

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



Diseño de un recubrimiento comestible funcional a base de chíá
para su potencial aplicación en pepino

Por:

LUZ LETICIA RIVERA SOLÍS

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Octubre 2019

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

**Diseño de un recubrimiento comestible funcional a base de chía para su potencial
aplicación en pepino**

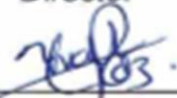
Por:
LUZ LETICIA RIVERA SOLÍS
TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

El presente trabajo ha sido dirigido por el siguiente comité:

Director



Dra. Ana Verónica Charles Rodríguez

Co-Director



Dra. María Lilliana Flores López

Asesor



Dra. Dolores Gabriela Martínez Vázquez

Asesor



Dr. Armando Robledo Olivo



Dr. José Dueñez Alanís

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
COORDINACIÓN DE CIENCIA ANIMAL

Saltillo, Coahuila, México

Octubre 2019

MANIFIESTO DE HONESTIDAD ACADÉMICA

La suscrita **Luz Leticia Rivera Solís** alumna de la carrera Ingeniero en Ciencia y Tecnología de Alimentos con matrícula 41154816 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



LUZ LETICIA RIVERA SOLÍS

Tesista

AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por darme el don de la vida, darme la sabiduría de elegir el camino correcto y la perseverancia para concluir mi primer escalón en el ámbito profesional.

A **mi familia** por ser los principales promotores de sueños, por ser mis cimientos en el crecer cotidiano, por acompañarme en mi caminar escolar, por alentarme en los momentos de flaqueza y enseñarme a luchar hasta alcanzar mis metas. Gracias por tanto apoyo, comprensión, amor y confianza.

A mi **ALMA MATER**, por todas las oportunidades que me brindó, por permitirme trascender en la historia de su legado y por las herramientas que me dio para poder formar una profesionista de bien.

A la **Dra. Ana Verónica Charles Rodríguez**, por haberme guiado a lo largo de estos 4 años, por considerarme para realizar esta investigación, por su apoyo, confianza y amistad. Gran parte de mis metas universitarias las he podido materializar gracias a usted.

A la **Dra. Maria Liliana Flores López**, por guiarme durante mi estancia en Portugal, además de siempre tener disponibilidad para enseñarme y aconsejarme en cada reto que se me presentó. Gracias infinitas por fijarme estándares altos que me ayudaron a la formación de un carácter crítico y profesional.

Al personal académico y administrativo del **DCTA**, en especial a la M.C. Sarahi Ortega, Dra. Yajaira Lopez, Dra. Gabriela Martínez, Dra. María Hernández sus materias fueron las más significativas en mi formación academica; a la M.C. Leticia Martínez por su disponibilidad y amistad. A la Dra. Jazmín Guerrero, por el tiempo brindado y las técnicas enseñadas en el área microbiológica.

A las buenas **amistades** que en el camino permanecieron y me ayudaron a crecer en el ámbito escolar y personal, Selene Reyes y Jessica Orozco. A mis amigos de andanza, gracias por creer en mí e impulsar este sueño, Miguel Hernández, Melissa Solís y Rebeca Sánchez. En especial a mi entrañable amiga Andrea Buena Rangel, quien desde años atrás me acompaña en esta travesía.

A mis alumnos de **servicio social**, por la disposición a lo largo de la primera etapa experimental de mi tesis, Jhonatan, Yomara, Jerónimo, Dámaso y Pablo.

I would like to thank my supervisor, **Professor António Vicente**, for giving me the opportunity to perform an academic research stay under his direction. I want to especially thank my co-supervisor **Joana Martins** for her excellent scientific guidance and kind advice throughout my stay at the LIP. I also thank all my friends from the Centre of Biological Engineering and Lipinhos: Alina, Raquel, Zita, Pedro Silva, Jean-Michel, Kiki, Livia, Luiz Henrique, Louis Loureiro, Michelle, Bianca, Leandro, Cris, Laylla, João and specially Paula Pereira, obrigada por sua amizade.

A los amigos que en la distancia se convirtieron en familia: Luz Espinoza, Susana Hikichi, Viridiana Téllez y Osvaldo Kim. A quienes exploraron nuevas rutas y compartieron las maravillas europeas, Lúdia Rodrigues, Niara Olivera, Jorge Fabra y Eslam Ibrahim Sultan.

A las personas que forman parte de la empresa **BIOCAMPO S.A de C.V.** por darme acceso a sus instalaciones para poder culminar la parte experimental de mi tesis, en especial al Ing. Pablo Virgen.

Para todos aquellos que contribuyeron a que mi estancia en Portugal fuera posible con un consejo, un favor o en la compra de una bolsita de empanadas. Me desborda tanto cariño que he recibido para estar donde estoy. Gracias infinitas por confiar su tiempo, su dinero y su esfuerzo en mí. Nunca terminaré de devolverles todo el apoyo que me brindaron.

DEDICATORIAS

Con mucho cariño:

A meu pai, meu velho, meu amigo **Jesus María Rivera Meza**, gracias por formar a una mujer de bien, por enseñarme a creer en mí, a ser agradecida con lo que tengo, por respaldar cada sueño y decisión, y sobre todo gracias por darme alas para volar mi propio vuelo.

A mi madre **Olga Leticia Solís Cerda**, quien con su ejemplo me ha enseñado a esforzarme y exigirme. Gracias por siempre estar para mí, por tus oraciones, sacrificios y atenciones, soy afortunada al ser tu hija.

Especialmente a mi hermana **Clara Eglantina Rivera Solís**, quien es el motivo e inspiración de mis esfuerzos. Gracias por equilibrar mi vida, eres lo más bonito que la vida me ha dado y le pido a Dios que llegues tan lejos como tú te lo propongas.

Porque quiero seguir creyendo en la vida, porque quiero seguir creyendo en el amor, porque quiero seguir creyendo en la grandeza y en su manifestacion mas excelsa que es el conocimiento, porque quiero seguir amando a mi familia y porque quiero seguir creyendo en mí.

-Gracias UAAAN

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	I
DEDICATORIAS	III
ÍNDICE GENERAL	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE CUADROS.....	X
RESUMEN.....	1
ABSTRACT	3
1. INTRODUCCIÓN.....	5
1.1 Antecedentes	5
1.2 Justificación.....	8
1.3 Hipótesis	10
1.4 Objetivo general	10
1.5 Objetivos específicos.....	10
2. REVISIÓN DE LITERATURA	11
2.1 Generalidades	11
2.2 Plantas como fuente de compuestos bioactivos	12
2.2.1 Capacidad antioxidante	13
2.2.2 Capacidad antifúngica	14
2.2.3 <i>Rhus microphylla</i>	15
2.2.3.1 Distribución geográfica	16
2.2.3.2 Usos y aplicaciones.....	17
2.3 Películas y recubrimientos comestibles	17
2.3.1 Mecanismo de acción de los recubrimientos comestibles.....	18
2.3.2 Propiedades de los recubrimientos comestibles	20
2.3.2.1 Propiedades mecánicas	20
2.3.2.2 Propiedades funcionales	20
2.3.3 Selección y aplicación de recubrimientos comestibles.....	21
2.4 Chía (<i>Salvia hispanica</i> L.)	23
2.4.1 Semilla	24
2.4.2 Mucílago.....	25
2.5 Pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.)	25
2.5.1 Principales problemas en postcosecha de pepino	26
2.5.2 Agentes patógenos en pre- y postcosecha de pepino	27

3. MATERIALES Y MÉTODOS	29
Etapa I. Producción y caracterización de extractos de <i>Rhus microphylla</i>	29
3.1 Reactivos	29
3.2 Materia prima	29
3.3 Producción de extractos de <i>Rhus microphylla</i>	30
3.4 Caracterización de extractos de <i>Rhus microphylla</i>	31
3.4.1 Fenoles totales	31
3.4.2 Actividad antioxidante.....	31
3.4.3 Perfil fenólico por el método de UHPLC	32
3.4.4 Actividad antifúngica.....	33
3.4.4.1 Concentracion mínima inhibitoria.....	34
Etapa II. Desarrollo y caracterización de recubrimientos funcionales a base de mucílago de chía	34
3.5 Materia prima	34
3.6 Extracción de mucílago	35
3.6.1 Formulación y elaboración de recubrimientos comestibles a base de mucílago de chía.....	35
3.7 Selección de recubrimientos comestibles	36
3.7.1 Humectabilidad y tensión superficial.....	37
3.7.1.1 Preparación de muestras para mediciones de ángulo de contacto.	37
3.7.2 Determinación de humectabilidad (W_s).....	37
3.8 Funcionalización de recubrimientos	38
3.9 Caracterización de recubrimientos funcionalizados	39
3.9.1 Reología.....	39
3.9.1.2 Reología de cizallamiento estable	39
3.9.2 Potencial zeta.....	40
3.9.3 Permeabilidad al vapor de agua (PVA).....	40
3.9.4 Contenido de humedad	41
3.9.5 Porcentaje de solubilidad en agua.....	42
3.9.6 Propiedades ópticas	42
3.9.7 Espesor.....	43
3.9.8 Propiedades mecánicas	44
3.10 Análisis estadísticos	44

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
Etapa I. Producción y caracterización de extractos de <i>Rhus microphylla</i>	45
4.1 Producción de extractos de <i>Rhus microphylla</i>	45
4.2 Fenoles totales	46
4.3 Actividad antioxidante.....	47
4.4 Perfil fenólico por el método de UHPLC	47
4.5 Actividad antifúngica	49
4.5.1 Concentración mínima inhibitoria.....	51
Etapa II. Desarrollo y caracterización de recubrimientos funcionales a base de mucílago de chía	53
4.6 Extracción de mucílago de chía (<i>Salvia hispanica</i> L.).....	53
4.7 Selección del recubrimiento comestible	53
4.7.1 Humectabilidad y tensión superficial.....	53
4.8 Funcionalización de recubrimientos	56
4.9 Caracterización de recubrimientos funcionalizados	57
4.9.1 Reología.....	57
4.9.2 Potencial zeta.....	62
4.9.3 Permeabilidad al vapor de agua (PVA).....	63
4.9.4 Contenido de humedad	64
4.9.6 Propiedades ópticas	67
4.9.7 Espesor.....	68
4.9.8 Propiedades mecánicas	69
5. CONCLUSIONES.....	73
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Planta de agrillo (<i>R. microphylla</i>).....	15
Figura 2. Distribución geográfica de <i>Rhus microphylla</i> (Fuente: Naturalista).....	16
Figura 3. Representación esquemática de la conservación de alimentos con y sin recubrimiento comestible en pepino.....	19
Figura 4. Métodos de aplicación de recubrimientos y películas comestibles	22
Figura 5. Imagen de <i>Salvia hispanica</i> L. A) cultivo y B) Flor.....	23
Figura 6. Semilla de chía: A) seca y B) en hidratación.	24
Figura 7. Pepino (<i>Cucumis sativus</i> L)	26
Figura 8. Daño causado por <i>F. oxysporum</i> A) en planta, B) en fruto y C) daño en planta por <i>C. cassiicola</i> en pepino	27
Figura 9. Recolección de fruto de <i>R. microphylla</i>	30
Figura 10. Proceso de preparación de extractos: A) disolución de materia seca en los solventes a) EHA- hidroalcohólico, b) EE- etanólico y c) EA- acuoso; B) homogenización de mezclas; C) eliminación de solventes por arrastre de vapor.	30
Figura 11. A) Establecimiento de prueba antifúngica; crecimiento al séptimo día de los hongos: B) <i>Corynespora cassiicola</i> y C) <i>Fusarium oxysporum</i>	33
Figura 12. A) Semilla de chía variedad negra y B) pepino variedad Portugal.	34
Figura 13. Proceso de obtención del mucílago de chía: A) hidratación de la semilla; B) mucílago de chía obtenido por centrifugación; C) liofilización de mucílago de chía.	35
Figura 14. A) Evaluación de humectabilidad (W_s) sobre superficie de pepino; B) determinación de ángulo de contacto; C) medición de tensión superficial.....	38
Figura 15. Evaluación de potencial zeta de recubrimientos funcionalizados en lector de microelectroforesis (Zetasizer nano ZS-90, Malvern Instruments, UK).....	40
Figura 16. A) Desecador bajo condiciones ambientales controladas (0% RH; 20°C); B) cilindros de silicón sellados con películas funcionalizadas.....	41
Figura 17. Lectura de A) color y B) opacidad con ayuda de un colorímetro Minolta (CR 400; Minolta, Japón).	43
Figura 18. Lectura de espesor de película funcionalizada con extracto de <i>R. microphylla</i> con un micrómetro digital (No. 293-5, Mitutoyo, Japón).	43
Figura 19. A) Lector de propiedades mecánicas (Modelo 4500, Instron Corporation, Canton, USA). B) lectura de resistencia a la tracción (RT) y ruptura al alargamiento (RA).	44

Figura 20. Efecto antifúngico expresado en porcentaje (%) de inhibición contra A) <i>Corynespora cassiicola</i> y B) <i>Fusarium oxysporum</i>	50
Figura 21. Diagrama de Pareto del diseño Plackett Burman para el efecto estandarizado de la humectabilidad (W_s) en función de la concentración de: A = mucílago de chía, B = $CaCl_2$ y C = glicerol. La línea punteada indica el nivel crítico encima del cual las variables presentaron un efecto significativo ($p < 0.05$).....	55
Figura 22. Curvas del flujo de comportamiento de los recubrimientos a base de mucílago de chía, $CaCl_2$ y glicerol, obtenidos del reómetro. La nomenclatura -Rm indica la funcionalización con EHA a 2500 mg mL^{-1}	58
Figura 23. Gráfico de viscosidad contra la deformación de las soluciones formadoras de recubrimiento a base de chía con EHA a 2500 mg L^{-1} (-Rm) y sin funcionalizar.	59
Figura 24. Linearización de datos reológicos según modelo de la ley de la potencia donde σ es el esfuerzo cortante (Pa), y $\dot{\gamma}$ indica la velocidad de cizallamiento o deformación (s^{-1}).	61

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Compuestos fenólicos asociados a la capacidad antioxidante.....	13
Cuadro 2. Actividad antifúngica <i>in vitro</i> de extractos de diversas plantas contra hongos patógenos postcosecha.	14
Cuadro 3. Taxonomía de <i>Rhus microphylla</i>	16
Cuadro 4. Efecto de la aplicación de recubrimientos comestibles en frutas.	21
Cuadro 5. Composición nutricional de semilla de chía	24
Cuadro 6. Concentraciones evaluadas para la formación de recubrimientos comestibles	36
Cuadro 7. Rendimientos (%), fenoles totales (mg AG g ⁻¹) y actividad antioxidante (CI ₅₀ , mg L ⁻¹) de extractos (EE, EA y EHA) del fruto de <i>Rhus microphylla</i>	45
Cuadro 8. Perfil fenólico de extractos de fruto de <i>Rhus microphylla</i> por UHPLC.....	48
Cuadro 9. CMI ₅₀ y CMI ₉₀ de extracto de <i>Rhus microphylla</i> para inhibir el crecimiento de <i>Fusarium oxysporum</i> y <i>Corynespora cassiicola</i>	51
Cuadro 10. Coeficiente de dispersión (W_s) de las formulaciones evaluadas sobre la superficie de pepino.....	54
Cuadro 11. Efecto de la funcionalización de soluciones formadoras de recubrimientos en términos de W_s	57
Cuadro 12. Parámetros reológicos: índice de comportamiento de flujo (n) e índice de consistencia (k).....	60
Cuadro 13. Análisis de potencial zeta en soluciones antes y después de su funcionalización.	62
Cuadro 14. Permeabilidad de vapor de agua (PVA), humedad y porcentaje de solubilidad de películas a base de mucílago de chía.	63
Cuadro 15. Valores de opacidad, L*, a* y b* de películas a base de mucílago de chía. ..	67
Cuadro 16. Valores de espesor (μm), resistencia a la tracción (RT) y ruptura al alargamiento (RA) de películas a base de mucílago de chía.	69

RESUMEN

El desarrollo de técnicas de almacenamiento en frutas y hortalizas ha ido evolucionando para adaptarse a las necesidades de los productos con el fin de extender su vida de anaquel, y satisfacer la demanda de alimentos. Las mayores pérdidas en frutos y hortalizas se dan en la etapa de postcosecha, principalmente por el ataque de microorganismos con pérdidas de 25 a 80%. Por tal razón, los esfuerzos de la agricultura y la industria alimentaria se han dirigido a la búsqueda de técnicas para preservar la calidad y extender la vida útil de los productos. Una tecnología eficiente en la conservación de frutas y hortalizas es la aplicación de recubrimientos comestibles, ya que proporcionan una buena barrera contra el deterioro y previenen el ataque de microorganismos fitopatógenos.

El presente estudio se realizó para diseñar y caracterizar recubrimientos comestibles (RC) a base de mucílago de chíá funcionalizados con extracto de *Rhus microphylla*, para el control de *Fusarium oxysporum* y *Corynespora cassiicola*, hongos patógenos en la etapa de precosecha que prevalecen en la postcosecha de pepino, fruto utilizado como modelo de estudio.

La selección de la concentración más adecuada y tipo de extracto se realizó en función de la capacidad antioxidante y antifúngica, evaluando el potencial *in vitro* de tres extractos: etanólico (EE), hidroalcohólico (EHA) y acuoso (EA). El EE mostró un efecto significativo al inhibir en un 100% el crecimiento micelial de ambos hongos a partir de 2500 mg L⁻¹. El EHA mostró inhibición en ambos hongos, a 2500 mg L⁻¹ inhibió en un 60% a *F. oxysporum*, y en un 100% a *C. cassiicola* a 3000 mg L⁻¹. El EA no mostró efectos significativos de inhibición. La funcionalización del recubrimiento se logró con la incorporación de EHA a 2500 mg L⁻¹, concentración seleccionada por su potencial antioxidante y antifúngico, y considerando la viabilidad en la rentabilidad para su producción. La presencia de compuestos fenólicos respaldó la funcionalidad de los extractos identificando por primera vez ácido gálico, resveratrol, quercetina, catequina, ácido ferúlico, ácido *p*-cumárico + epicatequina, ácido elágico y apigenina.

Las mezclas de recubrimientos fueron preparadas siguiendo un diseño Plakett Burman de tres factores a dos niveles, alto (+) y bajo (-), donde A = mucílago de chía (0.2 y 0.4%, p/v), B = CaCl₂ (0.05 y 0.15%, p/v), y C = glicerol (0 y 1.0%, p/v), resultando 12 formulaciones. La selección de las mejores soluciones formadoras de recubrimientos, se realizó en función de la humectabilidad (W_s) sobre la superficie de pepino. El diseño Plakett Burman generó una formulación optimizada (solución no. 13) en función de la influencia de los componentes, con 0.24% de mucílago de chía, 0.15% de CaCl₂ y 0.05% de glicerol. Las formulaciones funcionalizadas por incorporación de EHA a 2500 mg L⁻¹, fueron la no. 2, 3 y 13. Se estudiaron las propiedades físicas y funcionales de los recubrimientos en términos de W_s , potencial zeta, reología, humedad, espesor, solubilidad, propiedades mecánicas y ópticas. Los resultados mostraron que todas las formulaciones formadoras de recubrimientos se comportan como un fluido pseudoplástico no Newtoniano y obedecen la relación de la ley de potencia.

La incorporación del EHA de fruto de *R. microphylla* permitió obtener mejores resultados de W_s , al reducir la hidrofobicidad de las soluciones formadoras de recubrimientos. En cuanto al valor de potencial zeta, la presencia de grupos funcionales en el EHA de fruto de *R. microphylla*, generó una neutralización de cargas. Los valores de humedad oscilaron entre 15 y 80% para las tres formulaciones funcionalizadas. Con respecto a la permeabilidad de vapor de agua (PVA), no se presentaron diferencias significativas ($p>0.05$) entre formulaciones tras su funcionalización. En cuanto a propiedades mecánicas hubo diferencias significativas ($p<0.05$), considerando al recubrimiento 3-Rm como el más flexible y resistente. La funcionalización de recubrimientos comestibles de mucílago de chía con EHA de *R. microphylla* resultó ser una alternativa factible para su potencial aplicación en el fruto de pepino.

