la primera vez que se reporta la actividad antifúngica de extractos derivados de fruto de *M. geometrizans* sobre *F. oxysporum*; ya que sólo se existen reportes sobre la presencia de actividad insecticida de extractos elaborados a partir de otras partes del cactus (raíces y partes aéreas) (Céspedes et al., 2005). Los resultados obtenidos comprueban el potencial competitivo que puede alcanzarse con la producción del HAE de fruto de *M. geometrizans*. Sin embargo, para determinar si su producción y aplicación tendría potencial, es necesario conocer la rentabilidad y con ello se hace esencial establecer la cantidad necesaria para obtener resultados favorables estableciendo las concentraciones mínimas inhibitorias efectivas.

4.4.1 Concentración mínima inhibitoria (CMI)

El análisis Probit se muestra en el Cuadro 9, el cual señala las concentraciones mínimas necesarias (mg L⁻¹) para inhibir el crecimiento micelial de *F. oxysporum* al 50% y 90% (CMI₅₀ y CMI₉₀, respectivamente), siendo menores CMIs aquellas con mayor potencial antifúngico. En el caso del EA, no fue posible detectar las CMIs, ya que sólo presentó porcentajes de inhibición antifúngica por debajo del 10%. Por su parte, los

valores de CMI₅₀ y CMI₉₀ para el HAE fueron de 1915 y 4881 mg L⁻¹, respectivamente. Estos resultados indicaron el mayor potencial antifúngico del HAE sobre *F. oxysporum* que aquellos reportados por Charles-Rodríguez et al. (2020), quienes observaron valores de CMI₅₀ y CMI₉₀ de 2522.5 y 4251.1 mg L⁻¹, respectivamente, para extractos de naturaleza hidroalcohólica de frutos de *R. microphylla*. También, fueron mejores a los reportados por Jasso de Rodríguez et al. (2015) para extractos de hojas de *R. muelleri* sobre *F. oxysporum*, cuyos valores de CMI₅₀ y CMI₉₀ fueron de 3363.0 y 11793.0 mg L⁻¹, respectivamente. El extracto HAE demostró el potencial competitivo que podría acarrear la producción de extractos a partir de este fruto y expandiendo las posibles aplicaciones para la explotación de *M. geometrizans*.

Cuadro 9. CMI₅₀ y CMI₉₀ del extracto hidroalcohólico (HAE) de fruto de *M. geometrizans* para inhibir el crecimiento de *F. oxysporum*.

Extracto	CMI ₅₀ (mg L ⁻¹)	95% intervalo de confianza		CMI ₉₀ (mg L ⁻¹)	95% intervalo de confianza	
		Lower	Upper		Lower	Upper
HAE	1915	1631	2256	4881	3908	6661

CMI: Concentración mínima inhibitoria.

La selección del mejor extracto para su incorporación en RC para conducir las pruebas de vida de anaquel sobre zarzamora se llevó a cabo tomando en cuenta los parámetros determinados en esta etapa: rendimiento, fenoles totales, actividad antioxidante, perfil fenólico y actividad antifúngica. Los resultados derivaron en descartar el EA para posterior aplicación como antifúngico, debido a las propiedades menos favorables presentadas. Se seleccionó el EHA a concentración de 1915 mg L⁻¹ (CMI₅₀ necesaria para inhibir el crecimiento de *F. oxysporum*) para la funcionalización de recubrimientos a base de chíá, ya que mostró mejores propiedades en todos los parámetros estudiados, destacando su potencial antioxidante y antifúngico.

Etapa II. Desarrollo de recubrimientos funcionales a base de mucílago de chíya y evaluación de su efecto en la vida de anaquel de zarzamora

4.5 Vida de anaquel

4.5.1 Pérdida de peso

La Figura 15 muestra el efecto del período de almacenamiento y del tratamiento sobre la pérdida de peso en frutos de zarzamora. El RC funcionalizado con el HAE de *M. geometrizans* (RC+G) mantuvo total control en la pérdida de peso en zarzamora hasta los 6 días de almacenamiento; mientras que el control (frutos sin recubrir) presentaron significativamente mayor pérdida de peso desde el día 3 de evaluación hasta el final de la prueba (día 15), con valores superiores del 5.0 y 19.6%, respectivamente. De manera interesante, a partir del día 9 hasta el final de la prueba, la aplicación del RC+G permitió mantener la pérdida de peso de los frutos por debajo del 3.2%.

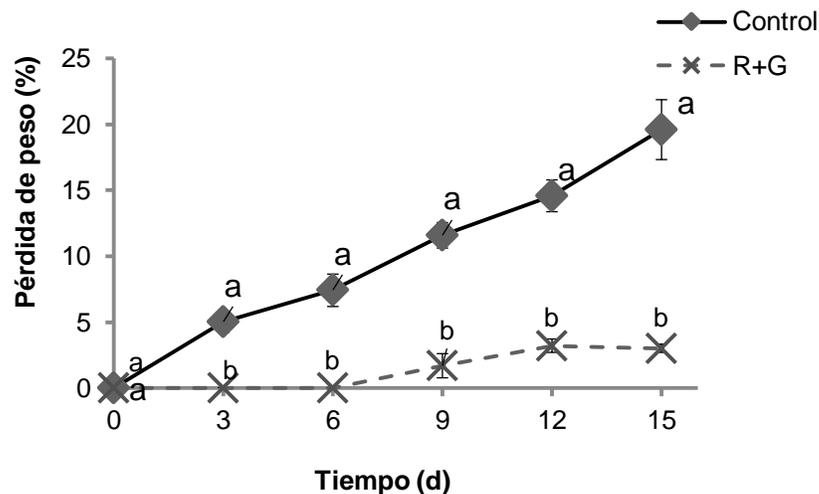


Figura 15. Efecto del recubrimiento de mucílago de chíya funcionalizado con extracto hidroalcohólico (HAE) de *M. geometrizans* (RC+G) en la pérdida de peso de zarzamoras recubiertas y sin recubrir almacenadas por 15 días a 5 °C y 85% HR.

Otros autores han informado resultados similares, por ejemplo, Cortés Rodríguez et al. (2020) informaron una mayor pérdida de peso en frutos de mora del tratamiento control que en los frutos recubiertos (empleando almidón de yuca, proteína de suero, cera

de abejas, quitosano, glicerol, ácido esteárico y ácido acético glacial), este comportamiento se relaciona al hecho de que el recubrimiento provoca la reducción de la tasa de respiración; y por su parte Li et al. (2019) afirman que el recubrimiento también disminuyen la transpiración del fruto, lo que se traduce en menor pérdida de peso.

En general, el efecto del RC+G podría atribuirse a que el recubrimiento disminuyó la pérdida de humedad del fruto (Khodaei et al., 2021a), ya que ésta es una de las principales razones de pérdida de peso (Quintana et al., 2021). De esta manera, se crea una barrera física que obstaculiza el intercambio entre el medio ambiente y la fruta (Ali et al., 2020).

4.5.2 Firmeza

La firmeza de ambos tratamientos disminuyó durante el almacenamiento (Figura 16), lo cual se asocia a la pérdida de humedad y la consiguiente pérdida de peso (Yousuf et al., 2021). Por otra parte Goulao y Oliveira (2008) señalan a la actividad de enzimas y a la degradación de polisacáridos como responsables del ablandamiento de los frutos. La firmeza de los frutos recubiertos fue significativamente menor a los días 6 y 9 del almacenamiento, posteriormente los valores fueron similares a los del control (frutos sin recubrir). La barrera parcial que proporcionó el RC+G puede deberse a su biodegradabilidad, ya que la matriz del RC a base de chía aplicada a frutos de zarzamora fue previamente caracterizada en el grupo de investigación y reportada por Rivera-Solís (2019), con valores de solubilidad de $17.4 \pm 5.0\%$ y humedad $26.3 \pm 2.8\%$, que le confieren dicha propiedad. Además, pudiera haberse presentado una interacción entre el fruto y el recubrimiento, lo que derivó en una transferencia de humedad entre ambos y su posterior ablandamiento (Glicerina et al., 2019). Los resultados obtenidos indican que frutos como la zarzamora pueden requerir la aplicación de RC con mayor resistencia a la humedad y a la solubilidad, de tal manera que puedan mantener su efecto barrera por más tiempo durante el almacenaje de los frutos.

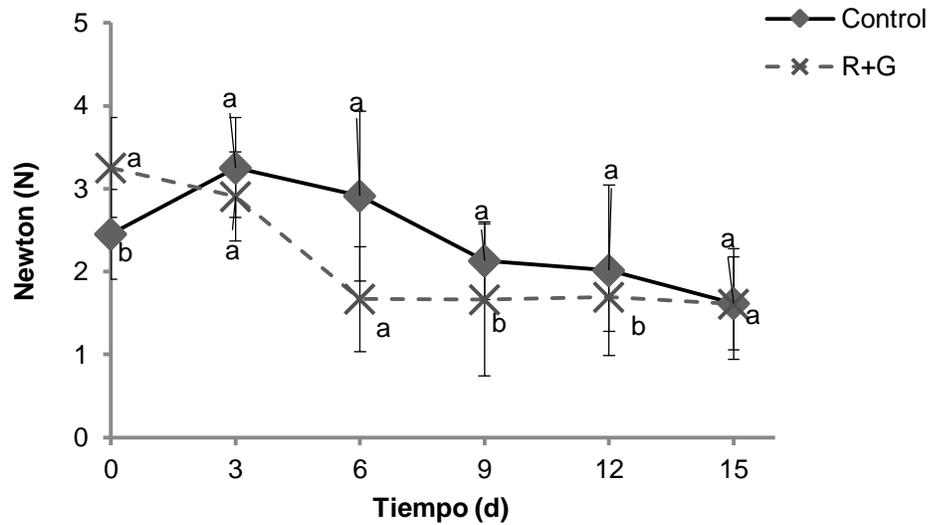


Figura 16. Efecto del recubrimiento de mucilago de chíá funcionalizado con extracto hidroalcohólico (HAE) de *M. geometrizans* (RC+G) en la firmeza (N) de zarzamoras recubiertas y sin recubrir almacenadas por 15 días a 5 °C y 85% HR.