Palabras clave: Recubrimiento; *Rhus microphylla*; mucílago de chía; compuestos bioactivos; actividad antifúngica; actividad antioxidante.

ABSTRACT

The development of storage techniques for fruits and vegetables has been evolved to adapt to the needs of the produce in order to extend their shelf life and meet the demand for food. The greatest losses in fruits and vegetables occur in the postharvest stage, mainly due to the attack of microorganisms with losses of 25 to 80%. For this reason, the efforts of agriculture and the food industry have been directed to the search for techniques to preserve quality and extend the shelf life of produce. An efficient technology in the conservation of fruits and vegetables is the application of edible coatings, as they provide a good barrier against deterioration and prevent the attack of phytopathogenic microorganisms.

The present study was carried out to design and characterize edible coatings based on chia mucilage functionalized with *Rhus microphylla* extract, for the control of *Fusarium oxysporum* and *Corynespora cassiicola*, pathogenic fungi in the preharvest stage of cucumber (used as fruit model), and that prevail in its postharvest stage.

The selection of the most appropriate concentration and type of extract were made according to the antioxidant and antifungal capacities. For this, the *in vitro* potential of three extracts was evaluated: ethanol (EE), hydroalcoholic (EHA), and aqueous (EA) extracts. The EE showed a significant effect by inhibiting 100% mycelial growth of both fungi from 2500 mg L⁻¹. The EHA showed inhibition on both fungi, with 60% inhibition of *F. oxysporum* at 2500 mg L⁻¹, and 100% at 3000 mg L⁻¹ on *C. cassiicola*. The EA showed no significant effects of fungal inhibition. The coating functionalization was achieved with the incorporation of EHA at 2500 mg L⁻¹, which was selected for the profitability of its production, as well as for its antioxidant and antifungal properties. The presence of phenolic compounds supported the functionality of the extracts by identifying, for the first time, gallic acid, resveratrol, quercetin, catequin, ferulic acid, *p*-cumaric acid + epicatechin, ellagic acid, and apigenin.

The coatings mixtures were prepared following a three-factor Plakett Burman design at two levels, high (+) and low (-), where A = chia mucilage (0.2 and 0.4%, w/v), B = CaCl₂ (0.05 and 0.15%, w/v), and C = glycerol (0 and 1.0%, w/v), resulting 12 formulations. The selection of the best coating-forming solutions was made based on the wettability (W_s) on the cucumber' surface. The Plakett Burman design generated an optimized formulation (no. 13) based on the influence of the components, with 0.24% of chia mucilage, 0.15% of CaCl₂, and 0.05% of glycerol. The functionalized formulations by incorporating EHA at 2500 mg L⁻¹, were the no. 2, 3 and 13. The physical and functional properties of the coatings were studied in terms of W_s , zeta potential, rheology, humidity, thickness, solubility, and mechanical and optical properties. The results showed that all coating-forming solutions behave like a Non-Newtonian pseudoplastic fluid and obey the relationship of the power law.

The incorporation of the EHA of *R. microphylla* fruit allowed to obtain better W_s results, by reducing the hydrophobicity of the coating-forming solutions. Regarding zeta potential, the presence of functional groups found in *R. microphylla* fruit, generated a neutralization of charges. Humidity values ranged from 15 to 80% for the three functionalized formulations. With respect to water vapor permeability (PVA), there were no significant differences ($p>0.05$) between formulations after functionalization. Regarding mechanical properties, there were significant differences ($p<0.05$), considering the 3-Rm coating as the most flexible and resistant.

The functionalization of chia mucilage based edible coatings with EHA from *R. microphylla* fruit, proved to be a feasible alternative for their potential application in the cucumber fruit.

Keywords: Coating; *Rhus microphylla*; chia mucilage; bioactive compounds; antifungal activity; antioxidant activity

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

A lo largo del mundo, la agricultura y la industria alimentaria se ven afectadas por pérdidas de frutas y hortalizas desde su cosecha hasta llegar al consumidor final, representando una limitante para satisfacer la demanda del mercado (Baldwin, 2002). Estas pérdidas dependen, en gran medida de las condiciones de manejo, así como la disponibilidad de recursos económicos (FAO, 2011). Las pérdidas en cultivos, tanto en la etapa de pre y postcosecha, se asocian principalmente al desarrollo de enfermedades favorecidas por las condiciones deficientes de almacenamiento, el uso de empaques de mala calidad, a el ataque de microorganismos, a un manejo inadecuado y a la falta de herramientas en la postcosecha (Flores-López et al., 2016a).

El ataque de microorganismos destaca como principal causa en las pérdidas postcosecha de frutas y hortalizas, por su alto porcentaje de humedad, su bajo pH y su composición nutricional se favorece el desarrollo de microorganismos (Vieira et al., 2016). A nivel mundial se estima que las pérdidas postcosecha de frutas y hortalizas causadas por microorganismos, están en el rango de 20 a 40 % de la producción total (FHIA, 2018).

México es un país importante como productor y exportador de frutas y hortalizas, de los cuales el pepino representa el quinto lugar en importancia entre las hortalizas exportadas, superado por el jitomate, aguacate, chile verde y la nuez de nogal (SAGARPA, 2018). Sin embargo, la velocidad de deterioro de esta cucurbitácea después de ser cosechada, es el principal impedimento para su comercialización (Zamudio y Reyes, 2014). Esto ha impulsado la búsqueda de alternativas rentables para el manejo postcosecha de frutas y hortalizas, basado en el aprovechamiento de recursos naturales (Droby et al., 2009). Una opción que ha sido considerada para prevenir enfermedades fúngicas en etapas de pre- y postcosecha es el uso de extractos de plantas, especialmente de aquellas que crecen en zonas áridas (Agronegocios, 2006), debido a los metabolitos secundarios

producidos que le proveen resistencia a climas extremos, escasez de agua y a la alta radiación UV (Jasso de Rodríguez et al., 2015). Entre estos metabolitos destacan los compuestos fenólicos (ej. taninos, terpenos, flavonoides, triterpenos, entre otros) (Belmont et al., 2000).

Estudios recientes han encontrado a diversas especies del género *Rhus* (*R. coriaria* L., *R. glabra*, *R. javanica* y *R. muelleri*) con efecto antagonista *in vitro* de extractos, sobre especies patógenas en cultivos (Jasso de Rodríguez et al., 2015; Saxena et al., 1994; McCutcheon et al., 1994). Con base al uso ancestral de *Rhus* empleado como remedio (Latorre et al., 2016), se pretende analizar las propiedades de la planta *R. microphylla* para definir su funcionalidad. Actualmente, no hay reportes científicos sobre la actividad biológica o sobre su composición fitoquímica, lo que representa un área de oportunidad para el aprovechamiento de recursos naturales.

La aplicación de recubrimientos comestibles (RC) representa una alternativa en el control de pérdidas postcosecha, ya que provee características interesantes en el fruto aplicado (Quintero et al., 2010). Vieira et al. (2016) definen a los RC como una capa delgada y continua, que brinda una barrera a la humedad y al oxígeno, fabricada con materiales comestibles. El propósito de los RC, es extender la vida útil del producto, conservar su calidad y proporcionar una barrera contra el ataque de patógenos (Baldwin, 2002). Además, reducen la tasa de respiración, retardan los cambios en las propiedades organolépticas y funciona como vehículo para incorporar compuestos como antifúngicos y antioxidantes, que refuerzan su funcionalidad (Del-Valle et al., 2005).

El diseño de RC consta de tres componentes: polímero, solvente y plastificante (Bilder et al., 1997). El polímero es el componente de mayor importancia, por esta razón, se busca seleccionar fuentes de fácil obtención (Del-Valle et al., 2005). Generalmente, la incorporación de un polisacárido (polímero) en un RC es más factible que otros ingredientes (ej. proteínas y lípidos) debido a que son permeables al CO₂ y O₂, por lo tanto, retardan la respiración y envejecimiento en el fruto aplicado, esto indica una mejor hidrofobicidad de la película que permite el

paso de vapor, previniendo la condensación de agua, acción responsable del desarrollo de microorganismos (Arnon et al., 2015).

La chía (*Salvia hispanica* L.) es una planta nativa del noroeste de América Central (México y Guatemala), cuya característica distintiva es la producción de mucílago al hidratarse (Zettel y Hitzmann, 2018). El mucílago o gel obtenido de la fibra soluble en la semilla de chía, es un polisacárido compuesto principalmente por xilosa, glucosa y ácido galacturónico (Ding et al., 2018). Este mucílago es considerado por la FAO (1996), como una fuente potencial de goma debido a sus cualidades mucilaginosas en una solución acuosa de baja concentración (Dick et al., 2015; Muñoz et al., 2012). También, tiene propiedades de retención de agua, es un potente emulsionante, espesante y estabilizador (Villa-Martínez et al., 2017). Este mucílago no ha sido estudiado y representa un área de oportunidad para el desarrollo de recubrimientos y películas comestibles.

En el presente estudio se evaluó el potencial de extractos de fruto de *R. microphylla* en términos de actividad antifúngica y antioxidante, para su incorporación en RC a base de mucílago de chía, capaces de inhibir el crecimiento de *Fusarium oxysporum* y *Corynespora cassiicola*, patógenos presentes en la etapa precosecha que prevalecen en la postcosecha de pepino (Guerrero et al., 2016; Arbeláez, 2000). Además, se realizó la caracterización de propiedades fisicoquímicas del recubrimiento funcionalizado, para su potencial aplicación en pepino, fruto modelo de esta investigación.

1.2 Justificación

La necesidad del consumidor por adquirir alimentos seguros, nutritivos y que aporten un beneficio a la salud, en conjunto con el cuidado del medio ambiente, ha dirigido los esfuerzos de la industria agroalimentaria en la búsqueda de alternativas para satisfacer las demandas del mercado (Droby et al., 2009). Además de preservar la calidad y extender la vida útil de los productos. Sin embargo, las elevadas pérdidas de producto que se generan durante su comercialización son una gran limitante. Las causas exactas de pérdidas de frutas y hortalizas varían, destacando el ataque de microorganismos (hongos y bacterias) (Flores-López et al., 2016a).

Las frutas y hortalizas, después de su cosecha, comienzan un proceso de maduración en el que cambios postcosecha pueden acelerarse, principalmente por la pérdida de agua y el ataque de microorganismos (Vieira et al., 2016). Las prácticas actuales empleadas en el manejo postcosecha permiten preservar de manera aceptable el fruto hasta su consumo; sin embargo, estas prácticas no siempre garantizan la calidad de los productos, lo que motiva a los productores a invertir en alternativas que ayuden a la conservación del fruto durante un tiempo prolongado (Yousuf et al., 2018).

En los últimos años, las películas y RC se han considerado una tecnología con gran potencial para mejorar la seguridad de los alimentos y protegerlos de la influencia de factores ambientales externos (Quintero et al., 2010). El mayor atractivo de la aplicación de películas y RC, es la funcionalidad que se genera al incorporar agentes antioxidantes, antimicrobianos, entre otros aditivos funcionales (Huber y Embuscado, 2009).

En la búsqueda de materiales rentables y naturales, surge el interés por el aprovechamiento de mucílagos, tal es el caso del exudado que produce la semilla de chía (*Salvia hispanica* L.) al entrar en contacto con agua (Muñoz Hernández, 2012). Las propiedades de este material para formar RC han sido poco estudiadas, lo que resulta interesante para ser considerado materia prima en el diseño de dichos

sistemas, por tratarse de un polisacárido con propiedades gelificantes (Coelho y Salas-Mellado, 2014). Estudios previos confirman que la aplicación de RC a base de polisacáridos genera una barrera a la pérdida de humedad, crea una fácil interacción entre la superficie del alimento y la base del recubrimiento (polímero, solvente y plastificante) (Vieira et al., 2016).

Actualmente, el diseño de recubrimientos funcionales se ha enfocado en la incorporación de compuestos bioactivos provenientes de extractos de plantas productoras de metabolitos secundarios (Ncama et al., 2018). Las plantas del género *Rhus* contienen grandes cantidades de componentes con actividad biológica y su composición depende de la zona geográfica de su desarrollo (McCutcheon et al., 1994). Los compuestos más importantes presentes en estas plantas son los compuestos fenólicos (25-33% del peso de la planta seca), lo que hace que estas plantas tengan importancia industrial y nutricional (Cowan, 1999). Además, estas plantas presentan propiedades antibacterianas, antioxidantes, y usos medicinales (ej. propiedad antipirética) (Yi et al., 2004). En México, el crecimiento de la planta *R. microphylla* representa un área de aprovechamiento en la obtención de compuestos de interés, al no estar caracterizada para su potencial incorporación en la formulación de recubrimientos comestibles.

Para fines de esta investigación se eligió como fruto modelo el pepino (*Cucumis sativus* L), que es cosechado inmaduro, con un 96% de agua en sus tejidos (Rangel, 2004). Para este fruto, su principal limitante es la deshidratación, causando un deterioro que provoca pérdidas cuantitativas, de apariencia y calidad nutritiva, dándole una vida de anaquel muy reducida (Zamudio y Reyes, 2014). A pesar de esta limitante, el pepino se encuentra entre las principales hortalizas exportadas en México, ocupando el quinto lugar, superado por el jitomate, aguacate, chile verde y la nuez de nogal (SAGARPA, 2018). La producción de pepino ha ido en aumento en las últimas décadas, siendo un producto altamente consumido a nivel mundial, por lo que representa una alternativa a la diversificación de cultivos en invernadero (Zamudio y Reyes, 2014).

1.3 Hipótesis

La funcionalización con extracto de *Rhus microphylla* tendrá un efecto positivo en las propiedades funcionales de recubrimientos comestibles a base de mucílago de chía para su potencial aplicación en pepino (*Cucumis sativus* L.).

1.4 Objetivo general

Desarrollar un recubrimiento comestible funcional a base de mucílago de chía (*Salvia hispanica* L.) para su potencial aplicación en pepino (*Cucumis sativus* L.) como fruto modelo.

1.5 Objetivos específicos

- I. Obtener y caracterizar extractos de fruto de *Rhus microphylla*.
- II. Determinar el extracto de fruto de *R. microphylla* más adecuado para el control *in vitro* de *Corynespora cassiicola* y *Fusarium oxysporum*, hongos fitopatógenos asociados a pérdidas en la etapa de pre- y postcosecha de pepino.
- III. Seleccionar las mejores formulaciones de recubrimiento a base de mucílago de chía, en términos de humectabilidad (W_s).
- IV. Funcionalizar las mejores formulaciones con extracto de fruto *R. microphylla*.
- V. Caracterizar los recubrimientos a base de mucílago de chía con extracto de fruto *R. microphylla* para su potencial aplicación en pepino.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Generalidades

La diversificación de cultivos en campo y en invernadero se incrementa en relación a la demanda de productos y la comercialización que se tiene; sin embargo, a lo largo del mundo existen grandes limitantes para la industria agroalimentaria, que frenan el proceso desde el cultivo hasta el consumidor final (FAO, 2011). En los países industrializados, más del 40% de las pérdidas alimentarias se producen a nivel minorista y de consumo; mientras que, en los países en desarrollo, más del 40% de las pérdidas ocurren en los niveles de procesamiento y postcosecha (Flores-López et al., 2016a).

Con el objetivo de prevenir y minimizar los efectos adversos que impiden la comercialización de productos hortícolas en la postcosecha, el tratamiento químico se usa para controlar el desarrollo de patógenos y prolongar su vida útil (Eshel et al., 2009). Sin embargo, la resistencia de plagas a sustancias químicas, ha limitado las opciones de solución para los productores, además de representar una amenaza para la salud humana (Daglia, 2012). El uso de recubrimientos y películas comestibles surge como una alternativa al tratamiento postcosecha para conservar la calidad de frutos y hortalizas (Huber y Embuscado, 2009).

Estos sistemas son interesantes porque tienen cualidades de barrera a la pérdida de humedad, control en el intercambio de gases implicados en la respiración y representa una barrera física que evita el contacto con microorganismos (Solano-Doblado et al., 2018). Además, destaca su función de vehículo para la incorporación de compuestos bioactivos (antimicrobianos, antioxidantes, vitaminas, etc.) (Télles-Pichardo et al., 2013).

2.2 Plantas como fuente de compuestos bioactivos

Las plantas producen una gran variedad de compuestos bioactivos como mecanismo de defensa al ataque de microorganismos y para adaptarse a ambientes adversos (temperatura, humedad, radiación UV, sequía, etc.) (Jasso de Rodríguez et al., 2015). El término “compuesto bioactivo”, se define como aquellos compuestos que tiene la capacidad de provocar efectos farmacológicos o toxicológicos en humanos y/o animales (Vélez et al., 2014). Las plantas utilizadas para la medicina tradicional contienen una amplia gama de sustancias que pueden utilizarse para tratar enfermedades crónicas e infecciosas, combatir plagas en cultivos y durante la etapa de postcosecha (Sasidharan et al., 2011).

México ocupa el cuarto lugar a nivel mundial en diversidad de plantas, existen 20,000 especies registradas y se estima que hay cerca de 30,000 no descritas (Adame y Adame, 2000). El norte del país cuenta con condiciones climáticas adversas, propiciando el crecimiento de una gran diversidad de plantas silvestres, capaces de resistir estrés hídrico, altas temperaturas y radiación UV (Jasso de Rodríguez et al., 2015). La presencia de compuestos con estructuras polifenólicas destaca en la caracterización de estas plantas, a los que se les atribuyen efecto antioxidante, antiinflamatorio, anticancerígeno, fungicida y bactericida, entre otros (Jasso de Rodríguez, 2011; Durango et al., 2006; Zavaleta et al., 2005). Los compuestos polifenólicos han mostrado control en la incidencia de patógenos ej. *Fusarium oxysporum* y *Rhizopus stolonifer* que atacan en la etapa de postcosecha, responsables de grandes pérdidas económicas y de producción (Jasso de Rodríguez et al., 2015).

El uso de plantas silvestres representa una fuente atractiva en la producción de extractos, con el fin de obtener compuestos bioactivos para su aplicación en la etapa de postcosecha de frutas y hortalizas (ej. películas y recubrimientos comestibles), que permiten extender su vida útil y conservar su calidad (Yousuf et al., 2018).

2.2.1 Capacidad antioxidante

Los antioxidantes son compuestos que pueden retardar o inhibir la oxidación de lípidos u otras moléculas, evitando el desarrollo de reacciones de oxidación (Degáspari y Waszczynskyj, 2014). La actividad antioxidante de los compuestos fenólicos se debe a sus propiedades de óxido-reducción, que absorben y neutralizan radicales libres (Daglia, 2012). Las principales fuentes de antioxidantes son: frutas, vegetales y plantas (Cuadro 1), que contienen fitoquímicos generados como metabolitos secundarios (Hocman, 1988). Kosar et al. (2007) confirmaron que la composición química de las plantas esta relacionada en el efecto antioxidante que éstas ejercen, al caracterizar compuestos bioactivos en extractos (etanólico, metanólico y acuoso) de *R. coriaria* L. Jasso de Rodríguez et al. (2011) se enfocaron en el análisis de extractos de plantas del desierto mexicano (*Lippia graveolens*, *Agave lechuguilla*, *Yucca carnerosana* y *Y. filifera*), demostrando el potencial antioxidante y antifúngico sobre patógenos postcosecha (*R. stolonifer*, *Colletotrichum gloesporoides* y *Penicillium digitatum*).

Cuadro 1. Compuestos fenólicos asociados a la capacidad antioxidante.