4.5.3 pH, acidez titulable (A), sólidos solubles totales (SST)

Los resultados obtenidos para pH, A y SST se muestran en el Cuadro 10. La A y el pH se comportaron de manera similar, incrementando en ambos tratamientos a medida que el período de almacenamiento avanzaba. La A mostró diferencias significativas entre tratamientos en la etapa avanzada de almacenamiento (a partir del día 9), ya que los frutos recubiertos mostraron valores más altos de acidez. Basaglia et al. (2021) señalan que tal comportamiento podría deberse a que la composición del recubrimiento fue adecuada para disminuir la actividad respiratoria y evitar la pérdida en el contenido de ácidos. En ese contexto, Kishore et al. (2011) refieren que el cambio en SST es consecuencia, y están relacionados con la hidrólisis de carbohidratos. Los cambios en el contenido de SST fueron fenómenos naturales que ocurren durante el almacenamiento y se correlacionan con cambios hidrolíticos en los carbohidratos durante el almacenamiento.

Cuadro 10. Efecto del recubrimiento de mucilago de chia con extracto hidroalcohólico (HAE) de *M. geometrizans* (RC+G) en pH, acidez titulable (A), sólidos solubles totales (SST) de zarzamoras recubiertas y sin recubrir almacenadas por 15 días a 5 °C y 85% HR.

Variable	Tratamiento	Tiempo de almacenamiento (d)					
		0	3	6	9	12	15
A (%)	Control	5.3(0.2) ^a	5.5(0.7) ^a	6.6(0.1) ^a	5.8(0.2) ^b	5.9(0.2) ^b	5.8(0.2) ^b
	R+G	4.6(3.0) ^a	5.6(0.9) ^a	6.2(0.4) ^a	7.0(0.1) ^a	7.2(0.0) ^a	7.6(0.2) ^a
pH	Control	3.7(0.0) ^a	3.7(0.0) ^a	3.8(0.0) ^a	3.8(0.0) ^a	3.8(0.0) ^a	3.8(0.0) ^a
	R+G	3.6(0.0) ^b	3.8(0.0) ^a	3.6(0.0) ^b	3.7(0.0) ^a	3.8(0.0) ^a	3.8(0.0) ^a
SST (%)	Control	8.6(0.0) ^a	10.9(0.1) ^a	9.1(0.0) ^b	7.4(0.0) ^b	9.0(0.0) ^a	8.7(0.0) ^a
	R+G	8.6(0.0) ^a	8.7(0.0) ^b	9.3(0.0) ^a	8.1(0.0) ^a	6.9(0.0) ^b	7.1(0.0) ^a

Los valores de la misma columna seguidos por diferentes letras son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$).

Por otra parte, los bajos valores de A de ambos tratamientos en las diferentes etapas de almacenamiento, podrían ser consecuencia del estado más avanzado de madurez del fruto (Horvitz et al., 2017; Ayala Sánchez et al., 2013). En cuanto al parámetro de pH, únicamente dos muestreos mostraron diferencia significativa entre tratamientos. Este fenómeno podría atribuirse a la actividad enzimática y senescencia, que disminuyeron la cantidad de ácido en el fruto (Khodaei et al., 2021), derivado de la respiración de las zarzamoras durante el período de almacenamiento (Toğrul y Arslan, 2004). Es posible observar que los frutos recubiertos presentaron en todos los muestreos menores valores de pH, esto se ha observado en estudios anteriores (Cortés Rodríguez et al., 2020), pero no fueron significativamente diferentes en la mayoría de los muestreos, ya que existe la posibilidad de que el recubrimiento no provoque efectos en los cambios de pH, como lo han informado otros autores (Vargas et al., 2006).

En general, el comportamiento del tratamiento R+G fue similar a los reportados por Horvitz et al. (2017) en el fruto zarzamora (*R. glaucus* Benth) evaluando las condiciones de almacenamiento y diferentes estados de madurez, ya que no mostró una

tendencia consistente. Sin embargo, hasta el día 6 y día 9, el tratamiento con y sin recubrimiento respectivamente, mostraron un aumento en los SST y, posteriormente, una disminución. Ayala Sánchez et al. (2013) lo asocian al avance en el proceso de maduración del fruto. Además, Pizato et al. (2013) indicaron en que el aumento en los SST puede ser consecuencia a la concentración de azúcares derivada de la pérdida de agua.

4.5.4 Análisis microbiológico

En la Figura 17 y 18 se muestran los resultados obtenidos para el conteo de mohos y levaduras y para mesófilos aerobios totales, respectivamente. La contaminación microbiana en ambos tratamientos se mantuvo en crecimiento constante durante la prueba. La aplicación del recubrimiento no generó diferencia significativa entre tratamientos; sin embargo, el desarrollo de mohos y levaduras fue más notorio sobre otro tipo de microorganismos en las zarzamoras, tal como se ha señalado previamente en literatura, lo cual contribuyó en mayor medida a la degradación del fruto (Horvitz et al., 2017). Otros estudios también señalan a mohos y levaduras como microorganismos predominantes en moras durante el almacenamiento (Oliveira et al., 2013). El aumento constante de microorganismos durante el almacenamiento concuerda con otros autores (Guerreiro et al., 2016).

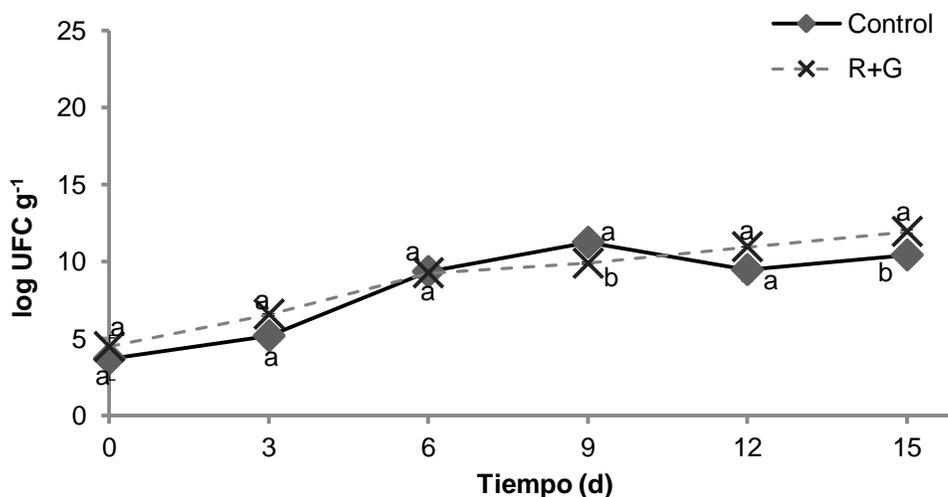


Figura 17. Efecto del recubrimiento de mucilago de chíá funcionalizado con extracto hidroalcohólico (HAE) de *M. geometrizans* (RC+G) en mohos y levaduras totales de zarzamoras recubiertas y sin recubrir almacenadas por 15 días a 5 °C y 85% HR.

Los valores iniciales determinados en este estudio son menores a los reportados por Oliveira et al. (2013) para zarzamora con un valor de 7×10^4 UFC g^{-1} . Como señala Glicerina et al. (2019), la alta susceptibilidad del fruto al ataque de microorganismos se atribuye a la composición de la piel del fruto, ya que al ser frágil no le representa ninguna protección, además como Panahirad et al. (2021) afirman, también se asocia el elevado contenido de agua con el impacto en las propiedades de calidad de los frutos. Por otra parte, Pinto et al. (2020) señalan al tipo de superficie del fruto como un factor importante que ejerce un efecto sobre el desarrollo de microorganismos.

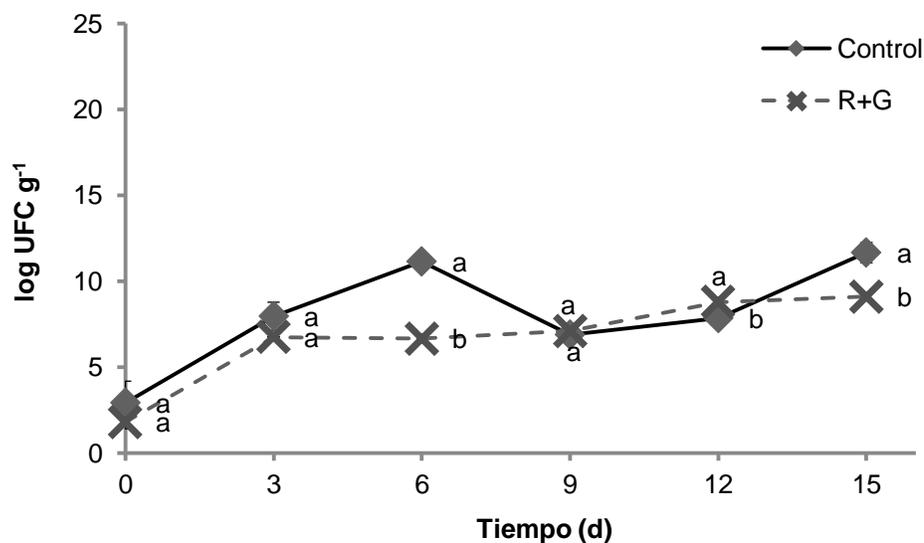


Figura 18. Efecto del recubrimiento de mucilago de chíá funcionalizado con extracto hidroalcohólico (HAE) de *M. geometrizans* (RC+G) en mesófilos aerobios totales de zarzamosas recubiertas y sin recubrir almacenadas por 15 días a 5 °C y 85% HR.

Horvitz et al. (2017) señala a la carga microbiológica en zarzamosas como uno de los principales obstáculos para prologar su vida útil; mientras que Basaglia et al. (2021), sugieren que el elevado contenido de estos microorganismos además de comprometer los atributos sensoriales compromete la inocuidad del producto.

Por ello, aunque es importante conocer la eficiencia de la tecnología implementada en las zarzamosas sobre los microorganismos fitopatógenos que las degradan y generan grandes pérdidas para los productores, también es importante considerar el impacto en

las propiedades organolépticas de las mismas, ya que tanto el consumidor y a su vez la aceptación del producto, representa finalmente otro eslabón importante en el éxito de las tecnologías poscosecha, y en la zarzamora. En este contexto determinar el color en zarzamosas es de suma importancia ya que este parámetro ejerce un efecto en la aceptación de los frutos (Falcó et al., 2019).

4.5.5 Color

Los valores determinados en las propiedades cromáticas (L^* ; a^* ; C^* y h°) se muestran en la Figura 19. En los primeros 9 días de almacenamiento (5 °C y 85% HR) se presentaron diferencias significativas en valores de a^* , C^* y h° . La disminución de valores de L^* están relacionados con la pérdida de luminosidad (Gonçalves et al., 2007), por lo cual el tratamiento control durante el almacenamiento se volvió más oscuro, como lo muestran los valores de L^* y de h° (Figura 19A y 19D, respectivamente). Estos dos parámetros disminuyeron durante todo el período de almacenamiento. A los 15 días no se encontraron diferencias significativas en a^* , C^* y h° en ningún tratamiento. El valor de a^* mostró un ligero incremento a medida que el período de almacenamiento aumentaba.

La disminución en los valores de L^* , como señalan Khodaei et al. (2021b), podría derivarse del desarrollo de mohos en la superficie, ya que conforme se acercaba el período final de la prueba, la contaminación era más elevada. Además, estos resultados también indican una disminución en el grado de oscurecimiento del fruto, como afirman Guerreiro et al. (2016). El h° cambió ligeramente, mostrando sólo en dos muestreos diferencias significativas. Horvitz et al. (2017) informaron un comportamiento similar en frutos de zarzamora (*R. glaucus* Benth) irradiados y no irradiados sin recubrir empleando también condiciones de almacenamiento en frío; sin embargo, los autores no lograron observar diferencias significativas durante el periodo de almacenamiento. En general, el valor de h° disminuyó durante el almacenamiento, correspondiendo 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 se relacionó con la aparición de un color rojizo en los frutos.

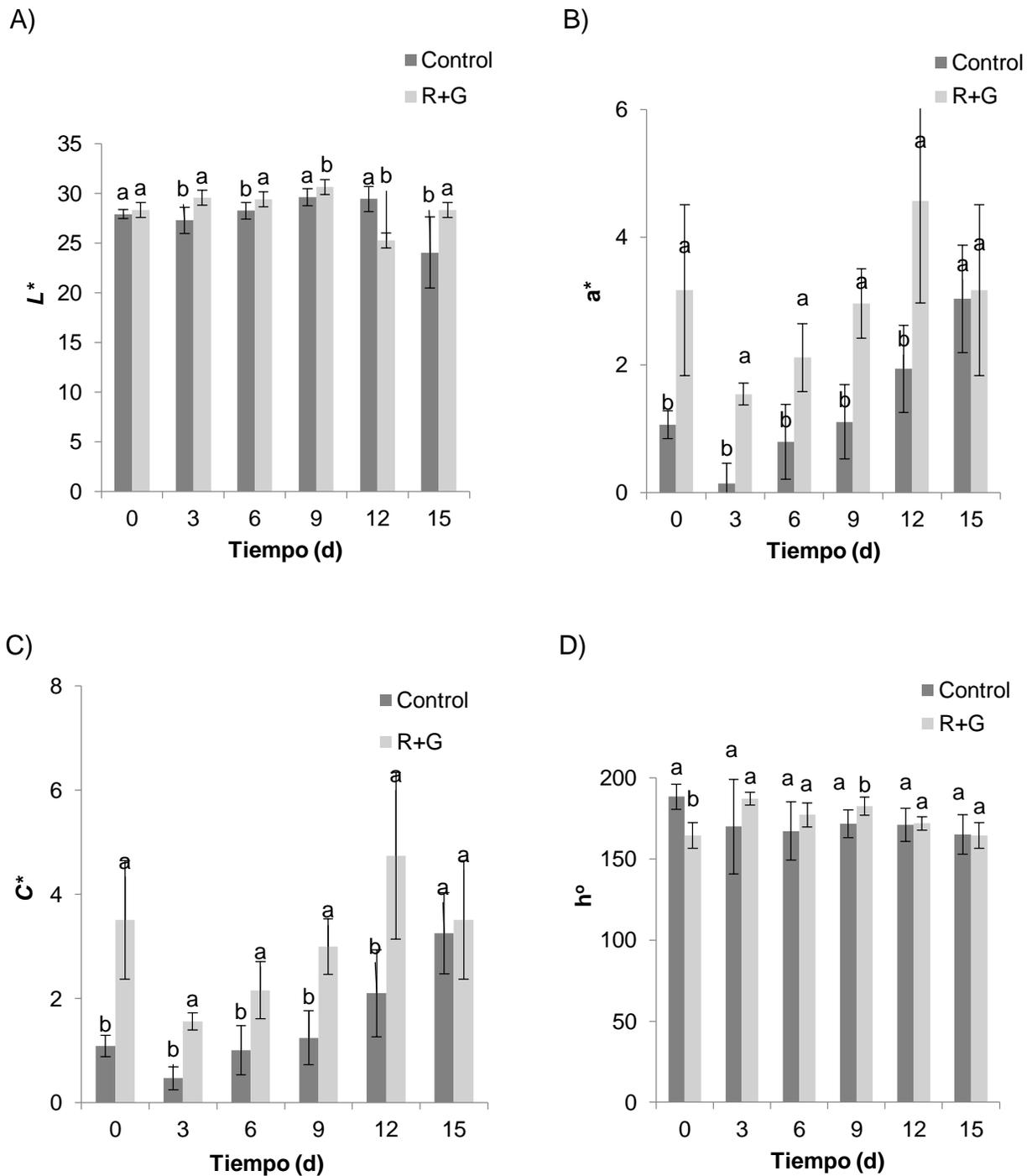


Figura 19. Efecto del recubrimiento de mucilago de chia chía funcionalizado con extracto hidroalcohólico (HAE) de *M. geometrizans* (RC+G) en parámetros de color en zarzamoras recubiertas y sin recubrir almacenadas por 15 días a 5 °C y 85% HR. A) L^* ; B) a^* ; C) $Croma$ D) Ángulo de tono.

El efecto que proporcionó el RC+G a los frutos de zarzamoras fue perceptible en los valores determinados (Figura 19). Se ha reportado en literatura que la permeabilidad que proporcionan los RC a los frutos sobre la pérdida de humedad contribuye directamente a conservar o degradar el color (Hernández-Muñoz et al., 2008). Por otro lado, fue posible observar el efecto del recubrimiento en la calidad de los frutos a través del almacenamiento (Figura 20).

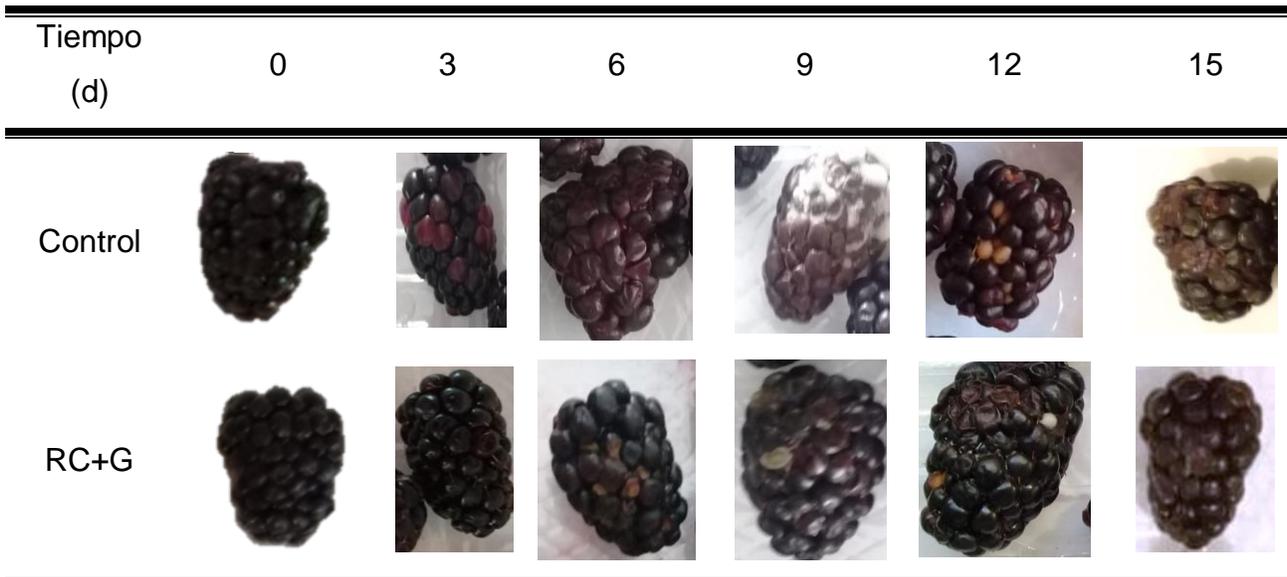


Figura 20. Efecto del recubrimiento de mucilago de chíá funcionalizado con extracto hidroalcohólico (HAE) de *M. geometrizans* (RC+G) en la calidad de zarzamoras recubiertas y sin recubrir almacenadas por 15 días a 5 °C y 85% HR.

La aplicación de RC a base de chíá funcionalizado con extracto hidroalcohólico (HAE) de *M. geometrizans* ejerció un efecto positivo en algunos de los parámetros de calidad poscosecha de zarzamora. Destacó su efecto barrera a la pérdida de peso, y por otra parte, también disminuyó la degradación de los pigmentos en zarzamoras durante las condiciones de almacenamiento (15 días a 5 °C y 85% HR). Además, generó un impacto, en menor medida, en las variables de firmeza, pH, SST y A. La calidad del fruto también fue mejorada, ya que proporcionó un mayor brillo y fue una barrera parcial en el grado de contaminación de mohos y levaduras en la superficie de zarzamoras

recubiertas. Por otra parte, los resultados obtenidos proporcionan una visión del alcance e importancia que representa el uso de nuevas alternativas en zarzamoras, fruto de importancia comercial en México. Sin embargo, es necesario generar mayor conocimiento que ayude a optimizar la matriz formadora del recubrimiento comestible, de tal manera que el impacto en los efectos de calidad poscosecha sea potencializado. Este trabajo forma parte de un grupo de investigación, orientado al aprovechamiento de fitoquímicos para aplicación en la agroindustria, con principal enfoque en la extensión de vida de anaquel de frutos de importancia comercial en México.