Agente antioxidante	Fuente	Efecto	Referencia
Ácido gálico	<i>Larrea tridentata</i> , <i>Turnera diffusa</i> .	Actividad antiinflamatoria, antioxidante, antibiótica y anticancerígena.	Salas et al. (2013)
Ácido ferúlico	Frutos, legumbres, pulpa de remolacha, granos y semillas.	Antioxidante, anticancerígeno, antiglucémico.	López Alonso et al. (2011)
Resveratrol	Plantas, frutos, bebidas (vino).	Antioxidante, anticancerígeno, antifúngico.	Kollár y Hotolová, (2003)
Ácido elágico	Nueces, uvas, bayas o moras, plantas desérticas.	Antioxidante y anticancerígeno.	Ascacio-Valdés et al. (2013)
Ácido cítrico	Limón, naranja, lima, mandarina, piña.	Antifúngico y antioxidante.	Morales, (2018)

2.2.2 Capacidad antifúngica

Existe una gran diversidad de recursos vegetales con propiedades antifúngicas para el control de fitopatógenos (Jasso de Rodríguez et al., 2011). En México se han reportado más de 200 especies de plantas con actividad antifúngica (Castillo et al., 2010). Estas propiedades antifúngicas están relacionadas a la presencia de compuestos bioactivos producidos como metabolitos secundarios (ej. polifenoles), que forman parte de los mecanismos de defensa de las plantas contra microorganismos (Jasso de Rodríguez et al., 2011). El potencial uso de extractos de plantas sobre la incidencia de patógenos se ha demostrado a nivel de laboratorio, invernadero y campo (Cuadro 2) (Sasidharan et al., 2011). Las diferencias que existen en el análisis de extractos se debe a los compuestos bioactivos nativos de las plantas y a su afinidad con el solvente empleado en la extracción (Jasso de Rodríguez et al., 2011).

Cuadro 2. Actividad antifúngica *in vitro* de extractos de diversas plantas contra hongos patógenos postcosecha.

Agente antimicrobiano	Agente patógeno	Efecto	Referencia
Extracto etanólico de <i>Y. carnerosana</i> , <i>Y. filifera</i> y <i>A. lechuguilla</i>	<i>C. gloeosporioides</i>	Inhibición micelial 100% en 500 $\mu\text{L L}^{-1}$	Jasso de Rodríguez, (2011)
Extracto acuoso de <i>Allium sativum</i>	<i>F. oxysporum</i>	95% de actividad fungicida	AlKhail, (2005)
Extracto diclorometánico de las hojas de <i>R. graveolens</i>	<i>Botrytis cinerea</i>	Inhibición micelial de 57.5%	Jiménez y Mosquera, (2014)
Extracto etanólico de <i>R. muelleri</i>	<i>F. oxysporum</i>	Inhibición micelial de 66.8% – 71.4%	Jasso de Rodríguez et al. (2015)
Extracto metanólico de <i>Larrea tridentata</i> L.	<i>Aspergillus flavus</i> y <i>Penicillium</i> sp.	Inhibición micelial del 67.9%	Moreno et al. (2011)

2.2.3 *Rhus microphylla*

La planta *R. microphylla* es una especie nativa del sudeste de Estados Unidos, centro y norte de México, es conocida como agrito, agrillo y correosa (Latorre et al., 1977). Es un arbusto ramificado, de 1 a 2 m de altura, sus ramas tienden a terminar en espina, sus hojas tienen de cinco a nueve folíolos sésiles de menos de 2 cm de largo y 6 mm de ancho (Figura 1).



Figura 1. Planta de agrillo (*R. microphylla*).

La planta *R. microphylla* florece antes de que aparezcan las nuevas hojas, se caracteriza por presencia de drupas con pelos glandulares en la pared del fruto que se tornan rojos cuando maduran, y miden aproximadamente 5 mm de diámetro (González et al., 2004). El género *Rhus* pertenece a la familia Anacardiaceae, la cual constituye 77 géneros con unas 700 especies aceptadas, de las casi 3000 descritas, características de países tropicales, cálidos y templados (Yi et al., 2004). La taxonomía de la planta *R. microphylla* se presenta en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Taxonomía de *Rhus microphylla*

Reino	<i>Plantae</i>
Orden	Sapindales
Familia	Anacardiaceae
Género	<i>Rhus</i>
Especie	<i>R. microphylla</i>

Fuente: (González et al., 2004).

2.2.3.1 Distribución geográfica

R. microphylla es una planta ampliamente distribuida en las zonas cálidas y templadas de México y del sudeste de Estados Unidos (Figura 2). Actualmente, se han realizado observaciones de esta planta en otro tipo de climas, mostrando una buena adaptación a lugares con condiciones adversas; sin embargo, el fruto de la planta sólo se aprecia por temporadas después de su floración (abril, mayo y junio) (Yi et al., 2004).

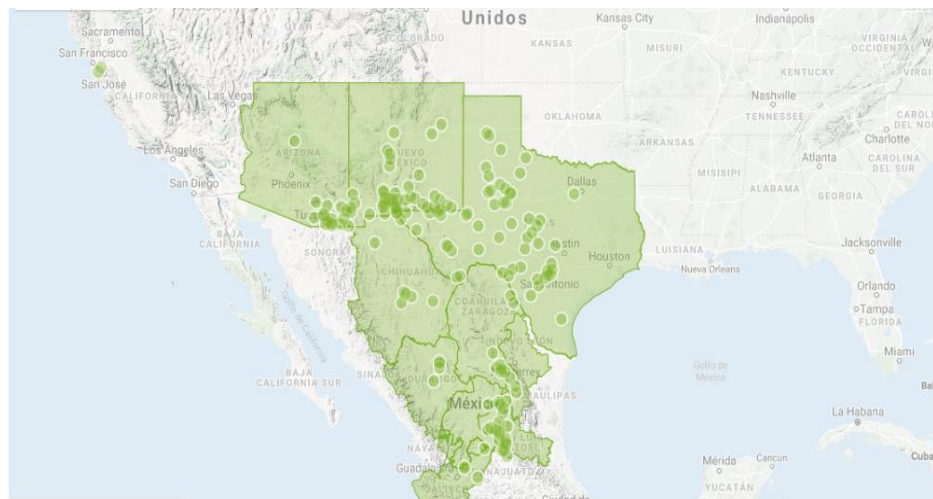


Figura 2. Distribución geográfica de *Rhus microphylla* (Fuente: Naturalista).

2.2.3.2 Usos y aplicaciones

La literatura señala la presencia de compuestos fenólicos en especies del género *Rhus*, empleando sus frutos acidulados en la medicina popular y herbal (Jasso de Rodríguez et al., 2015). En algunos casos se han utilizado como tratamiento para enfermedades (ej. leucemia); sin embargo, hay información limitada sobre su efecto medicinal y su potencial como nueva fuente de sustancias curativas (González et al., 2004).

Las investigaciones realizadas se han enfocado en el potencial de extractos con actividad antimicrobiana contra hongos y bacterias patógenas, responsables de pérdidas postcosecha de frutas y hortalizas (Wu et al., 2013). Tal es el caso de extractos de semillas de *R. coriaria* L. (etanólico, metanólico, hidroalcohólico y acuoso), que mostraron efectividad en la inhibición de bacterias Gram positivas y Gram negativas (Jasso de Rodríguez et al., 2015). También, extractos de *R. glabra* (cloroformo/metanol 3:2, v/v) mostraron actividad antifúngica contra nueve cepas de hongos, atribuido a la presencia de compuestos fenólicos (Saxena et al., 1994). Esto confirma el potencial de especies del género *Rhus*.

2.3 Películas y recubrimientos comestibles

Los términos película y RC se utilizan para indicar que la superficie de un alimento está cubierta por una capa delgada de un material comestible (Baldwin, 2002). Su principal función es prevenir pérdidas de humedad, mientras que permiten selectivamente el intercambio de gases importantes (O_2 , CO_2 y etileno), implicados en el proceso de respiración, maduración y oxidación del fruto (Yousuf et al., 2018). La diferencia entre película y RC, radica en la naturaleza de su aplicación, ya que las películas comestibles se preparan por separado y luego se aplican a la superficie, mientras que los recubrimientos se forman directamente en las superficies de los alimentos (Avila-Sosa, 2008).

A nivel experimental se han demostrado buenos resultados en la aplicación de ambos métodos en hortalizas y productos cárnicos, mejorando sus propiedades organolépticas, prolongando su vida útil y reduciendo la incidencia de patógenos (Sánchez-Ortega et al., 2014) .

Recientemente, el uso de películas y RC, se ha desarrollado para preservar la calidad de una amplia variedad de alimentos; sin embargo, existen limitantes para su aplicación, debido a sus escasas propiedades mecánicas y de permeabilidad, limitando su uso a aplicaciones específicas (Yousuf et al., 2018). Por ello, es necesaria la búsqueda de nuevos ingredientes para mejorar su funcionalidad.

2.3.1 Mecanismo de acción de los recubrimientos comestibles

El mecanismo de acción de los RC consiste en formar una barrera protectora sobre la superficie de aplicación, que permita generar una atmósfera controlada dentro del producto (Ruiz et al., 2016). Esto para prevenir el deterioro ocasionado por la respiración, deshidratación, oxidación y desarrollo superficial de microorganismos (Télles-Pichardo et al., 2013).

Generalmente, cuando se aplican recubrimientos funcionales, se espera que el compuesto bioactivo migre a la superficie del producto y se retenga en ella (Figura 3). La migración del compuesto depende de la interacción entre el compuesto bioactivo y la base del recubrimiento (Quintero et al., 2010). Este fenómeno de migración esta influenciado por las características del producto a recubrir (pH, actividad acuosa), las propiedades hidrofílicas del recubrimiento y las condiciones de temperatura y almacenamiento (Ozdemir y Floros, 2008) .

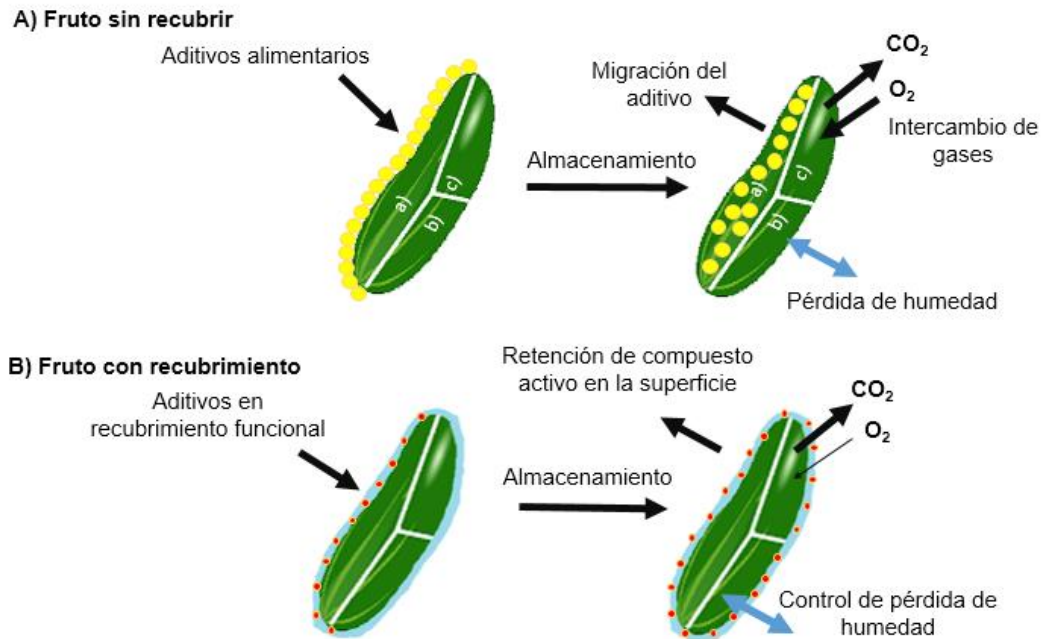


Figura 3. Representación esquemática de la conservación de alimentos con y sin recubrimiento comestible en pepino.

La base en la elaboración de RC consta de tres componentes; polímero, solvente y plastificante, el polímero es considerado como el componente de mayor importancia (Bilder et al., 1997). Generalmente, en la selección del componente mayoritario se consideran los lípidos para reducir la transmisión de agua; los polisacáridos para controlar el oxígeno y la transmisión del gas, y las proteínas para proporcionar una estabilidad mecánica (Huber y Embuscado, 2009).

La eficiencia funcional de las películas y RC dependen de la concentración de cada componente y su estructura (Ruiz et al., 2016). Así mismo, la selección de los componentes para el diseño de RC está en función del objetivo, la naturaleza del producto y del método de aplicación (Andrade et al., 2014). Las investigaciones dirigidas al estudio de materiales formadores de RC se enfocan a polímeros naturales con buenas propiedades mecánicas y de barrera (Vieira et al., 2016).

2.3.2 Propiedades de los recubrimientos comestibles

En el diseño de los recubrimientos comestibles, su funcionalidad depende de los compuestos seleccionados y la interacción que se genere entre ellos (Zhang y Han, 2006). Es necesario considerar parámetros básicos para poder aplicar en un fruto, como sus cualidades sensoriales, la eficiencia mecánica, la capacidad de barrera, la estabilidad microbiológica, la rentabilidad de producción y la seguridad del consumidor (Estrada, 2010).

2.3.2.1 Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas dependen en gran medida de los ingredientes empleados y se ven afectadas por la interacción que exista entre ellos (Carneiro-da-Cunha et al., 2009). Es necesario evaluar la ruptura al alargamiento (RA) y la resistencia a la tracción (RT) de los recubrimientos, para determinar qué tipo de superficie se puede recubrir con determinado recubrimiento cumpliendo con las necesidades del fruto según sea el caso (climatérico y no climatérico) (Corpas y Tapasco, 2014).

2.3.2.2 Propiedades funcionales

Las propiedades funcionales atribuidas a un alimento tienen acción específica en función de los componentes que forman el recubrimiento y la finalidad con la que se aplique (Huber y Embuscado, 2009). La incorporación de compuestos bioactivos destaca entre las cualidades de los RC, ya que le provee al producto funciones más específicas (ej. actividad antimicrobiana y antioxidante, entre otras) (Bourtoom, 2008). Sin embargo, la incorporación de estos componentes debe ser controlada para evitar degradar las propiedades organolépticas del producto (Estrada, 2010). Dentro de los agentes antimicrobianos incorporados a RC, comúnmente se seleccionan extractos de plantas para reforzar su funcionalidad, que son unas mezclas complejas de terpenos, alcoholes, ésteres, aldehídos y compuestos fenólicos (Sasidharan et al., 2011).

Según Ramos et al. (2010), la actividad antifúngica se asocia al contenido de fenoles, nativos de plantas capaces de resistir a las inclemencias climáticas de su ecosistema, además de resistir el ataque de plagas. En el Cuadro 4 se muestra el efecto de la aplicación de algunos RC sobre frutas y hortalizas, destacando el uso de recubrimientos a base de polisacáridos.

Cuadro 4. Efecto de la aplicación de recubrimientos comestibles en frutas.

Base del recubrimiento	Fruto aplicado	Resultados	Referencias
Polisacárido de cactus (<i>Opuntia ficus indica</i>)	Fresa	Extension de vida de anaquel, mejora de propiedades sensoriales.	Del-Valle et al. (2005)
Cáscara de mango y antioxidantes de la semilla de mango	Durazno	Mejores propiedades de barrera.	Torres-León et al. (2018)
<i>Aloe vera</i> y quitosán	Arándano azul	Extension de vida de anaquel e inhibición de patógenos postcosecha.	Vieira et al. (2016)
Goma Policaju y sorbitol	Manzana	Mejora de propiedades sensoriales.	Carneiro-da-Cunha et al. (2009)
Almidón y quitosán	Zanahoria	Inhibición de bacterias ácido lácticas durante vida de anaquel.	Durango et al. (2006)

2.2.3 Selección y aplicación de recubrimientos comestibles

El éxito de las películas y RC depende en gran medida del método de aplicación y la superficie de contacto (Quintero et al., 2010). Así, la inmersión y la aspersión son algunas técnicas utilizadas para recubrimientos y la preformación o casting para películas comestibles (Figura 4) (Bourtoom, 2008). La aplicación del recubrimiento es seguida por una etapa de secado o enfriamiento (Gontard et al., 1994).

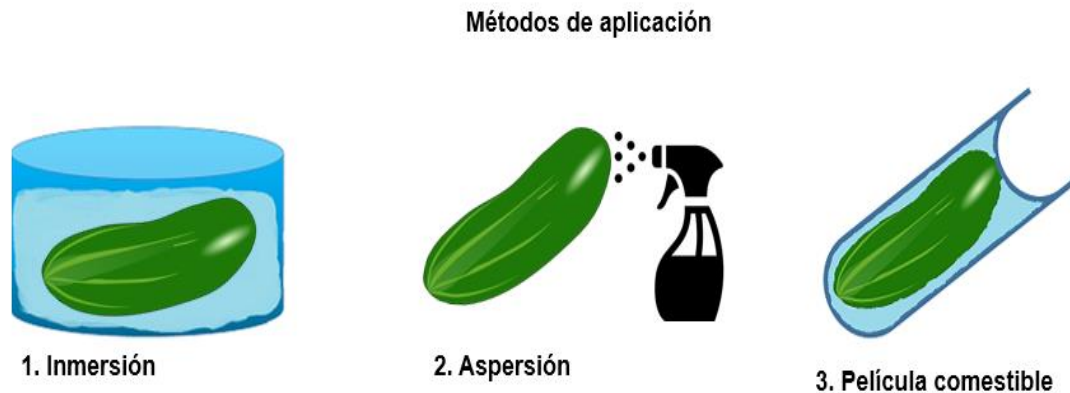


Figura 4. Métodos de aplicación de recubrimientos y películas comestibles

La determinación del método a utilizar debe ser en función de las características de la superficie de contacto y el objetivo del recubrimiento (Baldwin, 2002). Es necesario tomar en cuenta para aplicación en frutas y hortalizas sus patrones de maduración (climatéricos y no climatéricos), con el fin de seleccionar el mejor recubrimiento en cada caso (Huber y Embuscado, 2009).

Las frutas climatéricas (ej. tomate, kiwi, plátano, aguacate y manzana) se caracterizan por una mayor respiración y síntesis de etileno durante la maduración, que es una limitante en el transporte, almacenamiento y comercialización (Corpas y Tapasco, 2014). Por otro lado, para los frutos no climatéricos (ej. cítricos, piña, pepino, fresa y uva), la respiración no representa una amenaza, debido a que su maduración se da cuando aún están unidos a la planta, siendo la pérdida de peso la principal limitante durante su comercialización (Martínez et al., 2017). Generalmente, para la prevención de este daño se aplica recubrimientos a base de lípidos (ej., ceras y resinas) donde la baja permeabilidad a CO_2 , O_2 y vapor de agua permite reducir la pérdida de agua, proporcionando una apariencia atractiva del producto (Du et al., 2011). Sin embargo, la restricción excesiva del intercambio de gas ocurre algunas veces en las frutas encerados, lo que lleva a cambios de sabor indeseables (Flores-López, 2016a).

2.4 Chía (*Salvia hispanica* L.)

La semilla de chía es originaria de los valles centrales de México y el norte de Guatemala, perteneciente a la familia de las Lamiaceae (familia de las mentas) (Muñoz, 2012). Es una planta subtropical anual que requiere menos agua que otros cultivos, se adapta a climas extremos, ya que al estar bajo condiciones de estrés hídrico aumenta la concentración de lípidos (Zettel y Hitzmann, 2018). Las hojas miden de 4 a 8 cm de largo y de 3 a 5 cm de ancho, sus flores son hermafroditas, de color violeta y florece entre julio y agosto (Figura 5). Al término del verano, las flores dan lugar a un fruto en forma de "aqueno indehiscente" (Xingú López et al., 2017).



Figura 5. Imagen de *Salvia hispanica* L. A) cultivo y B) Flor.

Estudios recientes han contribuido a explicar por qué las antiguas civilizaciones consideraban a la chía un componente básico de su dieta, al determinar la composición química de la semilla y su valor nutricional (Ding et al., 2018). La semilla de chía es rica en nutrientes, vitaminas, antioxidantes y ácidos grasos, contiene una buena cantidad de fibra (27%), sobre todo en forma de fibra soluble (mucílagos) (Ding et al., 2018). Dada la interesante composición de la semilla de chía, tiene un alto potencial para el desarrollo de avances tecnológicos en la industria agroalimentaria, farmacéutica, cosmetológica, entre otras (Xingú López et al., 2017). El Cuadro 5, muestra la composición nutricional de una porción de 100 g de chía.