5. CONCLUSIONES

- En esta investigación se caracterizaron fisicoquímicamente los frutos de *M. geometrizans* (garambullo), los cuales presentaron alto contenido de carbohidratos, además de representar una fuente alternativa e innovadora de nutrientes naturales (ej. proteína, antioxidantes, entre otros).
- Se obtuvieron extractos hidroalcohólicos (HAE) y acuosos (AE) del fruto de *M. geometrizans*, mostrando variabilidad en rendimientos, composición y bioactividad en función del solvente utilizado en el proceso de extracción.
- El EHA fue seleccionado para su incorporación en recubrimientos comestibles (RC+G), ya que presentó un interesante perfil fenólico, destacando la presencia de ácido rosmarínico; además de poseer mayor efectividad sobre *F. oxysporum*, hongo de importancia comercial en zazaamora, y una fuerte actividad antioxidante.
- Se comprobó la efectividad del recubrimiento a base de mucílago de chíá con compuestos bioactivos de *M. geometrizans* como una barrera a la pérdida de peso y retención de color en frutos de zazaamora; sin embargo, su efecto en otros parámetros no se prolongó a lo largo del almacenamiento debido a su característica de biodegradabilidad.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abu-Shama, H.S., Abou-Zaid, F.O.F., El-Sayed, E.Z., 2020. Effect of using edible coatings on fruit quality of Barhi date cultivar. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 265, 109262. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109262>
- Adil, I.H., Çetin, H.I., Yener, M.E., Bayindirli, A., 2007. Subcritical (carbon dioxide + ethanol) extraction of polyphenols from apple and peach pomaces, and determination of the antioxidant activities of the extracts. *J. Supercrit. Fluids* 43, 55–63. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2007.04.012>
- Aldawsari, H.M., Hosny, K.M., 2018. Solid lipid nanoparticles of Vancomycin loaded with Ellagic acid as a tool for overcoming nephrotoxic side effects: Preparation, characterization, and nephrotoxicity evaluation. *J. Drug Deliv. Sci. Technol.* 45, 76–80. <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2018.02.016>
- Ali, S., Anjum, M.A., Nawaz, A., Naz, S., Ejaz, S., Sardar, H., Saddiq, B., 2020. Tragacanth gum coating modulates oxidative stress and maintains quality of harvested apricot fruits. *Int. J. Biol. Macromol.* 163, 2439–2447. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.09.179>
- Alves, M.M., Gonçalves, M.P., Rocha, C.M.R., 2017. Effect of ferulic acid on the performance of soy protein isolate-based edible coatings applied to fresh-cut apples. *LWT - Food Sci. Technol.* 80, 409–415. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.03.013>
- Aneberries, 2016. Estadísticas [WWW Document]. URL <https://www.aneberries.mx/estadisticas>
- AOAC, 1997. Métodos Oficiales de Análisis de la Asociación Internacional de Químicos Analíticos Oficiales (AOAC). 16th ed. AOAC Int. Washingt.
- AOAC, 1990. AOAC: Official Methods of Analysis (Vol. 1). Washington D.C
- Ascacio-Valdés, J.A., Aguilera-Carbó, A., Rodríguez-Herrera, R., Aguilar-González, C., Alberto, J., Valdés, A., 2013. Determination of ellagic acid in native plants from the Mexican semi-desert. *Rev Mex Cienc Farm* 44, 2013.

- Ashtari, M., Khademi, O., Soufbaf, M., Afsharmanesh, H., Askari Sarcheshmeh, M.A., 2019. Effect of gamma irradiation on antioxidants, microbiological properties and shelf life of pomegranate arils cv. 'Malas Saveh'. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 244, 365–371. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.09.067>
- Astudillo-Miller, M.X., Solis-Navarrete, J.A., Silva-Borges, M., Maldonado-Astudill, R.I., 2019. Cadenas agroalimentarias e innovación social: Perspectivas entre la competitividad y la sostenibilidad.
- Ayala Sánchez, L.C., Valenzuela Real, C.P., Bohórquez Pérez, Y.R., 2013. Variables determinantes de la madurez comercial en la mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth). *Rev. Sci. Agroaliment.* 1, 39–44.
- Ayranci, E., Tunc, S., 2004. The effect of edible coatings on water and vitamin C loss of apricots (*Armeniaca vulgaris* Lam.) and green peppers (*Capsicum annum* L.). *Food Chem.* 87, 339–342. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.12.003>
- Babbar, N., Oberoi, H.S., Uppal, D.S., Patil, R.T., 2011. Total phenolic content and antioxidant capacity of extracts obtained from six important fruit residues. *Food Res. Int.* 44, 391–396. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.10.001>
- Bachtler, S., Bart, H.J., 2021. Increase the yield of bioactive compounds from elder bark and annatto seeds using ultrasound and microwave assisted extraction technologies. *Food Bioprod. Process.* 125, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.10.009>
- Bailey, R.L., Fulgoni, V.L., Cowan, A.E., Gaine, P.C., 2018. Sources of added sugars in young children, adolescents, and adults with low and high intakes of added sugars. *Nutrients* 10. <https://doi.org/10.3390/nu10010102>
- Barrera, F.A.G., Reynoso, C.R., González de Mejía, E., 1998. Estabilidad de las betalaínas extraídas del garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*) / Stability of betalains extracted from garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*). *Food Sci. Technol. Int.* 4, 115–120. <https://doi.org/10.1177/108201329800400206>

- Barth, M.M., Zhou, C., Mercier, J., Payne, F.A., 1995. Ozone Storage Effects on Anthocyanin Content and Fungal Growth in Blackberries. *J. Food Sci.* 60, 1286–1288. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1995.tb04575.x>
- Basaglia, R.R., Pizato, S., Santiago, N.G., Maciel de Almeida, M.M., Pinedo, R.A., Cortez-Vega, W.R., 2021. Effect of edible chitosan and cinnamon essential oil coatings on the shelf life of minimally processed pineapple (Smooth cayenne). *Food Biosci.* 41. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.100966>
- Bekir, J., Mars, M., Souchard, J.P., Bouajila, J., 2013. Assessment of antioxidant, anti-inflammatory, anti-cholinesterase and cytotoxic activities of pomegranate (*Punica granatum*) leaves. *Food Chem. Toxicol.* 55, 470–475. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.01.036>
- Berton, S.B.R., Cabral, M.R.P., de Jesus, G.A.M., Sarragiotto, M.H., Pilau, E.J., Martins, A.F., Bonafé, E.G., Matsushita, M., 2020. Ultra-high-performance liquid chromatography supports a new reaction mechanism between free radicals and ferulic acid with antimicrobial and antioxidant activities. *Ind. Crops Prod.* 154, 112701. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112701>
- Both, S., Chemat, F., Strube, J., 2014. Extraction of polyphenols from black tea - Conventional and ultrasound assisted extraction. *Ultrason. Sonochem.* 21, 1030–1034. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2013.11.005>
- Camacho, A., Giles, M., Ortegón, A., Palao, M., Serrano, B., & Velázquez, O. (2009). Cuenta en placa de bacterias. *Técnicas para el Análisis Microbiológico de Alimentos*.
- Cano Rodriguez, M., 2017. Biología floral y uso de *Myrtillocactus geometrizans* (Mart. ex Pfeiff) Console (Cactaceae) en Cadereyta de Montes Queretaro, Mexico. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Cazón, P., Velazquez, G., Ramírez, J.A., Vázquez, M., 2017. Polysaccharide-based films and coatings for food packaging: A review. *Food Hydrocoll.* 68, 136–148. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.09.009>

- Céspedes, C.L., Salazar, J.R., Martínez, M., Aranda, E., 2005. Insect growth regulatory effects of some extracts and sterols from *Myrtillocactus geometrizans* (Cactaceae) against *Spodoptera frugiperda* and *Tenebrio molitor*. *Phytochemistry* 66, 2481–2493. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2005.07.010>
- Charles-Rodríguez, A., Rivera-Solís, L., Martins, J., Genisheva, Z., Robledo-Olivo, A., González-Morales, S., ..., Flores-López, M., 2020. Edible films based on black chia (*Salvia hispanica* L.) seed mucilage containing *Rhus microphylla* fruit phenolic extract. *Coatings* 1–15. <https://doi:10.3390/coatings10040326>
- Chollett, D.L., 2009. From sugar to blackberries: Restructuring agro-export production in Michoacán, Mexico. *Lat. Am. Perspect.* 36, 79–92. <https://doi.org/10.1177/0094582X09334158>
- Cid-Pérez, T.S., Ávila-Sosa, R., Ochoa-Velasco, C.E., Rivera-Chavira, B.E., Nevárez-Moorillón, G.V., 2019. Antioxidant and antimicrobial activity of mexican oregano (*Poliomintha longiflora*) essential oil, hydrosol and extracts from waste solid residues. *Plants* 8. <https://doi.org/10.3390/plants8010022>
- Corona Martínez, C., Mercado Silva, E., Ramírez León, L., 2007. Efecto del 1-MCP sobre el comportamiento fisiológico postcosecha de garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*). *Univ. Autónoma Querétaro* 4.
- Correa-Betanzo, J., Jacob, J.K., Perez-Perez, C., Paliyath, G., 2011. Effect of a sodium caseinate edible coating on berry cactus fruit (*Myrtillocactus geometrizans*) phytochemicals. *Food Res. Int.* 44, 1897–1904. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.10.053>
- Corrêa, A., L., E., Bassols, Raseira, M. do C., Martins, Pereira, J.F., 2006. III Simpósio Nacional do Morango e II Encontro sobre Pequenas Frutas e Frutas Nativas do Mercosul. *Doc.* 203 1, 293.
- Cortés Rodríguez, M., Villegas Yépez, C., Gil González, J.H., Ortega-Toro, R., 2020. Effect of a multifunctional edible coating based on cassava starch on the shelf life of Andean blackberry. *Heliyon* 6. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03974>

- Crespo Stupková, L., 2016. Global value chain in agro-export production and its socio-economic impact in Michoacán, Mexico. *Agris On-line Pap. Econ. Informatics* 8, 25–36. <https://doi.org/10.7160/aol.2016.080103>
- De Souza, V.R., Pereira, P.A.P., Da Silva, T.L.T., De Oliveira Lima, L.C., Pio, R., Queiroz, F., 2014. Determination of the bioactive compounds, antioxidant activity and chemical composition of Brazilian blackberry, red raspberry, strawberry, blueberry and sweet cherry fruits. *Food Chem.* 156, 362–368. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.01.125>
- Dehghani, S., Hosseini, S.V., Regenstein, J.M., 2018. Edible films and coatings in seafood preservation: A review. *Food Chem.* 240, 505–513. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.034>
- Dhumal, C.V., Sarkar, P., 2018. Composite edible films and coatings from food-grade biopolymers. *J. Food Sci. Technol.* 55, 4369–4383. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3402-9>
- Diaz-Lara, A., Martin, R.R., Al Rwahnih, M., Vargas, O.L., Rebollar-Alviter, Á., 2020. First evidence of viruses infecting berries in Mexico. *J. Plant Pathol.* 102, 183–189. <https://doi.org/10.1007/s42161-019-00381-9>
- Dick, M., Costa, T.M.H., Gooma, A., Subirade, M., Rios, A.D.O., Flôres, S.H., 2015. Edible film production from chia seed mucilage: Effect of glycerol concentration on its physicochemical and mechanical properties. *Carbohydr. Polym.* 130, 198–205. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.05.040>
- Dirar, A.I., Alsaadi, D.H.M., Wada, M., Mohamed, M.A., Watanabe, T., Devkota, H.P., 2019. Effects of extraction solvents on total phenolic and flavonoid contents and biological activities of extracts from Sudanese medicinal plants. *South African J. Bot.* 120, 261–267. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2018.07.003>
- Do, Q.D., Angkawijaya, A.E., Tran-Nguyen, P.L., Huynh, L.H., Soetaredjo, F.E., Ismadji, S., Ju, Y.H., 2014. Effect of extraction solvent on total phenol content, total flavonoid content, and antioxidant activity of *Limnophila aromatica*. *J. Food Drug Anal.* 22, 296–302. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2013.11.001>

- DuBois, M., Gilles, K., Hamilton, J., Rebers, P., Smith, F., 1956. Método colorimétrico para la determinación de azúcares y sustancias afines. *Química analítica* 28 (3), 350–356. <https://doi.org/10.1021 / ac60111a017>
- Ebrahimi, F., Rastegar, S., 2020. Preservation of mango fruit with guar-based edible coatings enriched with *Spirulina platensis* and Aloe vera extract during storage at ambient temperature. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 265, 109258. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109258>
- El-Samawaty, A.E.R.M.A., El-Wakil, D.A., Alamery, S., Mahmoud, M.M.H., 2021. Potency of plant extracts against *Penicillium* species isolated from different seeds and fruits in Saudi Arabia. *Saudi J. Biol. Sci.* <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.02.074>
- Espino-Díaz, M., De Jesús Ornelas-Paz, J., Martínez-Téllez, M.A., Santillán, C., Barbosa-Cánovas, G. V., Zamudio-Flores, P.B., Olivas, G.I., 2010. Development and characterization of edible films based on mucilage of *Opuntia ficus-indica* (L.). *J. Food Sci.* 75, 347–352. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01661.x>
- Falcó, I., Randazzo, W., Sánchez, G., López-Rubio, A., Fabra, M.J., 2019. On the use of carrageenan matrices for the development of antiviral edible coatings of interest in berries. *Food Hydrocoll.* 92, 74–85. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.01.039>
- Falguera, V., Pagán, J., Ibarz, A., 2011a. Effect of UV irradiation on enzymatic activities and physicochemical properties of apple juices from different varieties. *LWT - Food Sci. Technol.* 44, 115–119. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.05.028>
- Falguera, V., Quintero, J.P., Jiménez, A., Muñoz, J.A., Ibarz, A., 2011b. Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. *Trends Food Sci. Technol.* 22, 292–303. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.02.004>
- Faller, A.L.K., Fialho, E., 2009. The antioxidant capacity and polyphenol content of organic and conventional retail vegetables after domestic cooking. *Food Res. Int.* 42, 210–215. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2008.10.009>

- Faniadis, D., Drogoudi, P.D., Vasilakakis, M., 2010. Effects of cultivar, orchard elevation, and storage on fruit quality characters of sweet cherry (*Prunus avium* L.). *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 125, 301–304. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.04.013>
- Fazio, A., Plastina, P., Meijerink, J., Witkamp, R.F., Gabriele, B., 2013. Comparative analyses of seeds of wild fruits of *Rubus* and *Sambucus* species from Southern Italy: Fatty acid composition of the oil, total phenolic content, antioxidant and anti-inflammatory properties of the methanolic extracts. *Food Chem.* 140, 817–824. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.11.010>
- Ferreira Ignácio Câmara, A.K., Midori Ozaki, M., Santos, M., Silva Vidal, V.A., Oliveira Ribeiro, W., de Souza Paglarini, C., Bernardinelli, O.D., Sabadini, E., Rodrigues Pollonio, M.A., 2021. Olive oil-based emulsion gels containing chia (*Salvia hispanica* L.) mucilage delivering healthy claims to low-saturated fat Bologna sausages. *Food Struct.* 28. <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2021.100187>
- Flores-López, M.L., Cerqueira, M.A., de Rodríguez, D.J., Vicente, A.A., 2016a. Perspectives on utilization of edible coatings and nano-laminate coatings for extension of postharvest storage of fruits and vegetables. *Food Eng. Rev.* 8, 292–305. <https://doi.org/10.1007/s12393-015-9135-x>
- Flores-López, M.L., Romani, A., Cerqueira, M.A., Rodríguez-García, R., Jasso de Rodríguez, D., Vicente, A.A., 2016b. Compositional features and bioactive properties of whole fraction from *Aloe vera* processing. *Ind. Crops Prod.* 91, 179–185. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.07.011>
- FND, 2020. La Berries en México [WWW Document]. URL <https://www.gob.mx/fnd/articulos/la-berries-en-mexico?idiom=es>
- Foito, A., McDougall, G.J., Stewart, D., 2018. Evidence for health benefits of berries, *Annual Plant Reviews online*. <https://doi.org/10.1002/9781119312994.apr0600>
- Gancel, A.L., Feneuil, A., Acosta, O., Pérez, A.M., Vaillant, F., 2011. Impact of industrial processing and storage on major polyphenols and the antioxidant capacity of tropical highland blackberry (*Rubus adenotrichus*). *Food Res. Int.* 44, 2243–2251. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.06.013>

- Ganiari, S., Choulitoudi, E., Oreopoulou, V., 2017. Edible and active films and coatings as carriers of natural antioxidants for lipid food. *Trends Food Sci. Technol.* 68, 70–82. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.08.009>
- Garcia, D.A., Galo, M.J., Velásquez, H., Calderon, G., Ponce, H.D., 2018. Determinación de residuos de paraquat en lechuga y repollo cultivados en Lepaterique mediante HPLC-DAD. *Portal la Cienc.* 33–48. <https://doi.org/10.5377/pc.v0i15.7301>
- Glicerina, V., Tylewicz, U., Canali, G., Siroli, L., Rosa, M.D., Lanciotti, R., Romani, S., 2019. Influence of two different cocoa-based coatings on quality characteristics of fresh-cut fruits during storage. *Lwt* 101, 152–160. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.10.090>
- Gonçalves, B., Silva, A.P., Moutinho-Pereira, J., Bacelar, E., Rosa, E., Meyer, A.S., 2007. Effect of ripeness and postharvest storage on the evolution of colour and anthocyanins in cherries (*Prunus avium* L.). *Food Chem.* 103, 976–984. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.08.039>
- González-Ramírez, M.G., Santoyo-Cortés, V.H., Arana-Coronado, J.J., Muñoz-Rodríguez, M., 2020. The insertion of Mexico into the global value chain of berries. *World Dev. Perspect.* 20, 100240. <https://doi.org/10.1016/j.wdp.2020.100240>
- González Razo, F.D.J., Rebollar Rebollar, S., Hernández Martínez, J., Morales Hernández, J.L., Abarca Ramírez, O., 2019. Situación actual y perspectivas de la producción de berries en México. *Rev. Mex. Agronegocios.* <https://doi.org/10.22004/ag.econ.292265>
- Goulao, L.F., Oliveira, C.M., 2008. Cell wall modifications during fruit ripening: when a fruit is not the fruit. *Trends Food Sci. Technol.* 19, 4–25. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2007.07.002>
- Guerreiro, A.C., Gago, C.M.L., Miguel, M.G.C., Faleiro, M.L., Antunes, M.D.C., 2016. The influence of edible coatings enriched with citral and eugenol on the raspberry storage ability, nutritional and sensory quality. *Food Packag. Shelf Life* 9, 20–28. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2016.05.004>

- Guimarães, A., Abrunhosa, L., Pastrana, L.M., Cerqueira, M.A., 2018. Edible Films and Coatings as Carriers of Living Microorganisms: A new strategy towards biopreservation and healthier foods. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 17, 594–614. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12345>
- Guzmán-Maldonado, S.H., Herrera-Hernández, G., Hernández-López, D., Reynoso-Camacho, R., Guzmán-Tovar, A., Vaillant, F., Brat, P., 2010. Physicochemical, nutritional and functional characteristics of two underutilised fruit cactus species (*Myrtillocactus*) produced in central Mexico. *Food Chem.* 121, 381–386. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.12.039>
- Hager, T.J., Howard, L.R., Prior, R.L., 2010. Processing and storage effects on the ellagitannin composition of processed blackberry products. *J. Agric. Food Chem.* 58, 11749–11754. <https://doi.org/10.1021/jf102964b>
- Han, J.H., Gennadios, A., 2005. Edible films and coatings, in: *Innovations in Food Packaging*. pp. 239–262. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-311632-1.50047-4>
- Harris, L.J., Farber, J.N., Beuchat, L.R., Parish, M.E., Suslow, T. V., Garrett, E.H., Busta, F.F., 2003. Outbreaks associated with fresh produce: Incidence, growth, and survival of pathogens in fresh and fresh-cut produce, in: *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. pp. 78–141. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2003.tb00031.x>
- Hassan, B., Chatha, S.A.S., Hussain, A.I., Zia, K.M., Akhtar, N., 2018. Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: A review. *Int. J. Biol. Macromol.* 109, 1095–1107. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.11.097>
- Hayes, J.E., Stepanyan, V., Allen, P., O'Grady, M.N., Kerry, J.P., 2011. Evaluation of the effects of selected plant-derived nutraceuticals on the quality and shelf-life stability of raw and cooked pork sausages. *LWT - Food Sci. Technol.* 44, 164–172. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.05.020>
- Hernández-López, D., Vaillant, F., Reynoso-Camacho, R., Guzman-Maldonado, S.H., 2008. *Myrtillocactus* (cactaceae): Botanical, agronomic, physicochemical and

chemical characteristics of fruits. *Fruits* 63, 269–276.
<https://doi.org/10.1051/fruits:2008042>

Hernández-Muñoz, P., Almenar, E., Valle, V. Del, Velez, D., Gavara, R., 2008. Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (*Fragaria x ananassa*) quality during refrigerated storage. *Food Chem.* 110, 428–435. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.02.020>

Hernández-Urbiola, M.I., Contreras-Padilla, M., Pérez-Torrero, E., Hernández-Quevedo, G., Rojas-Molina, J.I., Cortes, M.E., Rodríguez-García, M.E., 2010. Study of nutritional composition of nopal (*Opuntia ficus indica* cv. S Redonda) at different maturity stages. *Open Nutr. J.* 11–16.