Cuadro 5. Composición nutricional de semilla de chía.

Nutriente	100 g
Energía (Kcal.)	486.0
Proteínas (g)	16.5
Grasas totales (g)	30.7
Ácidos grasos monoinsaturados (g)	2.3
Ácidos grasos poliinsaturados (g)	23.7
Omega-3 (g)	17.8
Carbohidratos (g)	42.1
Fibra	34.4

Fuente: Muñoz Hernández (2012).

2.4.1 Semilla

Las semillas son pequeñas, de forma ovalada y planas, y miden entre 2 y 2.5 mm de largo, 1.2 y 1.5 mm de ancho, y de 0.8 a 1.0 mm de espesor (Figura 6). Sus gamas de colores van de marrón oscuro a negro, y a veces gris o blanco, (Muñoz, 2012).



Figura 6. Semilla de chía: A) seca y B) en hidratación.

2.4.2 Mucílago

Los mucilagos son polisacáridos obtenidos a partir de fuentes naturales generalmente de plantas o algunas semillas, su principal característica es la formación de disoluciones coloidales viscosas en agua (geles) (Arnon et al., 2015). La semilla de chíá al ponerse en contacto con agua forma mucílago que la rodea, constituido principalmente por fibra dietaria (Ding et al., 2018). El mucílago de la semilla de chíá, no solamente tiene importancia por su valor nutricional, también por su naturaleza hidrocoloide y gelificante, lo cual es una propiedad importante para ser aplicado como agente espesante, emulsificante, gelatinizante y estabilizante; sin embargo, este ingrediente no ha sido muy estudiado (Xingú López et al., 2017).

En el aprovechamiento de polisacáridos mucilaginosos se ha estudiado su potencial para la incorporación en RC, tal es el caso de el mucílago obtenido de cactus (*O. ficus-indica*), que, al ser aplicado en fresa, conservó la calidad durante su vida de anaquel (Del Valle et al., 2005). La incorporación de este tipo de materiales en una matriz de recubrimiento, representa una alternativa en la búsqueda de materiales naturales para el desarrollo de tecnologías postcosecha, al ser de fácil obtención.

2.5 Pepino (*Cucumis sativus* L.)

El pepino (*C. sativus* L.) es un cultivo anual, perteneciente a la familia de las cucurbitáceas, una de las familias más variadas genéticamente y de importancia para el consumo humano (Mohammadi et al., 2015). En México, el cultivo del pepino ocupa el quinto lugar entre las hortalizas exportadas (SAGARPA, 2018). Su importancia radica en el alto índice de consumo en México, siendo ampliamente adquirido en forma fresca, aportando potasio, magnesio, hierro y un bajo contenido en calorías (Carnide y Barroso, 2006) (Figura 7).



Figura 7. Pepino (*Cucumis sativus L.*)

2.5.1 Principales problemas en postcosecha de pepino

El pepino, al igual que muchas hortalizas, es cosechado inmaduro con un 96% de agua en sus tejidos (Rangel, 2004). Uno de sus principales problemas postcosecha es la pérdida de agua a través de la transpiración y respiración del fruto; ocurriendo como consecuencia la pérdida de firmeza, dándole una vida útil reducida (Mohammadi et al., 2015). Debido a su alto contenido de agua es susceptible al deterioro fúngico (*Pseudoperonospora cubensis*, *C. orbiculare*, *F. solani* f.sp. *cucurbitae*) (Díaz, 2013).

En la actualidad la aplicación de ceras naturales se utiliza como medida de prevención de deterioro en la etapa de postcosecha (ej. parafina, cera de abejas, cera de candelilla, entre otras) (Miramont, 2012). Sin embargo, la velocidad de deterioro no se ve frenada con su aplicación, debido a que en muchas ocasiones las ceras son una barrera impenetrable que mantiene una apariencia sensorial aceptable, pero pudre el fruto en su interior, además de conferirle color y sabor indeseable (Flores-López et al., 2016a).

La importancia de un apropiado manejo postcosecha de productos hortofrutícolas es indispensable para la compra-venta de productos (Yahia et al., 2004). Existen tres factores que definen el éxito de su distribución: gusto o sabor, madurez y apariencia, este último es el principal criterio que demanda el consumidor y con el decide la adquisición o no del producto (Morales, 2018).

2.5.2 Agentes patógenos en pre- y postcosecha de pepino

En la etapa de precosecha el desarrollo de enterobacterias puede contaminar el producto, principalmente por aguas contaminadas o durante la manipulación de los productos hortícolas (Droby y Wisniewski, 2018). En el ataque de hongos, hay efecto retardado al no aparecer durante el desarrollo del cultivo, sino hasta la maduración del producto o durante la cosecha (Ramos et al., 2010).

F. oxysporum es una de las especies de mayor importancia fitopatológica y económica, ya que cuenta con un amplio número de hospederos, ocasionado marchitamientos vasculares, muertes en plantas y pudrición en fruto (Wu et al., 2009). En las hortalizas se registra atacando entre otras plantas al tomate (*Solanum lycopersicum* L.), apio (*Apium graveolens*), pepino cohombro (*C. sativus*), cebolla (*Allium cepa*), repollo (*Brassica olerace*), espárrago (*Asparagus officinalis*) y remolacha (*Beta vulgaris*) (Borda y Arbeláez, 1993). El hongo se caracteriza por producir colonias de crecimiento rápido (Arbeláez, 2000). En el fruto, éste se presenta como un hongo de coloración blanca (Figura 8).



Figura 8. Daño causado por *F. oxysporum* A) en planta, B) en fruto y C) daño en planta por *C. cassicola* en pepino.

El control de *F. oxysporum*, es uno de los retos mas difíciles para la agroindustria, ya que en la producción de cultivos comerciales causa numerosas pérdidas (Retana et al., 2018). La facilidad de propagación de este hongo le permite

tener múltiples hospederos, es por eso que tiene una gran importancia fitopatológica y económica (Villa-Martínez et al., 2017).

Otra de las enfermedades que se desarrolla en la etapa de precosecha y prevalece en la postcosecha, es la mancha de la hoja en pepino (Guerrero et al., 2016). Es una enfermedad causada por el hongo *C. cassiicola*, que ataca la parte foliar y rara vez a frutos y tallos (Yamada et al., 2013). Es una enfermedad que puede devastar al cultivo de pepino bajo invernadero (Yassin y Hussen, 2015). La sintomatología ocasionada por el ataque de *C. cassiicola* se puede confundir con otras enfermedades comunes que infectan al cultivo de pepino, como el mildiu vellosa (*Pseudoperonospora cubensis*), la mancha angular de la hoja (*Pseudomonas syringae*) y la antracnosis (*C. orbiculare*) (Guerrero et al., 2016).

El hongo *C. cassiicola* tiene un amplio rango de hospederos de climas tropicales y subtropicales, dañando tanto a hojas y frutos (Dixon et al., 2009). Esta enfermedad ataca a otros cultivos hortícolas como melón chino, camote, tomate, frijol ejotero, okra, entre otros (Figura 8) (Yamada et al., 2013). Por esta razón, el control de este patógeno, es una medida necesaria en el cultivo de pepino.

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 *Rhus microphylla*, y II) Desarrollo y caracterización de recubrimientos funcionales a base de mucílago de chíá. Dichas etapas, se describen a continuación:

Etapas I. Producción y caracterización de extractos de *Rhus microphylla*

3.1 Reactivos

Todos los reactivos utilizados en esta investigación son de grado analítico. La base en la disolución de los reactivos fue agua destilada, y etanol absoluto 99.9% en algunas pruebas. Para el crecimiento de los hongos se utilizó agar papa dextrosa (PDA) (TM MEDIA, India); en la medición de actividad antioxidante se utilizó el reactivo DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidracilo, Sigma Aldrich, Alemania) La prueba de fenoles totales se analizó con el reactivo Folin Ciocalteu (Merk, Suiza), carbonato de sodio y ácido gálico de Sigma (Japón). Finalmente, para la prueba de cromatografía líquida de ultra alta resolución (UHPLC) se utilizó ácido fórmico y acetonitrilo grado HPLC (Sigma, EU).

3.2 Materia prima

La recolección del fruto de la planta agrillo (*R. microphylla*) se llevó a cabo en los meses julio y agosto de 2018 (Figura 9), en terrenos colindantes a la UAAAN, ubicado a 25°21'24"N 101°01'59"W. Fueron manualmente recolectadas y transportadas al laboratorio del Departamento de Alimentos de la UAAAN donde se separó el fruto de la planta, se lavó con agua destilada y se llevó a secado a 60°C por 48 h en un horno de secado (Biobase Bioindustry, EU) hasta peso constante.

Posteriormente, los frutos fueron triturados a velocidad baja en una licuadora, pasados a través de malla no. 20, y almacenados a 40°C hasta su uso.



Figura 9. Recolección de fruto de *R. microphylla*.

3.3 Producción de extractos de *Rhus microphylla*

Para la preparación de extractos, se siguió la metodología empleada por Jasso de Rodríguez et al. (2011) con algunas adaptaciones. Una muestra de 11.5 g fue colocada en un matraz cubierto con aluminio y se añadieron 125 mL de solvente: (1) EE- etanólico, (2) EA- acuoso y (3) EHA- hidroalcohólico (agua:etanol, 50:50, v/v). La mezcla se agitó mecánicamente en un agitador (New Brunswick Scientific, EU) durante 22 h a 150 rpm a temperatura ambiente (Figura 10).



Figura 10. Proceso de preparación de extractos: A) disolución de materia seca en los solventes a) EHA- hidroalcohólico, b) EE- etanólico y c) EA- acuoso; B) homogenización de mezclas; C) eliminación de solventes por arrastre de vapor.

La infusión obtenida se llevó a un evaporador rotatorio (IKA RV 10, China) para su concentración. La temperatura empleada para el EE fue de 78°C, para el EA fue de 99°C, y para el EHA a 89°C. Al término del proceso se obtuvo una resina, y el contenido fue transifirido a placas Petri de vidrio para eliminar el solvente residual a 45°C durante 24 h en un horno de secado. La resina se almacenó bajo condiciones de obscuridad hasta su uso y se midió el rendimiento expresándose en porcentaje (%). Las extracciones se realizaron por triplicado.

3.4 Caracterización de extractos de *Rhus microphylla*

3.4.1 Fenoles totales

La cuantificación de fenoles totales se realizó siguiendo la metodología propuesta por Li et al. (2007). Se añadieron 200 µL de muestra diluida (0.1, 0.2, 0.4, 0.6 y 0.8 mg mL⁻¹) a 1 mL de reactivo de Folin – Ciocalteu diluído (1:10, v/v). Posteriormente, se añadieron 800 µL de carbonato sódico saturado (75 g L⁻¹, p/v). Después de 2 h de incubación a temperatura ambiente, se midió la absorbancia a 765 nm en un lector de microplacas (BIO-TEK IZASA, España) con ayuda del programa Gen5 2.07. Se utilizó ácido gálico (0 – 500 mg L⁻¹) para la curva de calibración estándar. Los resultados de fenoles totales se determinaron como equivalentes de ácido gálico (AG) y los valores fueron expresados como mg de AG por g de peso seco de extracto. El análisis se realizó por triplicado.

3.4.2 Actividad antioxidante

La actividad antioxidante de los extractos de *R. microphylla* se determinó mediante el método que utiliza el radical libre estable 2,2- difenil-1-picrilhidracilo (DPPH), siguiendo la metodología aplicada por Moutinho et al. (2013). La reacción se llevó acabo en microplaca de 96 pozos, para ello 25 µL de cada extracto a diferentes concentraciones (0.02, 0.04, 0.08, 0.13, 0.2 y 0.25 mg mL⁻¹) se mezclaron con 200 µL de 150 µM de DPPH (v/v), disuelto en etanol. La reacción se llevó a cabo a temperatura ambiente, dejándose reposar 30 min en condiciones de obscuridad. Finalmente, la actividad antioxidante se determinó

espectrofotométricamente a una longitud de onda de 515 nm, utilizando un lector de microplacas (BiotekSinergy II, EU) con ayuda del programa Gen5 2.07. La actividad antioxidante se expresó como porcentaje de actividad antioxidante (% RSA, radical scavenging activity) en relación con el control (etanol absoluto), utilizando la siguiente ecuación:

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

donde Abs_{control} representa la absorbancia del control y Abs_{muestra} representa la absorbancia de la solución muestra. La CI₅₀ se determinó como la concentración del compuesto causante del 50% de RSA. Todas las evaluaciones se realizaron por triplicado.

3.4.3 Perfil fenólico por el método de UHPLC

Los extractos se caracterizaron siguiendo el método de UHPLC. Las muestras fueron inyectadas en un cromatógrafo Shimatzu Nexpera X2 UHPLC equipado con detector de diodos de matriz (Shimadzu, SPD-M20A). La separación se realizó en una columna de fase invertida de Aquity UPLC BEH C18 (2.1 mm x 100 mm, 1.7 µm de tamaño de partícula; de Waters, EU) y una pre columna del mismo material a 40°C. El caudal fue de 0.4 mL min⁻¹. Los disolventes de grado HPLC utilizados fueron agua/ácido fórmico (0.1%) como disolvente A y acetonitrilo como disolvente B. El gradiente de elución para el solvente B fue el siguiente: 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 se cuantificaron e identificaron a diferentes longitudes de onda. Todos los análisis se realizaron por triplicado.

3.4.4 Actividad antifúngica

Las cepas *Fusarium oxysporum* (no. de ascensión NCBI MF996561) y *Corynespora cassiicola* (no. de ascensión NCBI MK530179) fueron proporcionadas por el Centro de Investigación Científica de Yucatán, México (CICY). Ambos hongos fueron incubados a $27 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 7 días para su posterior uso (Figura 11). Los extractos de *R. microphylla* se evaluaron en seis concentraciones (0, 100, 500, 1000, 2500, 3000 mg L⁻¹); siguiendo la técnica de medio envenenado empleada por Jasso de Rodríguez et al. (2017), con el fin de conocer el efecto inhibitorio de los extractos sobre los dos hongos fitopatógenos.



Figura 11. A) Establecimiento de prueba antifúngica; crecimiento al séptimo día de los hongos: B) *Corynespora cassiicola* y C) *Fusarium oxysporum*.

La preparación del medio envenenado se realizó en matraces Erlenmeyer de 150 mL, en condiciones de esterilidad, mezclando agar PDA con la respectiva concentración de extracto. La mezcla se vació en cajas Petri de 5.0 cm de diámetro. Una vez solidificado el medio, se sembró un explante de 0.7 cm de diámetro de cada hongo al centro de la caja. Las cajas Petri fueron incubadas a $27 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 7 días. El potencial de inhibición de cada tratamiento se evaluó midiendo el crecimiento radial (cm). Se calculó tomando como referencia el crecimiento del tratamiento control (cajas Petri sólo con medio PDA y explante de hongo) como referencia, y se calculó mediante la siguiente ecuación:

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

donde DC es el diámetro del control y DT es el diámetro de los tratamientos a diferentes concentraciones.

3.4.4.1 Concentración mínima inhibitoria

La concentración mínima inhibitoria (CMI) se define como la concentración de los extractos de *R. microphylla* que inhibieron el crecimiento *in vitro* visible de los hongos patógenos en un 50% y 90%, expresada en términos de CMI₅₀ y CMI₉₀, respectivamente. Éstas fueron calculadas mediante un programa estadístico SAS Probit (versión 9.1), basado en el método de interpolación logarítmica (Jasso de Rodríguez et al., 2015; Castillo et al., 2010).

Etapa II. Desarrollo y caracterización de recubrimientos funcionales a base de mucílago de chía

Esta etapa experimental se realizó en el Laboratorio de Industria y Proceso del Centro de Ingeniería Biológica de la Universidad de Minho, Braga, Portugal.

3.5 Materia prima

Para la elaboración de RC se utilizó chía (*S. hispanica* L.) variedad negra, originaria de Huaquechula, Puebla. El glicerol fue adquirido con HiMedia (India) y el CaCl₂ con Merck (Suiza). La afinidad del recubrimiento hacia la superficie de pepino se realizó utilizando pepinos variedad Portugal, adquiridos en un mercado local en Braga, Portugal (Figura 12). La selección de los pepinos se basó en características uniformes del fruto en cuanto a color, tamaño y peso. Posteriormente, se almacenaron en condiciones de refrigeración (5°C a 90% HR) hasta su uso.



Figura 12. A) Semilla de chía variedad negra y B) pepino variedad Portugal.

3.6 Extracción de mucílago

Para la extracción de mucílago, la semilla de chía se hidrató en agua destilada en una proporción 1:2 (p/v), pesando 250 g de semilla y diluyendo en 500 mL de agua destilada con agitación constante (500 rpm por 60 min) a temperatura ambiente. La mezcla obtenida se licuó durante 10 s a velocidad baja. Posteriormente, se centrifugó (Beckman Coulter, Allegra X-I2R, EU) a 10,000 rpm durante 10 min a 10°C. Finalmente, el mucílago resultante fue congelado a -80°C para su posterior liofilización a -55°C con una presión de 0.133 mbar y almacenado hasta su uso (Figura 13).



Figura 13. Proceso de obtención del mucílago de chía: A) hidratación de la semilla; B) mucílago de chía obtenido por centrifugación; C) liofilización de mucílago de chía.

3.6.1 Formulación y elaboración de recubrimientos comestibles a base de mucílago de chía

Las formulaciones de recubrimiento se basaron en un diseño experimental Plackett Burman de tres factores en dos niveles (alto y bajo), generando doce combinaciones donde: A) polisacárido (chía), B) reticulante (CaCl_2), C) plastificante (glicerol) (Cuadro 6). Para la elaboración de recubrimientos y/o películas, primero se hidrató el mucílago de chía liofilizado en agua destilada a temperatura ambiente (20°C) bajo agitación constante durante 20 min, después se agregó el CaCl_2 y una vez disuelto, se incorporó el plastificante (glicerol) hasta obtener una mezcla homogénea. La mezcla obtenida se vació en cajas Petri de 9.6 cm de diámetro con un volumen constante de solución (28.0 mL) para mantener el espesor de la película resultante. Las placas Petri se colocaron en un horno (Termaks, Japón) a 40°C

durante 24 h para su secado. Finalmente, las placas se acondicionaron en un desecador con condiciones controladas debido a la presencia de una solución saturada de $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ a una temperatura de 20°C y con 53.0 %HR.

Cuadro 6. Concentraciones evaluadas para la formación de recubrimientos comestibles.

Solución	A) % chía (p/v)	B) % $CaCl_2$ (p/v)	C) % glicerol (p/v)
1	0.2	0.15	0.0
2	0.2	0.05	1.0
3	0.4	0.05	1.0
4	0.4	0.05	1.0
5	0.4	0.15	0.0
6	0.4	0.05	1.0
7	0.2	0.15	0.0
8	0.4	0.05	0.0
9	0.4	0.15	0.0
10	0.2	0.05	0.0
11	0.2	0.15	1.0
12	0.2	0.15	1.0

3.7 Selección de recubrimientos comestibles

La selección de las mejores soluciones se realizó en función de los resultados obtenidos en términos de humectabilidad (W_s), que se describen a continuación en los incisos 3.7.1 y 3.7.2. De acuerdo al tipo de prueba, las formulaciones se analizaron en forma líquida y en forma sólida (película). Las pruebas mecánicas, de permeabilidad, espesor, solubilidad, color y opacidad se realizaron en la película; y las pruebas de W_s , ángulo de contacto, tensión superficial, viscosidad, potencial zeta y reología, se realizaron en forma líquida, evaluando la afinidad del recubrimiento a la superficie del fruto modelo (pepino).

3.7.1 Humectabilidad y tensión superficial

3.7.1.1 Preparación de muestras para mediciones de ángulo de contacto.

Los pepinos fueron seleccionados por su uniformidad, tamaño, color y ausencia de daño e infección fúngica. Antes de la prueba se limpió y desinfectó el fruto con ayuda de una solución de hipoclorito de sodio al 0.05% (v/v) durante 3 min, una vez transcurrido el tiempo se secaron a temperatura ambiente. Posteriormente se removieron las cáscaras en forma de tiras rectangulares de 1.0 cm x 10.0 cm.