Herrera-Hernández, M.G., Guevara-Lara, F., Reynoso-Camacho, R., Guzmán-Maldonado, S.H., 2011. Effects of maturity stage and storage on cactus berry (*Myrtillocactus geometrizans*) phenolics, vitamin C, betalains and their antioxidant properties. *Food Chem.* 129, 1744–1750.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.06.042>

Horvitz, S., Chanaguano, D., Arozarena, I., 2017. Andean blackberries (*Rubus glaucus* Benth) quality as affected by harvest maturity and storage conditions. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 226, 293–301. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.09.002>

Hsu, H.Y., Huang, L., Wu, J.S.B., 2014. Thermal inactivation of *Escherichia coli* O157: H7 in strawberry puree and its effect on anthocyanins and color. *J. Food Sci.* 79, 74–80. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12327>

Huang, Y., Ye, M., Chen, H., 2013. International Journal of Food Microbiology Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella* spp. in strawberry puree by high hydrostatic pressure with / without subsequent frozen storage 160, 337–343. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2012.11.008>

Ibarra Morales, L. E., Romero Vivar, N.G., Jaime Meuly, R., Hurtado Bringas, B.A., 2012. Estudio de factibilidad para la comercialización de zarzamora en mercados internacionales. *Rev. Int. Adm. Finanz.* 6, 854–867.

- Infoagro, 2017. México: Productor mundial de zarzamora y principal exportador de fresa. [WWW Document]. Rev. Infoagro Mex. URL <https://mexico.infoagro.com/mexico-productor-mundial-de-zarzamora-y-principal-exportador-de-fresa/>
- Jasso de Rodriguez, D., Hernández-Castillo, D., Rodríguez-García, R., Angulo-Sánchez, J.L., 2005. Antifungal activity in vitro of Aloe vera pulp and liquid fraction against plant pathogenic fungi. *Ind. Crops Prod.* 21(1), 81-87. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2004.01.002>
- Jasso de Rodríguez, D., Trejo González, F.A., Rodríguez García, R., Díaz Jimenez, M.L.V., Sáenz Galindo, A., Hernández Castillo, F.D., Villarreal Quintanilla, J.A., Peña Ramos, F.M., 2015. Antifungal activity in vitro of *Rhus muelleri* against *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. *Ind. Crops Prod.* 75, 150–158. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.05.048>
- Jasso de Rodríguez, D., Salas-Méndez, E. de J., Rodríguez-García, R., Hernández-Castillo, F.D., Díaz-Jiménez, M.L.V., Sáenz-Galindo, A., González-Morales, S., Flores-López, M.L., Villarreal-Quintanilla, J.A., Peña-Ramos, F.M., Carrillo-Lomelí, D.A., 2017. Antifungal activity in vitro of ethanol and aqueous extracts of leaves and branches of *Flourensia* spp. against postharvest fungi. *Ind. Crops Prod.* 107, 499–508. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.04.054>
- Jiang, Z., Neetoo, H., Chen, H., 2011. Efficacy of freezing, frozen storage and edible antimicrobial coatings used in combination for control of *Listeria monocytogenes* on roasted turkey stored at chiller temperatures. *Food Microbiol.* 28, 1394–1401. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2011.06.015>
- Jongsri, P., Wangsomboondee, T., Rojsitthisak, P., Seraypheap, K., 2016. Effect of molecular weights of chitosan coating on postharvest quality and physicochemical characteristics of mango fruit. *LWT - Food Sci. Technol.* 73, 28–36. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.05.038>
- Kaume, L., Howard, L.R., Devareddy, L., 2012. The blackberry fruit: A review on its composition and chemistry, metabolism and bioavailability, and health benefits. *J. Agric. Food Chem.* 60, 5716–5727. <https://doi.org/10.1021/jf203318p>

- Khodaei, D., Hamidi-Esfahani, Z., Rahmati, E., 2021. Effect of edible coatings on the shelf-life of fresh strawberries: A comparative study using TOPSIS-Shannon entropy method. *NFS J.* 23, 17–23. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2021.02.003>
- Khorram, F., Ramezani, A., Hosseini, S.M.H., 2017. Effect of different edible coatings on postharvest quality of 'Kinnow' mandarin. *J. Food Meas. Charact.* 11, 1827–1833. <https://doi.org/10.1007/s11694-017-9564-8>
- Kishore, K., Pathak, K.A., Shukla, R., Bharali, R., 2011. Effect of storage temperature on physico-chemical and sensory attributes of purple passion fruit (*Passiflora edulis* Sims). *J. Food Sci. Technol.* 48, 484–488. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0189-8>
- Koca, I., Karadeniz, B., 2009. Antioxidant properties of blackberry and blueberry fruits grown in the Black Sea Region of Turkey. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 121, 447–450. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.03.015>
- Kolniak-Ostek, J., Kucharska, A.Z., Sokół-Łętowska, A., Fecka, I., 2015. Characterization of phenolic compounds of thorny and thornless blackberries. *J. Agric. Food Chem.* 63, 3012–3021. <https://doi.org/10.1021/jf5039794>
- Kong, Q., Wu, A., Qi, W., Qi, R., Carter, J.M., Rasooly, R., He, X., 2014. Effects of electron-beam irradiation on blueberries inoculated with *Escherichia coli* and their nutritional quality and shelf life. *Postharvest Biol. Technol.* 95, 28–35. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.04.004>
- Kosar, M., Bozan, B., Temelli, F., Baser, K.H.C., 2007. Antioxidant activity and phenolic composition of sumac (*Rhus coriaria* L.) extracts. *Food Chem.* 103, 952–959. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.09.049>
- La, D.D., Nguyen-Tri, P., Le, K.H., Nguyen, P.T.M., Nguyen, M.D.B., Vo, A.T.K., Nguyen, M.T.H., Chang, S.W., Tran, L.D., Chung, W.J., Nguyen, D.D., 2021. Effects of antibacterial ZnO nanoparticles on the performance of a chitosan/gum arabic edible coating for post-harvest banana preservation. *Prog. Org. Coatings* 151, 106057. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2020.106057>

- Lapornik, B., Prošek, M., Wondra, A.G., 2005. Comparison of extracts prepared from plant by-products using different solvents and extraction time. *J. Food Eng.* 71, 214–222. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.10.036>
- Li, X.Y, Du, X.L., Liu, Y., Tong, L.J., Wang, Q., Li, J.L., 2019. Rhubarb extract incorporated into an alginate-based edible coating for peach preservation. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 257, 108685. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108685>
- Li, Y., Wu, C., 2013. Enhanced inactivation of *Salmonella Typhimurium* from blueberries by combinations of sodium dodecyl sulfate with organic acids or hydrogen peroxide. *Food Res. Int.* 54, 1553–1559. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.09.012>
- López, P.C., Aguirre, M.C., Raya, P.J., Ramírez, P.J., Santiago, S.Y., Gutiérrez, T.J., Hernández, F.A., 2019. Compuestos bioactivos y actividad antioxidante en tres estados de madurez de *Myrtillocactus geometrizans* provenientes del Valle del Mezquital, Hidalgo. *Investig. y Desarro. en Cienc. y Tecnol. Aliment.* 4, 317–322.
- Lou, Z., Wang, H., Rao, S., Sun, J., Ma, C., Li, J., 2012. p-Coumaric acid kills bacteria through dual damage mechanisms. *Food Control* 25, 550–554. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2011.11.022>
- Maringgal, B., Hashim, N., Mohamed Amin Tawakkal, I.S., Muda Mohamed, M.T., 2020. Recent advance in edible coating and its effect on fresh/fresh-cut fruits quality. *Trends Food Sci. Technol.* 96, 253–267. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.12.024>
- Matrose, N.A., Obikeze, K., Belay, Z.A., Caleb, O.J., 2021. Plant extracts and other natural compounds as alternatives for post-harvest management of fruit fungal pathogens: A review. *Food Biosci.* 100840. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100840>
- McGehee, C.S., Raudales, R.E., Elmer, W.H., McAvoy, R.J., 2019. Efficacy of biofungicides against root rot and damping-off of microgreens caused by *Pythium* spp. *Crop Prot.* 121, 96–102. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.12.007>

- Md Nor, S., Ding, P., 2020. Trends and advances in edible biopolymer coating for tropical fruit: A review. *Food Res. Int.* 134, 109208. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109208>
- Meneses, N.G.T., Martins, S., Teixeira, J.A., Mussatto, S.I., 2013. Influence of extraction solvents on the recovery of antioxidant phenolic compounds from brewer's spent grains. *Sep. Purif. Technol.* 108, 152–158. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2013.02.015>
- Mertz, C., Cheynier, V., Günata, Z., Brat, P., 2007. Analysis of phenolic compounds in two blackberry species (*Rubus glaucus* and *Rubus adenotrichus*) by high-performance liquid chromatography with diode array detection and electrospray ion trap mass spectrometry. *J. Agric. Food Chem.* 55, 8616–8624. <https://doi.org/10.1021/jf071475d>
- Mi, J.C., Howard, L.R., Prior, R.L., Clark, J.R., 2004. Flavonoid glycosides and antioxidant capacity of various blackberry, blueberry and red grape genotypes determined by high-performance liquid chromatography/mass spectrometry. *J. Sci. Food Agric.* 84, 1771–1782. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1885>
- Milani, J.M., Sahraee, S., 2015. *Functional Edible Coatings* 37, 1–6.
- Milenio, 2014. La zarzamora, un éxito de la exportación mexicana [WWW Document]. URL <https://www.milenio.com/negocios/la-zarzamora-un-exito-de-la-exportacion-mexicana>
- Milivojević, J.M., Nikolić, M.D., Dragišić Maksimović, J.J., Radivojević, D.D., 2011. Generative and fruit quality characteristics of primocane fruiting red raspberry cultivars. *Turkish J. Agric. For.* 35, 289–296. <https://doi.org/10.3906/tar-1001-617>
- Miller, G.L., 1959. Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar. *Anal. Chem.* 31, 426–428. <https://doi.org/10.1021/ac60147a030>
- Montiel-Sánchez, M., García-Cayuela, T., Gómez-Maqueo, A., García, H.S., Cano, M.P., 2021. In vitro gastrointestinal stability, bioaccessibility and potential biological activities of betalains and phenolic compounds in cactus berry fruits (*Myrtillocactus*

geometrizar). Food Chem. 342, 128087.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128087>