3.7.2 Determinación de humectabilidad (W_s)

Para obtener una propagación uniforme de la solución sobre la superficie del pepino se determinó la W_s , y las fuerzas de adhesión (W_a) y cohesión (W_c) (Ec. 3). Las mejores soluciones fueron seleccionadas para el seguimiento de la investigación (Figura 14).

$$W_s = W_a - W_c \quad \text{Ec. 3}$$

Mientras que las fuerzas de adhesión se expresan en términos de W_a (Ec. 4) favoreciendo la propagación del líquido en la superficie de pepino, las fuerzas de cohesión se expresan en términos de W_c (Ec. 5) promoviendo su contracción, por lo tanto, actuando contra la propagación (Vieira et al., 2016).

$$W_a = \gamma L (1 + \cos(\theta)) \quad \text{Ec. 4}$$

$$W_c = 2 \gamma L \quad \text{Ec. 5}$$

La dispersión del líquido (W_s) en la superficie se obtuvo midiendo el ángulo de contacto (θ) entre las soluciones de recubrimiento y la superficie del fruto modelo (pepino) y la tensión superficial (γL) de las soluciones. Se midió el ángulo de contacto en la superficie del pepino por el método de gota, observándose con un medidor de ángulo de contacto (OCA 20, Dataphysics, Alemania).

La solución fue depositada sobre la superficie del fruto con una jeringa automática de pistón de 500 μL (Hamilton, Suiza) con una aguja de 0.75 mm de diámetro. Previo al análisis, cada solución de recubrimiento se filtró a vacío con ayuda de un filtro nylon 100 μm (type NY1H Millipore, EU). Para determinar el ángulo de contacto se procesaron imágenes con ayuda de un ordenador utilizando una cámara digital, sometiendo a análisis las imágenes grabadas a 0 y 15 s. Se realizaron 20 mediciones de ángulo de contacto a $20 \pm 1^\circ\text{C}$ para cada formulación.

Los valores de tensión superficial (γL) de cada solución de recubrimiento se determinaron de acuerdo con el método de anillo descrito por Gudiña et al. (2012). Se utilizó un tensiómetro Krüss K6 (Krüss GmbH, Alemania) equipado con un anillo de platino de 1.9 cm de Noüy, cada lectura se realizó con cinco repeticiones a temperatura ambiente.

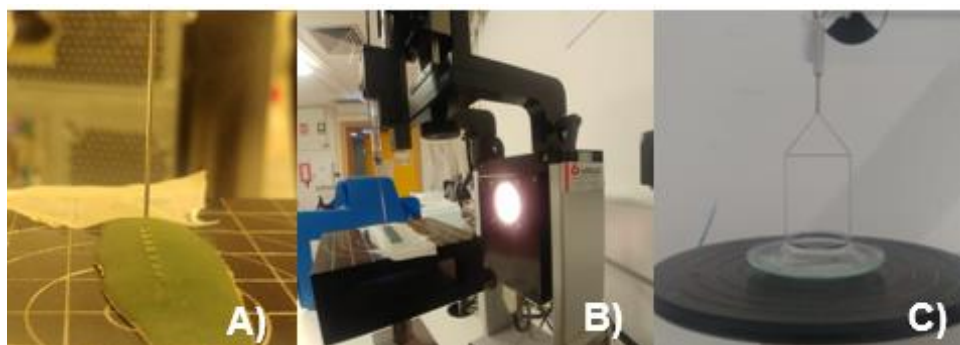


Figura 14. A) Evaluación de humectabilidad (W_s) sobre superficie de pepino; B) determinación de ángulo de contacto; C) medición de tensión superficial.

3.8 Funcionalización de recubrimientos

La funcionalización de los recubrimientos se llevó a cabo con la incorporación del extracto de *R. microphylla*, seleccionando su concentración con base a sus propiedades antioxidantes y antifúngicas. Los recubrimientos funcionalizados fueron aquellos que arrojaron los mejores resultados de humectabilidad en términos de W_s . Una vez incorporado el extracto, se evaluó la interacción de todos los componentes sobre la superficie del fruto modelo y la relación entre ellos.

3.9 Caracterización de recubrimientos funcionalizados

La caracterización de los recubrimientos se realizó para conocer la interacción entre componentes y generar un comparativo con la influencia del extracto. Además, de predecir su posible comportamiento en la superficie de pepino, evaluando los parámetros que se describen a continuación:

3.9.1 Reología

Las mediciones reológicas se realizaron mediante el uso de un reómetro controlado por tensión (NORLEQ discovery hybrid rheometer, TA Instruments, Inglaterra) con cilindros concéntricos (32 mm de altura, 13.8 mm de diámetro interno y 15.0 mm diámetro externo), o la geometría de la placa cónica (60 mm de diámetro, 2° de ángulo, truncamiento 58.0 μm), dependiendo de la viscosidad de la dispersión. Todas las lecturas se realizaron en duplicado, siguiendo la técnica utilizada por Moraes et al. (2011).

3.9.1.2 Reología de cizallamiento estable

Las curvas de flujo de reología de cizallamiento estable se obtuvieron mediante un programa de pasos de arriba hacia abajo que utiliza diferentes rangos de tensión de cizallamiento para cada muestra, con el fin de obtener un valor de velocidad de cizallamiento máximo que oscila entre 0 y 100 s^{-1} . La prueba se analizó a temperatura ambiente. Las curvas fueron ajustadas al modelo de la ley de la potencia en el que se rige el comportamiento de los fluidos No Newtonianos (Ec. 6), linealizando la ecuación para interpretar los resultados (Sharma et al., 2003).

$$\sigma = k\gamma^n \quad \text{Ec.6}$$

Linearización

1. $\log \sigma = \log (k\gamma^n)$
2. $\log \sigma = \log k + \log (\gamma^n)$
3. $\log \sigma = \log k + n \log \gamma$

donde σ es el esfuerzo cortante (Pa), k es el índice de consistencia (Pa·s); γ es la velocidad de cizallamiento (s^{-1}), y n es el índice de comportamiento de flujo. Para los fluidos pseudoplásticos se cumple que $n < 1$, mientras que $n > 1$ ocurre para los dilatantes (Sharma et al., 2003).

3.9.2 Potencial zeta

El análisis de potencial zeta (potencial- ζ) de las soluciones formadoras de recubrimientos (con y sin funcionalizar), se determinó mediante un instrumento de microelectroforesis de partículas (Zetasizer nano ZS-90, Malvern Instruments, UK) (Figura 15). Cada formulación se depositó en celdas capilares (DTS 1060, Malvern Instruments, UK). La lectura se llevó a cabo con tres repeticiones por solución a temperatura ambiente.



Figura 15. Evaluación de potencial zeta de recubrimientos funcionalizados en lector de microelectroforesis (Zetasizer nano ZS-90, Malvern Instruments, UK).

3.9.3 Permeabilidad al vapor de agua (PVA)

Siguiendo la metodología descrita por Casariego et al. (2009), se midió la permeabilidad al vapor de agua (PVA) (Figura 16). Las películas (diámetro = 9.6 cm) se sellaron en un cilindro de silicón con un volumen de 50.0 mL de agua destilada y se colocaron en un desecador (0% RH, 20°C). Para mantener condiciones uniformes para todas las muestras, se utilizó un ventilador dentro del desecador. El análisis consistió en medir la pérdida de peso (g) de cada cilindro con

intervalos de 2 h hasta que se alcanzó un peso constante, con tres repeticiones para cada tratamiento. Finalmente, la tasa de transmisión de vapor de agua (TTVA) se calculó dividiendo la pendiente de una regresión lineal de pérdida de peso contra el tiempo por área de película, y PVA ($\text{g m}^{-1} \text{s}^{-1} \text{Pa}^{-1}$) se calculó de la siguiente manera:

$$PVA = \frac{(TTVA \times L)}{\Delta P} \quad \text{Ec. 7}$$

donde TTVA es la tasa de transmisión de vapor de agua, L es el espesor del recubrimiento (μm) y ΔP es la diferencia de presión parcial de vapor de agua (Pa) a través de los dos lados de la película.

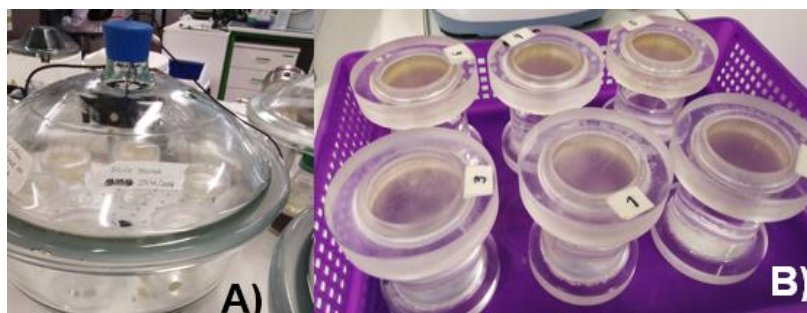


Figura 16. A) Desecador bajo condiciones ambientales controladas (0% RH; 20°C); B) cilindros de silicón sellados con películas funcionalizadas.

3.9.4 Contenido de humedad

El contenido de humedad de las películas funcionalizadas se determinó con una muestra circular de 2 cm de diámetro, previamente secada a 105°C durante 24 h (hasta obtener un peso constante). Se determinó la pérdida de peso de la muestra calculando el contenido de humedad (%) mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ humedad} = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100 \quad \text{Ec. 8}$$

donde M_i y M_f representan el peso de la muestra inicial y la muestra seca, en gramos respectivamente.

3.9.5 Porcentaje de solubilidad en agua

La capacidad de solubilidad de las películas en agua se determinó según el método reportado por Casariego et al. (2009), determinando el porcentaje de materia soluble después de 24 h de inmersión en agua. Se tomó una muestra circular de 2 cm de diámetro de cada película, con tres repeticiones por tratamiento, previamente secado en un horno a 105°C para obtener la materia seca inicial de los recubrimientos. Posteriormente, las muestras se suspendieron en 50.0 mL de agua destilada y se agitó suavemente a 20°C por 24 h.

Durante el período de solubilización se observó el comportamiento de la película en ambientes húmedos para respaldar los resultados. Al término de las 24 h, las muestras se secaron (105°C, 24 h) para determinar el peso de la materia seca que no se solubilizó. El porcentaje de solubilidad en agua en las películas fue calculado según la siguiente ecuación:

$$\% \text{ solubilidad} = \frac{(M_i - M_f)}{M_i} \times 100 \quad \text{Ec. 9}$$

donde M_i representa la masa inicial y M_f representan la masa final, en gramos.

3.9.6 Propiedades ópticas

El color de las películas se determinó con un colorímetro Minolta (CR 400; Minolta, Japón), tomando cinco lecturas sobre diferentes puntos de la película (Figura 17). El equipo fue calibrado con una placa de color blanco estándar ($Y = 93.9$, $x = 0.3158$, $y = 0.3321$). Los valores L^* , a^* , b^* de cada película fueron evaluados por mediciones de reflectancia. En este sistema, L^* indica la luminosidad (que va de negro a blanco), y los ejes horizontales, indicados por a^* y b^* , son las coordenadas cromáticas (que van desde $-a^*$: verde, $-b^*$: azul, hasta $+a^*$: rojo, $+b^*$: amarillo). Cuando los valores de a^* y b^* se acercan a cero indican colores neutros y aumentan a medida que el color se vuelve más cromático y más saturado (Costa et al., 2015).

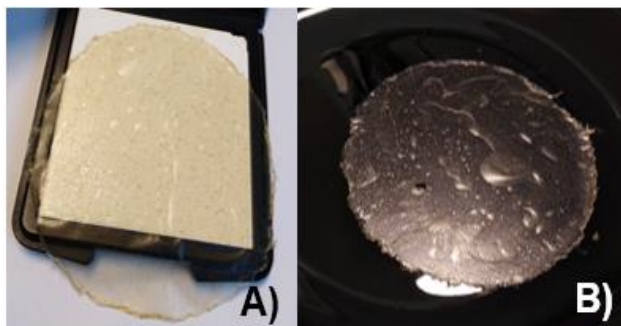


Figura 17. Lectura de A) color y B) opacidad con ayuda de un colorímetro Minolta (CR 400; Minolta, Japón).

La lectura de opacidad se determinó según el método Hunter Lab empleado por Costa et al. (2015), evaluando la relación de opacidad de cada muestra sobre un estándar negro (Y_b) y la opacidad de cada muestra sobre un estándar blanco (Y_w) (Ec. 10). Se realizaron cinco mediciones por muestra de película.

$$\% \textit{ opacidad} = \left(\frac{Y_b}{Y_w} \right) \times 100 \quad \text{Ec. 10}$$

3.9.7 Espesor

El espesor (μm) de las películas se determinó con un micrómetro digital (No. 293-5, Mitutoyo, Japón), con 72 h previas de control de condiciones ambientales $23 \pm 2^\circ\text{C}$ y $50 \pm 2\%$ HR en un desecador (Figura 18). Para cada película, el espesor se calculó como el promedio de cinco mediciones, tomadas en diferentes lugares en cada muestra, generalmente una en el centro y cuatro alrededores del perímetro.



Figura 18. Lectura de espesor de película funcionalizada con extracto de *R. microphylla* con un micrómetro digital (No. 293-5, Mitutoyo, Japón).

3.9.8 Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas de las películas se midieron con un Instron Universal Testing Machine (Modelo 4500, Instron Corporation, Canton, EU), siguiendo la metodología descrita por ASTM D882-91, (ASTM 1991) (Figura 19). Previo al análisis, se mantuvo una temperatura (20°C) y una HR (53%) controlada. Se cortaron tiras de las películas con una superficie de 10 cm de largo por 2 cm de ancho. Las tiras fueron sujetadas entre pinzas con una distancia inicial de 100 mm. La fuerza y la deformación se registraron durante la extensión a 50 mm min⁻¹. La resistencia a la tracción (RT) y ruptura al alargamiento (RA) se expresaron en MPa y %, respectivamente. Por cada película se realizó la prueba por triplicado.

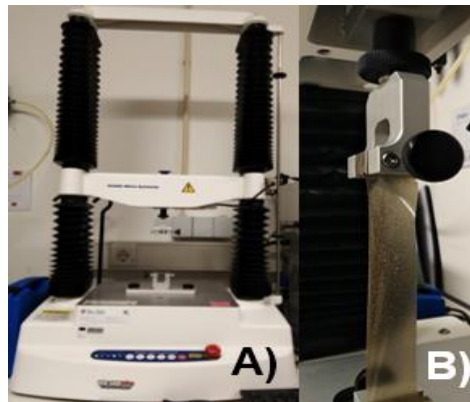


Figura 19. A) Lector de propiedades mecánicas (Modelo 4500, Instron Corporation, Canton, USA). B) lectura de resistencia a la tracción (RT) y ruptura al alargamiento (RA).

3.10 Análisis estadísticos

Los resultados se analizaron utilizando un análisis de varianza (ANOVA) en el software FAUANL (Olivares, 1994). La comparación de medias se realizó mediante el método de Tukey y diferencias entre tratamientos de $p < 0.05$ se consideraron significantes. El análisis Probit (programa de análisis SAS Probit, Versión 9.1) se aplicó para calcular la concentración de extracto de *R. microphylla* que resulta en una inhibición del 50% y 90% del crecimiento visible de cada hongo fitopatógeno en comparación con su respectivo control (CMI₅₀ y CMI₉₀, respectivamente). El diseño Plackett Burman se realizó utilizando el programa Minitab 17 version 17.1.0, State College (EU).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Etapa I. Producción y caracterización de extractos de *Rhus microphylla*

4.1 Producción de extractos de *Rhus microphylla*

El rendimiento de los extractos EE, EA y EHA del fruto de la planta *R. microphylla* en base seca se presenta en la Cuadro 7. El ANOVA indicó que no hubo influencia del solvente en el rendimiento de los extractos, ya que no se presentaron diferencias significativas ($p>0.05$) en dicha variable. El EA presentó un rendimiento de 31.3%, seguido del EHA (25.1%) y el EE (23.5%). Kosar et al. (2007) obtuvieron rendimientos similares para el extracto de *R. coriria* en metanol al 70%, con valores de 29.8%. También, Jasso de Rodríguez et al. (2015) reportaron un rendimiento de 37.4% en la preparación de extracto etanólico de hojas de *R. muelleri*, confirmando que el rendimiento de extracción de compuestos fenólicos nativos del género *Rhus*, depende en gran medida de la estructura del compuesto extraíble, grado de polimerización y su afinidad con la polaridad de solvente utilizado en la extracción (Soto-García y Rosales-Castro, 2016).

Cuadro 7. Rendimientos (%), fenoles totales (mg AG g⁻¹) y actividad antioxidante (CI₅₀, mg L⁻¹) de extractos (EE, EA y EHA) del fruto de *Rhus microphylla*.

Extracto	Rendimiento (%)	Fenoles totales (mg AG g ⁻¹)	CI ₅₀ (mg mL ⁻¹)
EE	23.5 ± 0.1 ^a	201.6 ± 3.3 ^a	0.1 ± 0.0 ^a
EA	31.3 ± 3.1 ^a	146.8 ± 0.1 ^b	0.1 ± 0.0 ^a
EHA	25.1 ± 4.6 ^a	151.0 ± 4.0 ^b	0.2 ± 0.0 ^b

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

El uso de compuestos bioactivos en diferentes sectores comerciales, como la industria alimentaria, farmacéutica y química, potencializa la búsqueda de fuentes más rentables (Azmir et al., 2013). Las plantas de la región representan una alternativa para la obtención de compuestos bioactivos naturales (Jasso de Rodríguez et al., 2011). Actualmente, no existen reportes científicos que

demuestren la funcionalidad de los compuestos bioactivos de *R. microphylla* en diversas áreas; sin embargo, derivado de su caracterización en este trabajo, se puede considerar a los extractos de *R. microphylla* como un potente antimicrobiano y antioxidante.

4.2 Fenoles totales

El ANOVA mostró que el EE de *R. microphylla* tiene mayor contenido de fenoles ($p < 0.05$) con 201.6 ± 3.3 mg AG g^{-1} (Cuadro 7). Los compuestos fenólicos como flavonoides, ácidos fenólicos y los taninos son considerados como los principales contribuyentes a la capacidad antioxidante de las plantas (Djeridane et al., 2006). Estos antioxidantes también poseen diversas actividades biológicas, como antiinflamatorio, antifúngico, actividades anticarcinógenas, entre otras (Li et al., 2007). Kosar et al. (2007) presentaron contenidos de 171.6 mg AG g^{-1} en extractos de hojas de *R. coriaria*, usando etanol como solvente, por debajo de los obtenidos para el EE de *R. microphylla* bajo estudio. El EHA y el EA no mostraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre ellos con valores de fenoles totales de 146.8 y 151.0 mg AG g^{-1} , respectivamente. Itidel et al. (2013) reportaron en extractos metanólicos de *R. tripartite* de corteza, tallo y fruto, valores de 71.1, 141.7 y 76.8 mg AG g^{-1} , respectivamente, inferiores a los encontrados en el fruto de *R. microphylla*. Los resultados obtenidos para extractos de *R. microphylla* y su comparación con extractos de otras especies de *Rhus*, confirman que a pesar de ser plantas del mismo género hay variabilidad entre tipo de compuesto y cantidad disponible de compuestos bioactivos.

El aprovechamiento de las plantas para la producción de extractos, se da desde la raíz hasta los frutos; sin embargo, es el fruto de *R. microphylla* lo que típicamente se consume como infusión o especia después del secado y la molienda (Latorre et al., 1977). La diferencia en cuanto a contenido de compuestos bioactivos podría estar relacionada con las características fisiológicas de la planta, los factores ambientales (temperatura, estrés hídrico, radiación UV, entre otros), el desarrollo fenológico vegetal, el sitio de recolección y la época de madurez del fruto, que

podieran favorecer la producción de metabolitos secundarios (Jasso de Rodríguez et al., 2017).

4.3 Actividad antioxidante

El método por DPPH determinó el poder antirradical de los antioxidantes presentes en los extractos de *R. microphylla* (EE, EA y EHA), y se expresó en términos de CI_{50} ($mg\ mL^{-1}$). Cuanto menor sea el valor de CI_{50} , mayor será la actividad de eliminación de radicales libres de una muestra (Kosar et al., 2007). Las actividades de eliminación de radicales libres de los extractos se presentan en el Cuadro 7, que corresponde a la concentración requerida para lograr el 50% de inhibición de la oxidación. El EE y el EA mostraron el mayor ($p < 0.05$) potencial antioxidante (valor CI_{50} más bajo). Estudios previos han reportado que existe una estrecha relación entre el contenido de fenoles totales y la actividad antioxidante, mostrando una correlación positiva de los valores más altos de fenoles totales con la actividad antioxidante (Flores-López et al., 2016b). Este fenómeno se observa en los extractos de fruto de *R. microphylla*, siendo más evidente para el EE, que presentó valores bajos de CI_{50} ($0.1 \pm 0.0\ mg\ mL^{-1}$) y el mayor contenido de fenoles totales ($201.6 \pm 3.3\ mg\ AG\ g^{-1}$), en comparación con los extractos EA y EHA.

4.4 Perfil fenólico por el método de UHPLC

El análisis cualitativo y cuantitativo de la composición de los extractos de fruto de *R. microphylla* en diferentes solventes (EE, EA y EHA) se presenta en el Cuadro 8. Un total de 8 compuestos fenólicos se identificaron por primera vez en frutos de *R. microphylla*, incluyendo ácido gálico, ácido ferúlico, ácido *p*-cumárico + epicatequina, catequina y resveratrol. Estos compuestos pueden ser efectivos para reducir el crecimiento de algunos hongos importantes responsables de la descomposición de frutas y verduras frescas en la postcosecha (Sasidharan et al., 2011). Estudios previos señalan al género *Rhus* como un grupo potencial para la obtención de compuestos de interés asociados a su bioactividad, atribuida al alto contenido de compuestos bioactivos, que incluyen: taninos hidrolizables, antocianinas, ácido málico, ácido gálico, flavonoides, derivados de terpenos y

vitaminas (Alaniz, 2018). El ANOVA mostró diferencias significativas entre la composición de extractos ($p < 0.05$). El EE presentó mayor contenido de ácido gálico ($321.8 \pm 4.0 \text{ mg L}^{-1}$), a quien se le atribuyen varios efectos biológicos, que van desde la actividad antiinflamatoria, antioxidante y antibiótica, hasta la protección cardiovascular y anticancerígena (Soto-García y Rosales-Castro, 2016; Salas et al., 2013). Cowan (1999) mencionó que el ácido gálico logra una inhibición enzimática en algunos microorganismos por la interacción sobre las adhesinas (proteínas de la pared celular), y la capacidad que tienen de unirse a polisacáridos, interviniendo así, en el desarrollo microbiano. Además, en el área de alimentos, se ha utilizado como antioxidante de grasas y aceites, así como aditivo en algunas bebidas y alimentos, evitando la oxidación de los mismos (Hocman, 1988).

Cuadro 8. Perfil fenólico de extractos de fruto de *Rhus microphylla* por UHPLC.

Compuestos fenólicos (mg L^{-1})	Extractos de <i>Rhus microphylla</i>		
	EE	EA	EHA
Catequina	12.5 ± 0.3^a	n.d.	10.4 ± 0.4^b
Ácido ferúlico	9.3 ± 0.1^a	5.7 ± 0.1^b	6.1 ± 1.3^b
Ácido gálico	321.8 ± 4.0^a	203.2 ± 0.7^b	98.6 ± 4.4^c
Ácido <i>p</i> -cumárico + epicatequina	42.2 ± 2.9^b	7.4 ± 0.2^c	78.2 ± 1.5^b
Ácido elágico	1.9 ± 0.0^b	n.d.	2.9 ± 0.1^a
Apigenina	0.5 ± 0.0^a	n.d.	0.3 ± 0.0^b
Quercetina	2.1 ± 0.0^a	n.d.	2.1 ± 0.0^a
Resveratrol	2.7 ± 0.0^b	n.d.	2.9 ± 0.0^a

n.d.: no detectado. Los valores en la misma fila seguidos por diferentes letras son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$).

La presencia de resveratrol en los extractos puede ayudar a respaldar su naturaleza antioxidante y antifúngica (Pastor et al., 2013). El resveratrol es considerado una fitoalexina, compuestos antimicrobianos de bajo peso molecular (Siemann y Creasy, 1992). Recientemente, el interés por el aislamiento de este compuesto ha ido en aumento al definir sus propiedades funcionales con efectos benéficos para la salud (Kollár y Hotolová, 2003). Los vinos (uva) son la fuente de

obtención más común de este compuesto; sin embargo, el resveratrol es producido por la piel y no por la pulpa de la fruta, lo que justifica sus bajas concentraciones (Kollár y Hotolová, 2003).

En general, los resultados de este estudio muestran que el fruto de *R. microphylla* es una buena fuente de compuestos fenólicos, que respaldan su potente actividad antioxidante (Cuadro 7). El fruto de esta planta ha sido reportado por ser utilizado por los indios Kikapú como infusión, y en la medicina tradicional para el tratamiento de diversas enfermedades (González et al., 2004; Latorre et al., 1977). Lo anterior representa un área de oportunidad para explotarse con fines alimentarios e industriales, dada la naturaleza de sus componentes detectados (Cuadro 8).

4.5 Actividad antifúngica

El efecto de la actividad antifúngica de las concentraciones de extractos de fruto de *R. microphylla* (EE, EA y EHA) sobre *C. cassiicola* y *F. oxysporum* se presenta en la Figura 20. Como generalidad, al aumentar la concentración del extracto, el crecimiento micelial fue reducido ($p > 0.05$) significativamente. El EE presentó una inhibición de 100% para ambos hongos a partir de la concentración de 2500 mg L⁻¹. Los resultados obtenidos mostraron una mayor eficacia en la inhibición del crecimiento micelial que los reportados por Jasso de Rodríguez et al. (2015) con extracto etanólico de *R. muelleri* sobre *F. oxysporum*, cuya inhibición estuvo en el rango de 66.8 a 71.4% en concentraciones de 4500 a 6000 mg L⁻¹, respectivamente. El EHA también presentó efectos inhibitorios, en el caso de *C. cassiicola* mostró un 100% de control a 3000 mg L⁻¹; mientras que para *F. oxysporum*, el mismo extracto inhibió el crecimiento fúngico un 60% bajo las mismas concentraciones. El EA presentó menor inhibición de los hongos fitopatógenos estudiados, descartando su incorporación como componente bioactivo para la funcionalización de recubrimientos comestibles a base de mucílago de chíá.

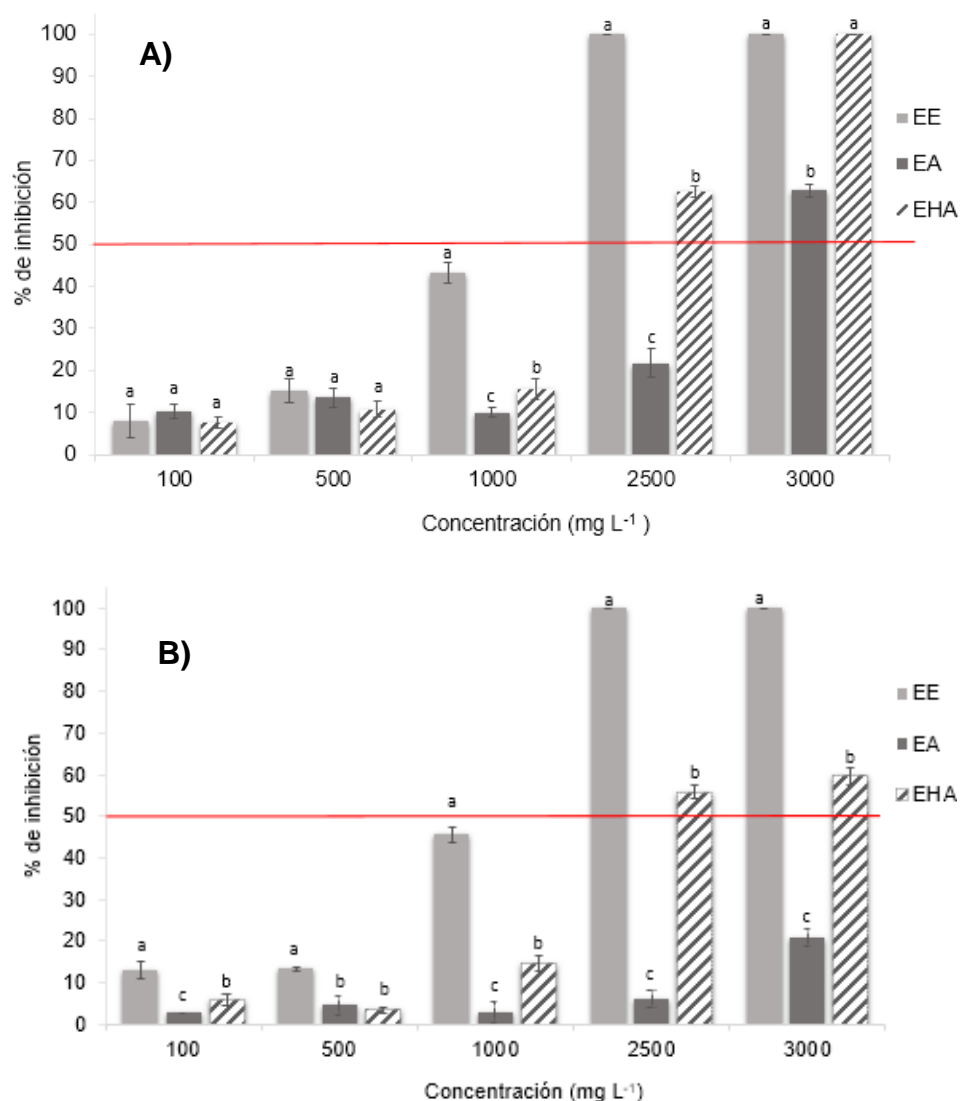


Figura 20. Efecto antifúngico expresado en porcentaje (%) de inhibición contra A) *Corynespora cassicola* y B) *Fusarium oxysporum*.

La principal causa de diferencias en la inhibición se debe a los compuestos fenólicos presentes en los extractos de fruto de *R. microphylla* (Cuadro 8), que tienen afinidad con los solventes estudiados (solventes polares) que facilitan su concentración (Jasso de Rodríguez et al., 2011). Castillo et al. (2010) señalaron que el uso de etanol como solvente permite una mayor extracción de compuestos polifenólicos, este fenómeno se observa en los resultados obtenidos para el EE, presentando mayor inhibición a bajas concentraciones. Por otra parte, la factibilidad

de producción del EHA facilita la transferencia de tecnología a nivel industrial, aunado al control en la incidencia de los hongos fitopatógenos bajo estudio.

4.5.1 Concentración mínima inhibitoria

El análisis Probit se muestra en el Cuadro 9, indicando las concentraciones mínimas requeridas para inhibir el crecimiento micelial al 50% y 90% (CMI₅₀ y CMI₉₀, respectivamente). La CMI₅₀ del EHA para *C. cassiicola* fue de 1802.9 mg L⁻¹, y para *F. oxysporum* de 2522.5 mg L⁻¹; mientras que la CMI₉₀ fue de 3086.3 mg L⁻¹ y 4251.1 mg L⁻¹, respectivamente. La CMI₅₀ del EE fue de 1096.8 mg L⁻¹ para *C. cassiicola* y para *F. oxysporum* de 1153.1 mg L⁻¹. Jasso de Rodríguez et al. (2015) presentaron valores de CMI₅₀ y CMI₉₀ de 3363.0 y 11793.0 mg L⁻¹, respectivamente, en la evaluación de propiedades antifúngicas de extractos de hojas de *R. muelleri*, para *F. oxysporum*, valores superiores a los obtenidos en esta investigación.

Cuadro 9. CMI₅₀ y CMI₉₀ de extracto de *Rhus microphylla* para inhibir el crecimiento de *Fusarium oxysporum* y *Corynespora cassiicola*.

Extracto	CMI ₅₀ (mg L ⁻¹)	95% intervalo de confianza		CMI ₉₀ (mg L ⁻¹)	95% intervalo de confianza	
		Bajo	Alto		Bajo	Alto
<i>F. oxysporum</i>						
EE	1153.1	807.4	1592.8	2080.8	1628.6	3295.8
EA	5780.8	5387.8	6173.8	9314.5	8909.0	9719.9
EHA	2522.5	2093.2	3181.8	4251.1	3493.4	5874.3
<i>C. cassiicola</i>						
EE	1096.8	954.0	1255.2	1908.3	1682.5	2256.6
EA	3116.7	2901.6	3331.7	5741.2	5524.9	5957.5
EHA	1802.9	978.4	2935.5	3086.3	2256.3	6268.0

EE- extracto etanólico; EA- extracto acuoso; EHA- extracto hidroalcohólico de fruto de *R. microphylla*.

Los resultados indicaron que a una concentración de 2500 mg L⁻¹ del EHA, se tiene más del 50% de inhibición para ambos hongos. Esto resulta interesante por conseguir controlar a *F. oxysporum*, fitopatógeno presente en la etapa de precosecha y que permanece en la postcosecha de pepino, y cuyo control químico es deficiente por tener múltiples hospederos, además de su resistencia a fungicidas sintéticos (Castaño et al., 2013).

Los estudios publicados señalan a plantas del género *Rhus* como una potente fuente de compuestos bioactivos (Yi et al., 2004). Actualmente, no hay registros científicos sobre efectos antioxidantes y antifúngicos de extractos del fruto de *R. microphylla*. Debido a la caracterización de los extractos (EE, EA y EHA) se puede considerar como una fuente natural de compuestos bioactivos con efectos antioxidantes e inhibitorios sobre patógenos precosecha que prevalecen en la etapa de postcosecha.

La selección del mejor extracto se logró considerando los parámetros evaluados en la Etapa I: rendimiento, fenoles totales, actividad antioxidante, perfil fenólico (UHPLC) y actividad antifúngica. Los resultados mostraron que el EA presentó menor inhibición sobre las cepas evaluadas, descártandose para su posterior aplicación como antifúngico; sin embargo, al determinar los compuestos bioactivos concentrados utilizando agua como solvente, se puede considerar para otro tipo de investigaciones, dando lugar a estudios posteriores para su aplicación en diversas áreas (farmacéutica, alimentaria, cosmética, entre otras).

El EE fue el extracto que mostró los mejores resultados en todos los análisis; sin embargo, a pesar de que el etanol es más efectivo en la concentración de compuestos fenólicos (Wu et al., 2013), a nivel industrial se descarta la aplicación de este tipo de extractos debido a los costos de producción. En el mercado nacional la adquisición de extractos acuosos va de \$40 – 60 por L, y para extractos hidoalcohólicos de \$70 – 100 por L, sin tener conocimiento de los costos de adquisición de extractos etanólicos. Lo que conduce al EHA, que mostró efectos significativos en la inhibición fúngica a partir de 2500 mg L⁻¹, además no presentó diferencias significativas ($p>0.05$) en rendimiento, lo que hace más factible su

producción y su utilización. Además, su perfil fenólico presentó compuestos interesantes en concentraciones capaces de conseguir efecto antioxidante y antifúngico. Por ello para la Etapa II, se seleccionó al EHA a concentración de 2500 mg L⁻¹ para la funcionalización de recubrimientos a base de chía.

Etapa II. Desarrollo y caracterización de recubrimientos funcionales a base de mucílago de chía

4.6 Extracción de mucílago de chía (*Salvia hispanica* L.).

Las condiciones utilizadas para la extracción de mucílago de chía en la etapa de centrifugación (10000 rpm x 10 min a 10°C), permitió una mejor separación del pericarpio, evitando un paso adicional para purificación del mucílago. El rendimiento se determinó en base húmeda, obteniéndose 66.5 ± 1.1% de mucílago de chía en fresco. Estrada (2010) reportó rendimientos inferiores a los obtenidos (50%) empleando la misma variedad de chía y relación de hidratación (semilla:agua).

4.7 Selección del recubrimiento comestible

4.7.1 Humectabilidad y tensión superficial

La selección de las mejores formulaciones formadoras de recubrimiento se realizó con base a la evaluación del coeficiente de dispersión (W_s), bajo el diseño Plackett Burman. En el Cuadro 10, se presentan las soluciones formadoras de recubrimientos generadas por el diseño, éste fue empleado para la evaluación de la interacción de componentes con el fin de lograr la optimización de las soluciones a analizar. Para ello, se evaluó como variable de respuesta el parámetro W_s , ya que es una de las propiedades más importantes para la evaluación de la capacidad de una solución para recubrir una superficie (Torres-León et al., 2018). En términos generales, cuando más cercanos estén los valores de W_s a cero, se recubre mejor una superficie (Vieira et al., 2016).

Cuadro 10. Coeficiente de dispersión (W_s) de las formulaciones evaluadas sobre la superficie de pepino.

Solución	A) Chía (% p/v)	B) CaCl₂ (% p/v)	C) Glicerol (% v/v)	W_s (mN m⁻¹)
1	0.2	0.15	0	-47.0 ± 5.3
2	0.2	0.05	1	-50.3 ± 5.0
3	0.4	0.05	1	-52.7 ± 6.9
4	0.4	0.05	1	-52.7 ± 6.9
5	0.4	0.15	0	-53.1 ± 4.5
6	0.4	0.05	1	-55.1 ± 4.2
7	0.2	0.15	0	-70.6 ± 5.1
8	0.4	0.05	0	-59.70 ± 3.4
9	0.4	0.15	0	-59.70 ± 3.4
10	0.2	0.05	0	-61.3 ± 3.0
11	0.2	0.15	1	-66.3 ± 2.3
12	0.2	0.15	1	-66.3 ± 2.3
Solución optimizada				
13	0.24	0.15	0.05	-46.8 ± 3.8

El diagrama de Pareto evidenció que el factor más dominante ($p < 0.05$) que influenció el valor de W_s , fue la interacción de los tres componentes (A = mucílago de chía, B = CaCl₂ y C = glicerol) (Figura 21). Con los resultados obtenidos, el diseño permitió definir una solución optimizada para la formación de recubrimientos a base de chía, solución no. 13 (Cuadro 10), cuyos componentes son: 0.24% de mucílago de chía, 0.15% de CaCl₂ y 0.05% de glicerol. Esta solución presentó los mejores valores de W_s (-46.8 ± 3.8 mN m⁻¹) cuando se compara con el resto de las soluciones. La diferencia entre resultados se atribuye a la disminución de componentes, que con ello redujo las fuerzas de cohesión y la tensión superficial, aumentando la humectabilidad (Vieira et al., 2016). Además, se observó que a pesar

de la disminución de glicerol de 1.0 a 0.05%, se obtuvo buena humectabilidad de la solución hacia la superficie de pepino. La solución no. 13 fue seleccionada para los estudios posteriores. Adicionalmente, se formaron las trece películas resultantes descritas en el Cuadro 10, lo cual permitió la selección de dos soluciones más en conjunto con los resultados de W_s , soluciones no. 2 y 3, con valores de -50.3 ± 5.0 y $-52.7 \pm 6.9 \text{ mN m}^{-1}$, respectivamente.