Moreira, B.R., Pereira-Júnior, M.A., Fernandes, K.F., Batista, K.A., 2020. An ecofriendly edible coating using cashew gum polysaccharide and polyvinyl alcohol. Food Biosci. 37. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100722>

Moreno, B.L., Oyola, Y.A.D., 2016. Caracterización de parámetros fisicoquímicos en frutos de mora (*Rubus alpinus* Macfad). Acta Agron. 65, 130–136. <https://doi.org/10.15446/acag.v65n2.45587>

Moreno, M.A., Vallejo, A.M., Ballester, A.R., Zampini, C., Isla, M.I., López-Rubio, A., Fabra, M.J., 2020. Antifungal edible coatings containing Argentinian propolis extract and their application in raspberries. Food Hydrocoll. 107. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105973>

Moutinho, C., Matos, C., Neves, J.M., Teixeira, D.M., Cunha, S., Gomes, L.R., 2013. Antispasmodic activity of aqueous extracts from *Mentha x piperita* native from Trás-os-Montes region (Portugal). Int. J. Indig. Med. Plants 29, 1167–1174.

Mozaffari Godarzi, S., Valizade Gorji, A., Gholizadeh, B., Mard, S.A., Mansouri, E., 2020. Antioxidant effect of p-coumaric acid on interleukin 1- β and tumor necrosis factor- α in rats with renal ischemic reperfusion. Nefrología 40, 311–319. <https://doi.org/10.1016/j.nefro.2019.10.003>

Nair, M.S., Saxena, A., Kaur, C., 2018. Effect of chitosan and alginate based coatings enriched with pomegranate peel extract to extend the postharvest quality of guava (*Psidium guajava* L.). Food Chem. 240, 245–252. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.122>

Nieva-Echevarría, B., Manzanos, M.J., Goicoechea, E., Guillén, M.D., 2015. 2,6-Di-Tert-Butyl-Hydroxytoluene and Its Metabolites in Foods. Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. 14, 67–80. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12121>

Olivares, S.E., 1994. Paquete de diseños experimentales. FAUANL. Versión 2. Marín, NL, México

- Oliveira, M., Pereira, J., Verde, S.C., Lima, M.G., Pintoa, P., Oliveirad, P.B., Junqueira, C., Marcos, H., Silva, T., Melo, R., Santos, C.N., Botelho, M.L., 2013. Evaluation of potential of gamma radiation as a conservation treatment for blackberry fruits. *J. Berry Res.* 3 3, 93–102. <https://doi.org/10.3233/JBR-130050>
- Ong, G., Kasi, R., Subramaniam, R., 2021. A review on plant extracts as natural additives in coating applications. *Prog. Org. Coatings* 151, 106091. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2020.106091>
- Osorio, E., Flores, M., Hernández, D., Ventura, J., Rodríguez, R., Aguilar, C.N., 2010. Biological efficiency of polyphenolic extracts from pecan nuts shell (*Carya Illinoensis*), pomegranate husk (*Punica granatum*) and creosote bush leaves (*Larrea tridentata* Cov.) against plant pathogenic fungi. *Ind. Crops Prod.* 31, 153–157. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2009.09.017>
- Ozuna, C., Cerón García, A., Gómez Salazar, J.A., Salazar Solís, E., Sosa Morales, M.E., Abraham Juárez, M. del R., 2017. Potencial de productos alimenticios originarios de la zona noreste de Guanajuato. *Acta Univ.* 26, 83–92. <https://doi.org/10.15174/au.2016.1529>
- Panahirad, S., Dadpour, M., Peighambardoust, S.H., Soltanzadeh, M., Gullón, B., Alirezalu, K., Lorenzo, J.M., 2021. Applications of carboxymethyl cellulose- and pectin-based active edible coatings in preservation of fruits and vegetables: A review. *Trends Food Sci. Technol.* 110, 663–673. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.025>
- Pantelidis, G.E., Vasilakakis, M., Manganaris, G.A., Diamantidis, G., 2007. Antioxidant capacity, phenol, anthocyanin and ascorbic acid contents in raspberries, blackberries, red currants, gooseberries and Cornelian cherries. *Food Chem.* 102, 777–783. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.06.021>
- Patel, K., Patel, D.K., 2019. The Beneficial Role of Rutin, A Naturally Occurring Flavonoid in Health Promotion and Disease Prevention: A Systematic Review and Update, 2nd ed, *Bioactive Food as Dietary Interventions for Arthritis and Related*

Inflammatory Diseases. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-813820-5.00026-x>

Paul, S.K., 2020. Edible films and coatings for fruits and vegetables, Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803581-8.11509-7>

Pérez-Gallardo, A., García-Almendárez, B., Barbosa-Cánovas, G., Pimentel-González, D., Reyes-González, L.R., Regalado, C., 2015. Effect of starch-beeswax coatings on quality parameters of blackberries (*Rubus* spp.). *J. Food Sci. Technol.* 52, 5601–5610. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1665-3>

Pérez-Negrón, E., Dávila, P., Casas, A., 2014. Use of columnar cacti in the Tehuacán Valley, Mexico: Perspectives for sustainable management of non-timber forest products. *J. Ethnobiol. Ethnomed.* 10, 1–16. <https://doi.org/10.1186/1746-4269-10-79>

Pinto, L., Palma, A., Cefola, M., Pace, B., D'Aquino, S., Carboni, C., Baruzzi, F., 2020. Effect of modified atmosphere packaging (MAP) and gaseous ozone pre-packaging treatment on the physico-chemical, microbiological and sensory quality of small berry fruit. *Food Packag. Shelf Life* 26, 100573. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100573>

Pizato, S., Cortez-Vega, W.R., De Souza, J.T.A., Prentice-Hernández, C., Borges, C.D., 2013. Effects of different edible coatings in physical, chemical and microbiological characteristics of minimally processed peaches (*Prunus persica* L. Batsch). *J. Food Saf.* 33, 30–39. <https://doi.org/10.1111/jfs.12020>

Prakash, A., Baskaran, R., Vadivel, V., 2020. Citral nanoemulsion incorporated edible coating to extend the shelf life of fresh cut pineapples. *Lwt* 118, 108851. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108851>

Pranoto, Y., Salokhe, V.M., Rakshit, S.K., 2005. Physical and antibacterial properties of alginate-based edible film incorporated with garlic oil. *Food Res. Int.* 38, 267–272. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2004.04.009>

- Quintana, S.E., Llalla, O., García-Risco, M.R., Fornari, T., 2021. Comparison between essential oils and supercritical extracts into chitosan-based edible coatings on strawberry quality during cold storage. *J. Supercrit. Fluids* 171, 105198. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2021.105198>
- Ramírez-Rodríguez, Y., Martínez-Huélamo, M., Pedraza-Chaverri, J., Ramírez, V., Martínez-Tagüeña, N., Trujillo, J., 2020. Ethnobotanical, nutritional and medicinal properties of Mexican drylands Cactaceae Fruits: Recent findings and research opportunities. *Food Chem.* 312, 126073. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.126073>
- Ramírez, P.G., Ramírez, D.G., Mejía, E.Z., Ocampo, S.A., Díaz, C.N., Rojas Martínez, R.I., 2020. Extracts of *Stevia rebaudiana* against *Fusarium oxysporum* associated with tomato cultivation. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 259, 108683. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108683>
- Reyes-Caudillo, E., Tecante, A., Valdivia-López, M.A., 2008. Dietary fibre content and antioxidant activity of phenolic compounds present in Mexican chia (*Salvia hispanica* L.) seeds. *Food Chem.* 107, 656–663. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.08.062>
- Reynoso, R., Garcia, F.A., Morales, D., Gonzalez De Mejia, E., 1997. Stability of betalain pigments from a Cactacea Fruit. *J. Agric. Food Chem.* 45, 2884–2889. <https://doi.org/10.1021/jf960804r>
- Ribeiro, A.M., Estevinho, B.N., Rocha, F., 2021. Preparation and Incorporation of Functional Ingredients in Edible Films and Coatings. *Food Bioprocess Technol.* 14, 209–231. <https://doi.org/10.1007/s11947-020-02528-4>
- Ribeiro, C., Vicente, A.A., Teixeira, J.A., Miranda, C., 2007. Optimization of edible coating composition to retard strawberry fruit senescence. *Postharvest Biol. Technol.* 44, 63–70. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.11.015>
- Rivera Solís, L.L., 2019. Diseño de un recubrimiento comestible funcional a base de chía para su potencial aplicación en pepino. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México.