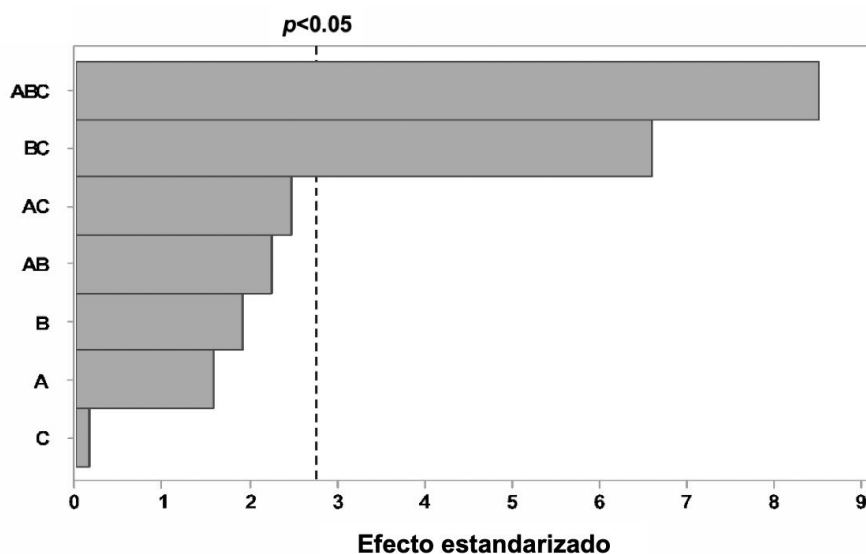


Figura 21. Diagrama de Pareto del diseño Plackett Burman para el efecto estandarizado de la humectabilidad (W_s) en función de la concentración de: A = mucílago de chí, B = CaCl_2 y C = glicerol. La línea punteada indica el nivel crítico encima del cual las variables presentaron un efecto significativo ($p < 0.05$).

Considerando los resultados obtenidos de W_s y comportamiento en la formación de la película, se seleccionaron las soluciones no. 2, 3 y 13 (optimizada) para su funcionalización, y continuar con el estudio. La solución no. 1 fue descartada a pesar de tener resultados de W_s más cercanos a cero, ya que la falta de glicerol resultó en una película más frágil. Esto debido a que la influencia del plastificante ayuda a reducir la rigidez del recubrimiento, evitando rupturas, además de brindar brillo y reducir las fuerzas de cohesión, adhesión y tensión superficial, incrementando así la humectabilidad creando una mejor compatibilidad con la superficie (Avila-Sosa, 2008).

4.8 Funcionalización de recubrimientos

La funcionalización de los recubrimientos se logró con la incorporación del EHA de *R. microphylla* en una concentración de 2500 mg L⁻¹. Este extracto presentó en su composición ácido gálico, ácido ferúlico, epicatequina, resveratrol, entre otros compuestos fenólicos, que pueden estar asociados a su actividad antifúngica y antioxidante (Alaniz, 2018; Jasso de Rodríguez et al., 2017; Kollár y Hotolová, 2003). La concentración fue seleccionada una vez que con ella se obtuvo más del 50% de inhibición *in vitro* de *F. oxysporum* y *C. cassiicola*, con valores de inhibición de 55.8 ± 1.6 y $62.6 \pm 1.3\%$, respectivamente (Figura 20). Además, de contar con un potencial antioxidante que le permite conseguir una inhibición de oxidación del 50% a partir de 0.2 ± 0.0 mg mL⁻¹ (Cuadro 7).

Los resultados del efecto de la funcionalización de los recubrimientos en términos de W_s , se muestran en el Cuadro 11. En todos los casos, la adición del EHA de fruto de *R. microphylla* a las soluciones formadoras de recubrimientos redujo significativamente ($p < 0.05$) los valores de W_s , en comparación con la respectiva solución sin funcionalizar. La funcionalización de la solución 3 (3-Rm), resultó con mejor afinidad hacia la superficie de pepino, con valor de W_s de -32.8 ± 5.7 mN m⁻¹, seguida de la solución 13-Rm y 2-Rm con valores de W_s de -36.5 ± 4.7 y -39.0 ± 7.4 mN m⁻¹, respectivamente. La reducción de los valores de W_s puede ser debido a la presencia de compuestos fenólicos nativos del fruto de la planta *R. microphylla* detectados en el EHA (Cuadro 8), reflejándose en un aumento en la hidrofobicidad de la solución. Estudios previos muestran que la incorporación de compuestos bioactivos como sustancias antioxidantes en recubrimientos, mejora la humectabilidad a la superficie de contacto, debido a los grupos hidroxilos (Foschia et al., 2013).

Cuadro 11. Efecto de la funcionalización de soluciones formadoras de recubrimientos en términos de W_s .

Solución	W_s (mN m⁻¹)
2	-50.3 ± 5.0 ^e
3	-52.7 ± 6.9 ^f
13	-46.8 ± 3.8 ^d
2-Rm	-39.0 ± 7.4 ^c
3-Rm	-32.8 ± 5.7 ^a
13-Rm	-36.5 ± 4.7 ^b

^{a-f}Letras diferentes corresponden a diferencias estadísticas ($p < 0.05$) entre soluciones, donde: -Rm después del número indica la funcionalización con EHA a 2500 mg L⁻¹ de la solución correspondiente.

4.9 Caracterización de recubrimientos funcionalizados

4.9.1 Reología

Desde el punto de vista de la reología, los fluidos más sencillos son los newtonianos, llamados así porque su comportamiento sigue la ley de Newton: “El esfuerzo de corte es proporcional al gradiente de velocidad o velocidad de corte” (Capitani et al., 2015). Existen algunos líquidos que presentan comportamientos no newtonianos, debido a la composición química y estructura de las moléculas que lo forman o al tipo de interacción de esas moléculas o partículas con el solvente, cuando se trata de una solución o suspensión (Sharma et al., 2003).

La Figura 22 muestra una representación gráfica del comportamiento de las curvas de flujo de las soluciones formadoras de recubrimientos cuando tienden al reposo. Las formulaciones evaluadas a base de mucílago de chía funcionalizadas con EHA de fruto de *R. microphylla*, presentaron un comportamiento no newtoniano (pseudoplástico), ya que no tienen una tensión de fluencia para que comiencen a deformarse (Aguado et al., 1999). Los fluidos pseudoplásticos son aquellos que presentan una curva de fluido de forma convexa respecto al esfuerzo cortante contra la velocidad de corte, y su viscosidad disminuye al aumentar la velocidad de

deformación (Figura 23) (Sharma et al., 2003). Este tipo de comportamiento se relaciona a la presencia de moléculas hidrófilas características de los componentes utilizados, como el mucílago de chíá, que, al ser un polisacárido viscoso, interacciona con las moléculas de agua y las inmoviliza (Arnon et al., 2015).

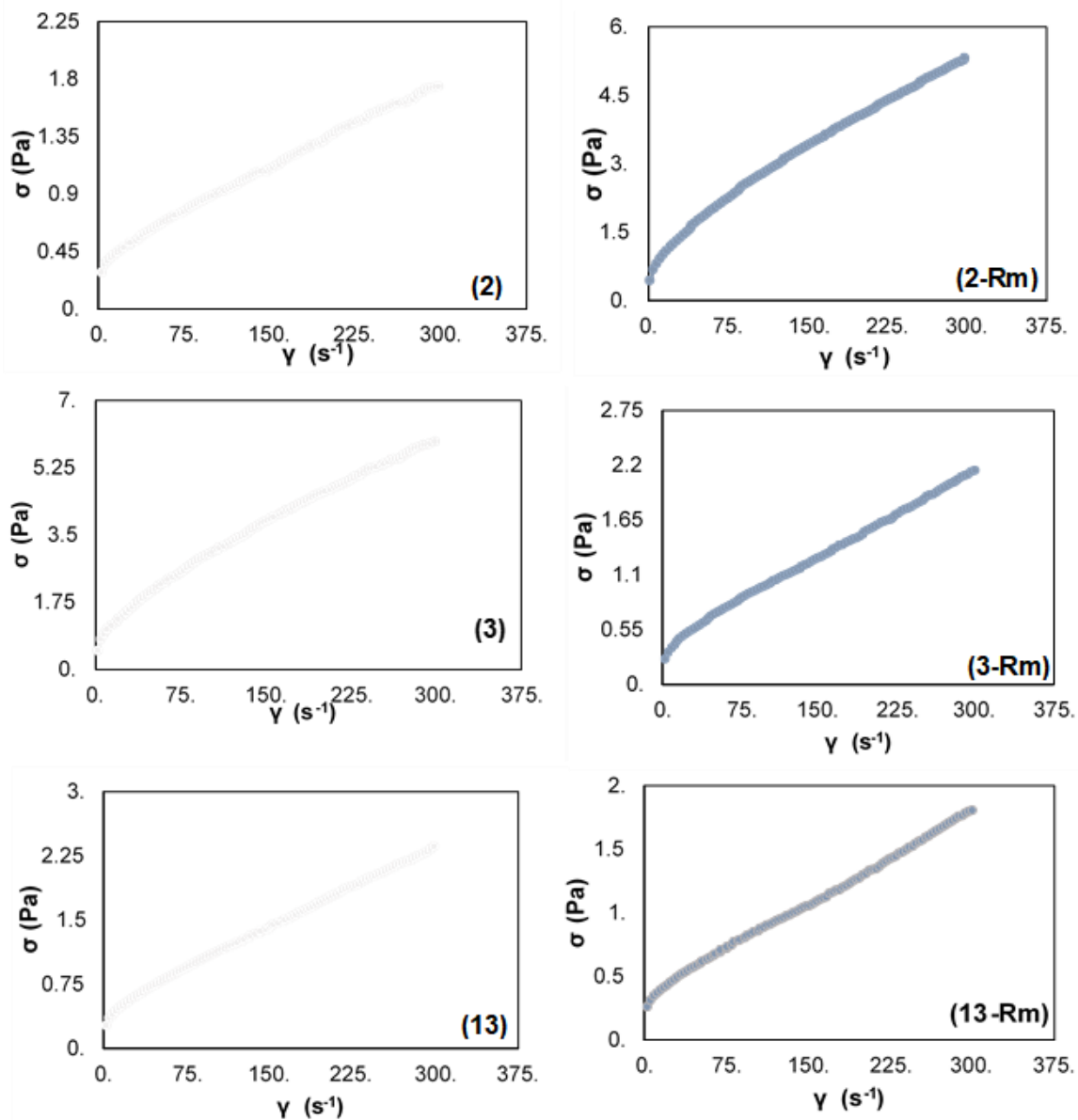


Figura 22. Curvas del flujo de comportamiento de los recubrimientos a base de mucílago de chíá, $CaCl_2$ y glicerol, obtenidos del reómetro. La nomenclatura -Rm indica la funcionalización con EHA a 2500 mg mL^{-1} .

La viscosidad de todas las soluciones disminuyó a medida que aumentó la velocidad de corte (deformación) (Figura 23). Este fenómeno muestra el comportamiento pseudoplástico de las soluciones, ya que a medida que aumenta la deformación, el orden aleatorio de las moléculas del polímero se alinean en dirección del flujo, reduciendo su viscosidad (Capitani et al., 2015). Koocheki et al. (2013) observaron este mismo fenómeno en goma de semilla de *Lepidium perfoliatum*.

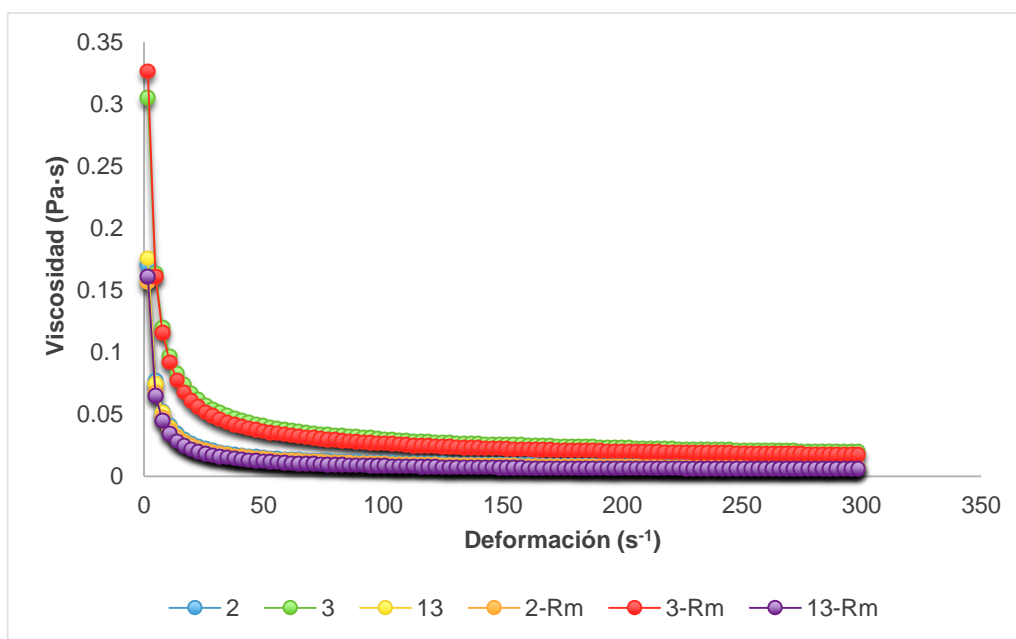


Figura 23. Gráfico de viscosidad contra la deformación de las soluciones formadoras de recubrimiento a base de chía con EHA a 2500 mg L⁻¹ (-Rm) y sin funcionalizar.

El Cuadro 12 muestra los valores del índice de consistencia (k) y el índice de comportamiento de flujo (n) de las formulaciones a base de mucílago de chía antes y después de su funcionalización. Los valores de n para todas las formulaciones fueron inferiores a 1, lo que confirma la naturaleza pseudoplástica de las formulaciones. Los coeficientes de determinación (R^2) fueron cercanos a 1, lo que demuestra que el modelo de ley de la potencia fue adecuado para determinar el comportamiento del flujo de las formulaciones (Figura 24) (Sharma et al., 2003).

El análisis de las soluciones arrojó que la formulación 13-Rm presentó uno de los menores índice de flujo (n), resultando ser un fluido con una velocidad de cambio de la viscosidad respecto a la velocidad de deformación ligeramente más abrupta, respecto a aquellas formulaciones con un índice de comportamiento de flujo mayor (3-Rm).

Cuadro 12. Parametros reológicos: índice de comportamiento de flujo (n) e índice de consistencia (k).

Solución	n (Pa·s)	k (Pa)	R^2
2	0.49 ^a	8.4 ^a	0.96
3	0.50 ^a	3.2 ^b	0.98
13	0.44 ^b	7.5 ^a	0.95
2-Rm	0.49 ^a	7.7 ^a	0.96
3-Rm	0.51 ^a	3.7 ^b	0.98
13-Rm	0.46 ^b	8.7 ^a	0.95

^{a-b}Letras diferentes corresponden a diferencias estadísticas ($p < 0.05$) entre soluciones, donde: -Rm despues del número indica la funcionalización con EHA a 2500 mg L⁻¹ de la solución correspondiente.

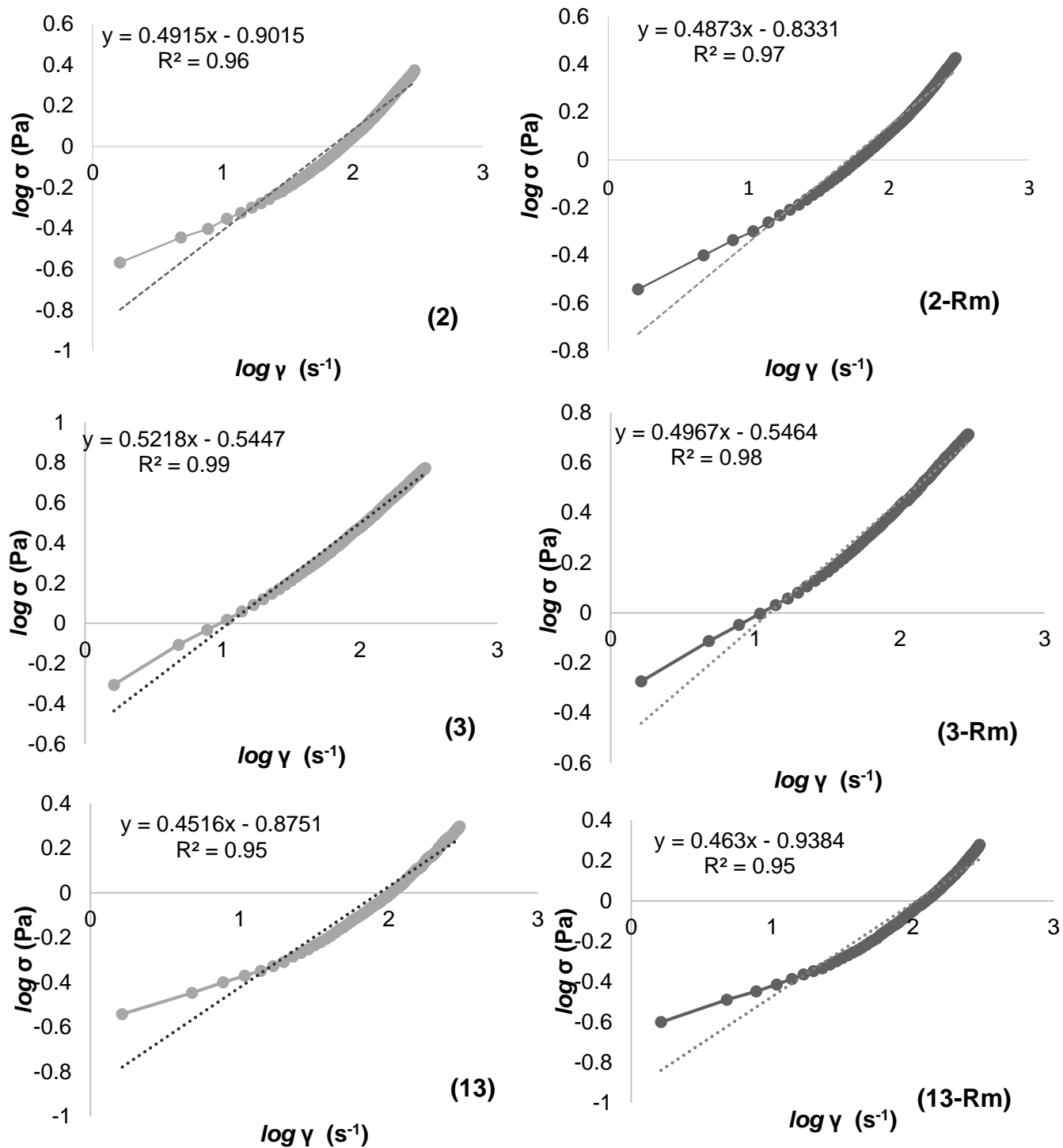


Figura 24. Linearización de datos reológicos según modelo de la ley de la potencia donde σ es el esfuerzo cortante (Pa), y $\dot{\gamma}$ indica la velocidad de cizallamiento o deformación (s^{-1}).

4.9.2 Potencial zeta

La determinación de potencial zeta permite conocer la carga superficial de una solución desde el punto de vista electrostático, a fin de evaluar la estabilidad e interacción de la solución con la superficie de contacto (Fabra et al., 2016). Los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 13. Las soluciones 2 y 3, conservaron su estabilidad tras su funcionalización, siendo que se consideran soluciones más estables aquellas que arrojan valores más lejanos a cero (Hunter, 1981).

Cuadro 13. Análisis de potencial zeta en soluciones antes y después de su funcionalización.

Solución	Potencial zeta (mV)
2	-33.3 ± 2.8^a
3	-34.4 ± 3.0^a
13	-26.9 ± 3.4^b
2-Rm	-32.8 ± 3.8^a
3-Rm	-26.9 ± 3.4^{ab}
13-Rm	-17.6 ± 3.5^c

^{a-c}Letras minúsculas señalan las diferencias estadísticas ($p < 0.05$) que existen entre soluciones; -Rm después del número de solución indica la funcionalización con EHA de *R. microphylla* a 2500 mg L⁻¹.