- Roy, S., Rhim, J.W., 2020. Preparation of antimicrobial and antioxidant gelatin/curcumin composite films for active food packaging application. *Colloids Surfaces B Biointerfaces* 188, 110761. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2019.110761>
- Ruijters, E.J.B., Haenen, G.R.M.M., Weseler, A.R., Bast, A., 2014. The anti-inflammatory efficacy of dexamethasone is protected by (-)-epicatechin. *PharmaNutrition* 2, 47–52. <https://doi.org/10.1016/j.phanu.2014.04.001>
- SADER, 2019. México es el “número uno” gracias a la zarzamora [WWW Document]. URL <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/mexico-es-el-numero-uno-gracias-a-la-zarzamora>
- Salama, H.E., Abdel Aziz, M.S., 2021. Development of active edible coating of alginate and aloe vera enriched with frankincense oil for retarding the senescence of green capsicums. *LWT - Food Sci. Technol.* <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111341>
- Salas-Méndez, E. de J., Vicente, A., Pinheiro, A.C., Ballesteros, L.F., Silva, P., Rodríguez-García, R., Hernández-Castillo, F.D., Díaz-Jiménez, M. de L.V., Flores-López, M.L., Villarreal-Quintanilla, J.Á., Peña-Ramos, F.M., Carrillo-Lomelí, D.A., 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 Biol. Technol.* 150, 19–27. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.12.008>
- Salazar, J.R., 2011. Determinación del mecanismo anti-inflamatorio de peniocerol y chichipegenina aislados de *Myrtillocactus geometrizans*. UNAM.
- Salgado, P.R., Ortiz, C.M., Musso, Y.S., Di Giorgio, L., Mauri, A.N., 2015. Edible films and coatings containing bioactives. *Curr. Opin. Food Sci.* 5, 86–92. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2015.09.004>
- Schulz, M., Chim, J.F., 2019. Nutritional and bioactive value of *Rubus* berries. *Food Biosci.* 31, 100438. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.100438>

- SENASICA, 2020. Zazamora, la reina de las frutillas [WWW Document]. URL <https://www.gob.mx/senasica/articulos/zazamora-la-reina-de-las-frutillas?idiom=es>
- SENASICA, 2019. Berries mexicanas, caso de éxito [WWW Document]. URL <https://www.gob.mx/senasica/articulos/berries-mexicanas-caso-de-exito>
- Serrano, M., Díaz-Mula, H.M., Zapata, P.J., Castillo, S., Guillén, F., Martínez-Romero, D., Valverde, J.M., Valero, D., 2009. Maturity stage at harvest determines the fruit quality and antioxidant potential after storage of sweet cherry cultivars. *J. Agric. Food Chem.* 57, 3240–3246. <https://doi.org/10.1021/jf803949k>
- Shi, C., Zhang, X., Sun, Y., Yang, M., Song, K., Zheng, Z., Chen, Y., Liu, X., Jia, Z., Dong, R., Cui, L., Xia, X., 2016. Antimicrobial Activity of Ferulic Acid Against *Cronobacter sakazakii* and Possible Mechanism of Action. *Foodborne Pathog. Dis.* 13, 196–204. <https://doi.org/10.1089/fpd.2015.1992>
- Shokouhi, D., Seifi, A., 2020. Organic extracts of seeds of Iranian *Moringa peregrina* as promising selective biofungicide to control *Mycogone perniciosa*. *Biocatal. Agric. Biotechnol.* 30, 101848. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101848>
- SIAP, 2020. Atlas Agroalimentario [WWW Document]. URL <https://www.inforural.com.mx/wp-content/uploads/2020/11/Atlas-Agroalimentario-2020.pdf>
- Silva-Vera, W., Zamorano-Riquelme, M., Rocco-Orellana, C., Vega-Viveros, R., Gimenez-Castillo, B., Silva-Weiss, A., Osorio-Lira, F., 2018. Study of spray system applications of edible coating suspensions based on hydrocolloids containing cellulose nanofibers on grape surface (*Vitis vinifera* L.). *Food Bioprocess Technol.* 11, 1575–1585. <https://doi.org/10.1007/s11947-018-2126-1>
- Siriwoharn, T., Wrolstad, R.E., Finn, C.E., Pereira, C.B., 2004. Influence of cultivar, maturity, and sampling on blackberry (*Rubus* L. hybrids) anthocyanins, polyphenolics, and antioxidant properties. *J. Agric. Food Chem.* 52, 8021–8030. <https://doi.org/10.1021/jf048619y>

- Skrovankova, S., Sumczynski, D., Mlcek, J., Jurikova, T., Sochor, J., 2015. Bioactive compounds and antioxidant activity in different types of berries. *Int. J. Mol. Sci.* 16, 24673–24706. <https://doi.org/10.3390/ijms161024673>
- Sora, D.S., Fischer, G., Florez.R., 2006. Refrigerated storage of mora de castilla (*Rubus glaucus*) fruits in modified atmosphere packaging. *Agron. Colomb.* 24 (2), 306–316.
- Sospedra, I., Rubert, J., Soriano, J.M., Mañes, J., 2013. Survey of microbial quality of plant-based foods served in restaurants. *Food Control* 30, 418–422. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.08.004>
- Souza, T.N., Santos, F.M., Alves, P.R., Ferro, J.N., Correia, A.C.C., Melo, T.S., Soares, W.R., Andrade, B.S., Lagente, V., Barreto, E., 2021. Local administration of p-coumaric acid decreases lipopolysaccharide-induced acute lung injury in mice: In vitro and in silico studies. *Eur. J. Pharmacol.* 897. <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2021.173929>
- Stoner, G.D., Seeram, N.P., 2011. Berries and cancer prevention. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7554-6>
- Strati, I.F., Oreopoulou, V., 2014. Recovery of carotenoids from tomato processing by-products - A review. *Food Res. Int.* 65, 311–321. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.09.032>
- Suhag, R., Kumar, N., Petkoska, A.T., Upadhyay, A., 2020. Film formation and deposition methods of edible coating on food products: A review. *Food Res. Int.* 136, 109582. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109582>
- Takahashi, H., Kashimura, M., Koiso, H., Kuda, T., Kimura, B., 2013. Use of ferulic acid as a novel candidate of growth inhibiting agent against *Listeria monocytogenes* in ready-to-eat food. *Food Control* 33, 244–248. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.03.013>
- Toğrul, H., Arslan, N., 2004. Extending shelf-life of peach and pear by using CMC from sugar beet pulp cellulose as a hydrophilic polymer in emulsions. *Food Hydrocoll.* 18, 215–226. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(03\)00066-3](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(03)00066-3)

- Tomás-Barberán, F.A., Espín, J.C., 2001. Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. *J. Sci. Food Agric.* 81, 853–876. <https://doi.org/10.1002/jsfa.885>
- Torres Salcido, G., Sandoval Moreno, A., Burbano Muñoz, N., 2020. Análisis de dos modelos de gobernanza: los sistemas agroalimentarios locales de zarzamora en México y de mora en Colombia. *Estud. Geográficos* 81, e049. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.202063.063>
- Tournas, V.H., Heeres, J., Burgess, L., 2006. Moulds and yeasts in fruit salads and fruit juices. *Food Microbiol.* 23, 684–688. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2006.01.003>
- Troncoso, C.M., 2010. Competitividad internacional de productos genéricos el caso de la zarzamora [WWW Document]. URL https://issuu.com/angiecmtdocs/alafec_xii_competitividad_internaci
- Urbizo-Reyes, U., San Martín-González, M.F., García-Bravo, J., Liceaga, A.M., 2020. Development of chia seed (*Salvia hispanica*) mucilage films plasticized with polyol mixtures: Mechanical and barrier properties. *Int. J. Biol. Macromol.* 163, 854–864. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.023>
- Valero-Galván, J., González-Fernández, R., Sigala-Hernández, A., Núñez-Gastélum, J.A., Ruiz-May, E., Rodrigo-García, J., Larqué-Saavedra, A., Martínez-Ruiz, N. del R., 2021. Sensory attributes, physicochemical and antioxidant characteristics, and protein profile of wild prickly pear fruits (*O. macrocentra* Engelm., *O. phaeacantha* Engelm., and *O. engelmannii* Salm-Dyck ex Engelmann.) and commercial prickly pear fruits (*O. ficus*). *Food Res. Int.* 140. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109909>
- Valero, D., Díaz-Mula, H.M., Zapata, P.J., Guillén, F., Martínez-Romero, D., Castillo, S., Serrano, M., 2013. Effects of alginate edible coating on preserving fruit quality in four plum cultivars during postharvest storage. *Postharvest Biol. Technol.* 77, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.10.011>

- Vargas, M., Albors, A., Chiralt, A., González-Martínez, C., 2006. Quality of cold-stored strawberries as affected by chitosan-oleic acid edible coatings. *Postharvest Biol. Technol.* 41, 164–171. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.03.016>
- Vazquez-Cruz, M.A., Jimenez-Garcia, S.N., Torres-Pacheco, I., Guzman-Maldonado, S.H., Guevara-Gonzalez, R.G., Miranda-Lopez, R., 2012. Effect of maturity stage and storage on flavor compounds and sensory description of berrycactus (*Myrtillocactus geometrizans*). *J. Food Sci.* 77. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02621.x>
- Verma, N., Macdonald, L., Punja, Z.K., 2006. Inoculum prevalence, host infection and biological control of *Colletotrichum acutatum*: causal agent of blueberry anthracnose in British Columbia. *Plant Pathol.* 55, 442–450. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2006.01401.x>
- 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 Biol. Technol.* 116, 88–97. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.01.011>
- Vishwasrao, C., Ananthanarayan, L., 2017. Delayed post-harvest ripening-associated changes in Manilkara zapota L. var. Kalipatti with composite edible coating. *J. Sci. Food Agric.* 97, 536–542. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7758>
- Wang, Shuo, Xia, P., Wang, Shaozhen, Liang, J., Sun, Y., Yue, P., Gao, X., 2019. Packaging films formulated with gelatin and anthocyanins nanocomplexes: Physical properties, antioxidant activity and its application for olive oil protection. *Food Hydrocoll.* 96, 617–624. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.06.004>
- Wei, L., Chen, C., Wan, C., Chen, M., Chen, J., 2021. Citral delays postharvest senescence of kiwifruit by enhancing antioxidant capacity under cold storage. *J. Food Qual.* 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/6684172>
- Yousuf, B., Wu, S., Siddiqui, M.W., 2021. Incorporating essential oils or compounds derived thereof into edible coatings: Effect on quality and shelf life of fresh/fresh-

cut produce. *Trends Food Sci. Technol.* 108, 245–257.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.016>

Zhang, M., Wang, D., Gao, X., Yue, Z., Zhou, H., 2020. Exogenous caffeic acid and epicatechin enhance resistance against *Botrytis cinerea* through activation of the phenylpropanoid pathway in apples. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 268, 109348.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109348>

Zhenbao, J., Fei, T., Ling, G., Guanjun, T., Xiaolin, D., 2007. Antioxidant properties of extracts from juemingzi (*Cassia tora* L.) evaluated in vitro 40, 1072–1077.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2006.05.010>

Zia-Ul-Haq, M., Riaz, M., De Feo, V., Jaafar, H.Z.E., Moga, M., 2014. *Rubus fruticosus* L.: Constituents, biological activities and health related uses. *Molecules* 19, 10998–11029. <https://doi.org/10.3390/molecules190810998>