La funcionalización de la solución 13 con EHA de fruto de *R. microphylla* mostró una reducción significativa ($p < 0.05$) en los valores de potencial zeta, implicando una neutralización en las cargas de la formulación, debido a la presencia de grupos funcionales nativos del extracto. La influencia del muilago de chíá en todas las formulaciones, exhibió su naturaleza aniónica al mostrar cargas negativas en el análisis de potencial zeta. Carneiro-Da-Cunha et al. (2011) presentaron valores de -13.7 a -2.1 mV en las soluciones formadoras de recubrimientos a base de galactomananos. Por otro lado, Torres-León et al. (2018) demostraron el mismo

fenómeno, al obtener valores de -14.6 a -13.8 mV tras la incorporación de antioxidantes de semilla de mango en películas y recubrimientos a base de subproductos de mango (var. Ataulfo). Estos resultados son inferiores a los obtenidos en este parámetro en este estudio.

Los buenos resultados obtenidos en este estudio, abren la posibilidad para futuros estudios en la optimización de parámetros que influyen en las propiedades de recubrimientos a base de chíá.

4.9.3 Permeabilidad al vapor de agua (PVA)

La PVA mide la difusión de las moléculas de agua a través del recubrimiento, este parámetro puede dar una estimación de las propiedades de barrera que se pueden conferir sobre la superficie a recubrir (Acevedo-Fani, 2015). En productos alimenticios, la transferencia de humedad debe reducirse para controlar la pérdida de humedad al medio ambiente; por esta razón, valores bajos de PVA son ideales (Torres-León et al., 2017). En el Cuadro 14 se presentan los resultados de PVA, observándose mejores resultados para la solución optimizada ($2.1 \pm 0.1 \times 10^{-10} \text{ g m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$), la cual presentó diferencias significativas ($p < 0.05$) con respecto a las soluciones 2 y 3 (3.7 ± 0.2 y $3.7 \pm 0.1 \times 10^{-10} \text{ g m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$, respectivamente).

Cuadro 14. Permeabilidad de vapor de agua (PVA), humedad y porcentaje de solubilidad de películas a base de mucílago de chíá.

Solución	PVA $\times 10^{-10}$ ($\text{g m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$)	(%) Humedad	(%) Solubilidad
2	3.7 ± 0.2^a	81.0 ± 1.7^a	15.0 ± 3.3^a
3	3.7 ± 0.1^a	68.4 ± 1.3^b	25.0 ± 2.4^a
13	2.1 ± 0.1^b	26.3 ± 2.8^c	17.4 ± 5.0^a
2-Rm	3.8 ± 0.2^a	79.0 ± 0.7^a	23.3 ± 1.5^a
3-Rm	4.0 ± 0.2^a	66.0 ± 0.9^b	27.3 ± 4.3^a
13-Rm	1.8 ± 0.4^b	14.0 ± 0.3^d	22.4 ± 6.6^a

^{a-d}Las letras dentro de la misma columna indican diferencias estadísticas ($p < 0.05$). -Rm indica la funcionalización de las soluciones con EHA a 2500 mg L^{-1} .

Mientras que, para las tres soluciones, la permeabilidad de las películas formadas no presentó cambios significativos ($p > 0.05$) con la incorporación del EHA de fruto de *R. microphylla*. Muñoz et al. (2012) publicaron resultados similares en recubrimientos a base de mucílago de chíá, proteínas de suero y glicerol con valores de PVA de $1.9 \times 10^{-10} \text{ g m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$.

Costa et al. (2015) demostraron que la incorporación de compuestos bioactivos de arabinosilanos de salvado de trigo en recubrimientos a base de quitosán, no afectó los valores de PVA, al no presentar diferencias significativas con el aumento de su concentración, obteniendo un rango de $3.3 \times 10^{-10} \text{ g m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$ sin arabinosilanos a $3.9 \times 10^{-10} \text{ g m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$ con su incorporación. Por otro lado, Torres-León et al. (2018) presentaron diferencias significativas en películas a base de cáscara de mango funcionalizadas con antioxidantes de semilla de mango, con valores de 0.9 a $1.0 \times 10^{-10} \text{ g m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$, respectivamente. Los buenos resultados obtenidos en esta investigación se justifican por el diseño de las formulaciones, la naturaleza de los componentes empleados, el tipo de plastificante, el compuesto activo y el proceso de preparación (Cheng et al., 2015).

La literatura señala ventajas en la aplicación de RC nanolaminados sobre la aplicación de recubrimientos convencionales, al tener mejores propiedades de barrera (Flores-López et al., 2016a). Sin embargo, considerando los recubrimientos desarrollados en esta investigación y lo reportado en la literatura, los valores obtenidos para PVA son aceptables, logrando brindar una buena barrera a la permeabilidad al vapor de agua (Torres-León et al., 2017; Costa et al., 2015; Muñoz et al., 2012). Los resultados mostraron que es posible incorporar EHA (dentro del rango de concentración utilizado) en RC a base de mucílago de chíá sin modificar su PVA, para fines de aplicación normalmente se eligen aquellos que cuenten con una baja concentración de componentes, a fin de que sean más rentables.

4.9.4 Contenido de humedad

El contenido de humedad se evaluó para determinar la influencia de la incorporación del EHA de fruto de *R. microphylla* en la afinidad del agua con la base de la película, considerando las altas propiedades de absorción del mucílago de

chía (García-Pardo et al., 2018). Las películas formadas a partir de las soluciones 2 y 3, mostraron un alto contenido de humedad (66-81%) antes y después de su funcionalización (Cuadro 14). Estos resultados son mayores a los reportados por Muñoz et al. (2012) para recubrimientos a base de mucílago de chía, proteínas de suero y glicerol con un 38% de humedad. Por su parte, la solución optimizada (no.13) formó películas con menor contenido de humedad ($p < 0.05$), presentando una reducción significativa de este parámetro cuando se funcionalizó, disminuyendo de 26.3 ± 2.8 a $14.0 \pm 0.3\%$, respectivamente. Un fenómeno interesante se observa en la interacción de los componentes de cada formulación, ya que genera diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las películas en cuanto al porcentaje de humedad (Cuadro 14). Algunos autores han evaluado la influencia del plastificante como responsables de altos valores de humedad (Zhang y Han, 2006). Sin embargo, en los RC a base de mucílago de chía evaluados en esta investigación, existe una interacción entre componentes generando valores superiores a los reportados en literatura (Muñoz et al., 2012). Dick et al. (2015) estudiaron el efecto del glicerol en el contenido de humedad, obteniendo cambios significativos cuando la concentración de glicerol aumentó de 25 a 75% (p/v), generando valores de humedad de 18.2 a 41.9%, respectivamente. Algunos autores, señalan que existe una relación entre el contenido de humedad y la solubilidad de la película, ya que un alto contenido de humedad se ve reflejado en una menor resistencia al agua (Muñoz et al., 2012; Stuchell y Krotcha, 1994). Generalmente, la biodegradabilidad de un material se atribuye a su comportamiento en ambientes húmedos, y en la aplicación de recubrimientos, un alto contenido de humedad indica una alta capacidad de degradación (Capitani et al., 2016). Por lo que, las películas resultantes de las soluciones 2 y 3, pueden considerarse más biodegradables. En caso contrario, la solución optimizada presentó una mejor hidrofobicidad tras su funcionalización, ya que se observó una superficie más compacta (datos no mostrados), que disminuyó el paso de moléculas de agua en la película (Feng et al., 2018).

4.9.5 Solubilidad

La solubilidad de las películas se determinó para predecir el comportamiento del recubrimiento sobre una superficie y ambiente húmedo. Generalmente, una alta solubilidad indica una menor resistencia al agua; sin embargo, para algunas aplicaciones, como en recubrimientos, la alta solubilidad es un indicador de biodegradabilidad que podría ser una ventaja en su aplicación (Stuchell y Krotcha, 1994). El Cuadro 14, muestra el porcentaje de solubilidad con la incorporación de EHA del fruto de *R. microphylla* en películas de mucílago de chíá. La solubilidad de los recubrimientos antes y después de su funcionalización, no mostró diferencias significativas ($p > 0.05$), ya que ninguna de las películas analizadas se disintegró, después de estar 24 h en agua. Los resultados obtenidos indican que todas las soluciones son parcialmente solubles con valores en el rango de 15.0 a 27.3%. Feng et al. (2018) obtuvieron resultados similares de solubilidad en un rango de 23.3 a 33.2% para recubrimientos a base de nanofibrillas de proteína de suero. Por su parte, Muñoz et al. (2012) mostraron valores inferiores a los obtenidos en esta investigación, ya que evaluaron la influencia del pH en la solubilidad de recubrimientos a base de mucílago de chíá, obteniendo valores de 48.3% a pH 10 y 69.4% a pH 7. Los autores indicaron que la neutralización del recubrimiento mejora la interacción de componentes para las soluciones con mayor concentración de polisacárido.

La resistencia de los recubrimientos funcionales al agua es deseable si su finalidad es aplicarse para la preservación de alimentos de alta humedad, para generar una atmósfera controlada, y así mismo prolongar su vida de anaquel (Huber y Embuscado, 2009). Un recubrimiento antimicrobiano con mala resistencia al agua se disolverá rápidamente, haciendo que pierda su bioactividad (Ozdemir y Floros, 2008). Por lo tanto, las películas obtenidas en este estudio son más resistentes a ambientes húmedos, debido a sus valores de solubilidad, lo que permite tener un panorama de su posible estabilidad sobre la aplicación en frutos con alto contenido de humedad.

4.9.6 Propiedades ópticas

El color y la opacidad son parámetros indispensables en la transferencia de tecnología a nivel industrial, ya que el color es el principal parámetro que el consumidor demanda (Dick et al., 2015). El Cuadro 15 muestra las coordenadas cromáticas que incluyen: L* (luminosidad), a*, b* (desde -a*: verdor, -b*: azul, hasta + a*: rojo, + b*: amarillo) y % de opacidad. La incorporación de EHA de fruto de *R. microphylla* a 2500 mg mL⁻¹ tuvo una influencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$) en L*, a* y b*. Esto se debe en gran medida a la naturaleza de los extractos, ya que la coloración rojiza característica del fruto de *R. microphylla* (González et al., 2004), se fusionó con la base del recubrimiento.

Cuadro 15. Valores de opacidad, L*, a* y b* de películas a base de mucílago de chía.

Solución	L*	a*	b*	% opacidad
2	92.2 ± 0.2 ^a	0.4 ± 0.1 ^e	10.2 ± 0.6 ^e	5.0 ± 0.3 ^e
3	85.2 ± 0.2 ^c	1.8 ± 0.1 ^c	17.8 ± 0.4 ^c	6.4 ± 0.4 ^d
13	90.8 ± 0.2 ^b	1.0 ± 0.1 ^d	12.6 ± 0.2 ^d	12.4 ± 0.3 ^a
2-Rm	87.7 ± 0.7 ^d	4.5 ± 0.3 ^b	29.8 ± 1.0 ^b	4.5 ± 0.2 ^f
3-Rm	79.7 ± 0.9 ^f	5.6 ± 0.4 ^a	32.1 ± 0.8 ^a	6.8 ± 0.3 ^c
13-Rm	82.7 ± 0.6 ^e	4.5 ± 0.2 ^b	29.6 ± 0.6 ^b	8.5 ± 0.4 ^b

^{a-f}Diferentes letras en la misma columna indican diferencias estadísticas ($p < 0.05$). -Rm indica la funcionalización de las soluciones con EHA a 2500 mg L⁻¹.

En algunas investigaciones se ha relacionado la presencia de compuestos fenólicos con la disminución del porcentaje de opacidad (Costa et al., 2015). Sin embargo, se observó un aumento significativo ($p < 0.05$) en la opacidad de la solución 3, al ser funcionalizada con EHA (3-Rm). Este comportamiento puede justificarse por el hecho de tener la mayor concentración de mucílago de chía (0.4%, p/v) combinado con el EHA. Por lo tanto, se puede confirmar que la presencia de EHA provocó diferencias significativas ($p < 0.05$) entre el color y la opacidad, disminuyendo la luminosidad y aumentando los valores de b*, (volviéndose ligeramente rojizas a + y amarillentas b +).

La literatura sitúa los valores obtenidos dentro de los rangos esperados para un recubrimiento a base de mucílago de chía (Dick et al., 2015). Muñoz et al. (2012) mostraron resultados inferiores en las coordenadas cromáticas y opacidad evaluando la influencia del pH y la concentración polisacárido:proteína. Dick et al. (2015) publicaron coordenadas cromáticas similares para películas a base de mucílago de chía con valores promedio de L^* : 81.8 , a^* : 0.7 y b^* : 25.5, mostrando variabilidad entre sí por la influencia de la concentración de glicerol. Para fines de aplicación, considerando al pepino como fruto modelo, los recubrimientos resultantes pueden ser ideales para evitar su detección por parte del consumidor.

4.9.7 Espesor

La incorporación de compuestos bioactivos en un recubrimiento/película afecta directamente los parámetros físicos, ópticos y mecánicos (Ozdemir y Floros, 2008). Estudios previos muestran una relación entre el espesor de la película y las propiedades de permeabilidad (Torres-León et al., 2018). Considerándose más hidrofílica con el aumento del espesor (McHugh et al., 1993). Para fines sensoriales es más aceptable un recubrimiento que no se pueda detectar, lo que se traduce a valores más bajos de espesor, capaces de crear un recubrimiento más fino (Cerqueira et al., 2012). El Cuadro 16 muestra los resultados obtenidos para películas a base de chía bajo estudio. El espesor obtenido resulta de la cantidad de sólidos solubles presentes en la solución formadora de recubrimientos, así que entre más sólidos solubles presentes será mayor el grosor. La funcionalización generó un aumento significativo ($p < 0.05$) para las soluciones 2 y 3 en el espesor con valores de 38.4 a 50.8 μm , y de 46.0 a 59.8 μm , respectivamente. En esta investigación, la película más fina, frágil y menos maleable fue la solución optimizada (13), antes y después de su funcionalización (13-Rm), presentando los valores más bajos de espesor ($p < 0.05$). Su caracterización fue difícil por la fragilidad de la película; sin embargo, tras su caracterización no se descarta un buen comportamiento en la superficie de aplicación (pepino).

Cuadro 16. Valores de espesor (μm), resistencia a la tracción (RT) y ruptura al alargamiento (RA) de películas a base de mucílago de chíá.

Solución	Espesor (μm)	RT (MPa)	RA (%)
2	$38.4 \pm 0.0^{\text{d}}$	$0.5 \pm 0.2^{\text{d}}$	$14.0 \pm 3.0^{\text{a}}$
3	$46.0 \pm 0.0^{\text{c}}$	$1.1 \pm 0.1^{\text{bc}}$	$9.5 \pm 1.0^{\text{b}}$
13	$27.7 \pm 0.0^{\text{e}}$	$1.8 \pm 0.4^{\text{a}}$	$6.3 \pm 0.2^{\text{bcd}}$
2-Rm	$50.8 \pm 0.0^{\text{b}}$	$0.6 \pm 0.0^{\text{cd}}$	$5.5 \pm 0.5^{\text{cd}}$
3-Rm	$59.8 \pm 0.0^{\text{a}}$	$1.6 \pm 0.4^{\text{ab}}$	$7.2 \pm 1.4^{\text{bc}}$
13-Rm	$32.5 \pm 0.0^{\text{d}}$	$2.0 \pm 0.4^{\text{a}}$	$3.6 \pm 0.5^{\text{d}}$

Los valores reportados son los promedios con su desviación estandar. ^{a-d} Diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

Dick et al. (2015) publicaron resultados dentro del rango de los obtenidos en este estudio, atribuyendo la influencia al aumento de glicerol (25–75%) con valores de 54 a 60 μm . Torres-León et al. (2018) publicó valores que van de 100 a 110 μm en el estudio de recubrimientos a base de cáscara de mango funcionalizados con antioxidantes de semilla de mango, en los cuales se presentó el mismo fenómeno de aumento de espesor con la incorporación de compuestos bioactivos. En general, se puede considerar a la solución 3-Rm como la más gruesa ($p < 0.05$). Sin embargo, los resultados obtenidos están por debajo de lo que se encuentra en la literatura (Torres-León et al., 2018; Dick et al., 2015), considerando cualquiera de las soluciones bajo estudio con potencial para recubrir frutos para su conservación en la etapa de postcosecha.

4.9.8 Propiedades mecánicas

El análisis de las propiedades mecánicas mide el potencial de un material para ser utilizado en aplicaciones estructurales, donde en RC tienen un impacto en la flexibilidad y estabilidad a cambios físicos y ambientales (Zhang y Whistler, 2004). La resistencia a la tracción (RT) es la capacidad de un material para resistir el esfuerzo de tracción hasta que se rompa (Costa et al., 2015). La ruptura al

alargamiento (RA) es el aumento porcentual de longitud que ocurre antes de que se rompa bajo tensión (Sperling, 2006).

El Cuadro 16, muestra los resultados de los recubrimientos a base de mucílago de chíá funcionalizados con EHA. En ellos se observa un patrón interesante en la sinergia de componentes, ya que presentan un incremento en RT y una disminución en RA. La película resultante de la solución optimizada (13-Rm) presentó la mayor fragilidad, lo cual puede estar relacionado a su baja concentración de glicerol (0.05 %) (Dick et al., 2015). Esta película presentó valores de RT de 1.8 a 2.0 MPa y RA de 6.3 a 3.6%, teniendo la mayor resistencia a la tracción; sin embargo, por sus bajos valores de ruptura al alargamiento, se consideró como la película menos maleable. Estudios previos han demostrado la influencia del plastificante como responsable directo de estos cambios. Por ejemplo, Dick et al. (2015) reportaron el mismo fenómeno en películas de mucilago de chíá, en los que se incrementó la concentración de glicerol de 25 a 75%, causando una disminución de RT con valores de 17.8 a 9.4 MPa, y un aumento de RA de 1.9 a 15.9%, superiores a los generados en esta investigación.

Por otro lado, también se ha estudiado el efecto de la incorporación de compuestos funcionales sobre las propiedades mecánicas de películas. Du et al. (2009) estudiaron los efectos de aceites esenciales de pimienta, canela y clavo, sobre las propiedades físicas de películas a base de puré de manzana y pectina, observando que aquellas funcionalizadas mostraron diferencias significativas en RT y RA. Éstas fueron más evidentes con la incorporación de aceite esencial de clavo, resultando en valores de RT y RA más bajos que las películas con aceites esenciales de pimienta y canela. Costa et al. (2015) demostraron el fenómeno de reducción de las propiedades mecánicas con la incorporación de compuestos bioactivos.

En general, los resultados obtenidos para las propiedades mecánicas, se encuentran por debajo de lo reportado en la literatura, lo cual se puede asociar a la interacción de componentes y a la naturaleza de los compuestos bioactivos (Dick et al., 2015). La influencia de la funcionalización con EHA de fruto de *R. microphylla*,

se ve reflejada en la disminución de la capacidad a la RA, al reducir hasta un 50% su capacidad. En cuanto a propiedades mecánicas, las películas presentan la mayor deformación con el menor esfuerzo aplicado, y se puede observar que a medida que aumenta la concentración de mucílago de chía, se incrementa el esfuerzo aplicado. Sin embargo, la deformación disminuye, lo que provoca contar con un material menos elástico si aumentamos la concentración de mucílago, aunque más resistente. Este fenómeno se confirma con el recubrimiento 3-Rm considerado el más resistente, al presentar la mayor resistencia en RA, tras su funcionalización.

El uso de RC en la industria alimentaria representa una alternativa en la reducción de pérdidas postcosecha, debido a su potencial para aumentar la vida útil de frutos y vegetales (Quintero et al., 2010). Actualmente, el uso de RC es escaso, debido a las limitadas propiedades de barrera y mecánicas que muestran algunos polímeros naturales (ej. ceras, almidón, gomas, etc.) (Huber y Embuscado, 2009). El mucílago de chía representa una fuente natural interesante para el diseño de RC, por sus propiedades mucilaginosas y nutricionales (Capitani et al., 2016; 2015).

En esta etapa se seleccionaron las mejores soluciones para el desarrollo de RC en función de la afinidad hacia la superficie de pepino como fruto modelo, en términos de W_s . Las soluciones no. 2 (0.2% de mucílago de chía, 0.05% de CaCl_2 y 1.0% de glicerol) y no. 3 (0.4% mucílago de chía, 0.05% CaCl_2 y 1.0% de glicerol), fueron las que presentaron mejores resultados, con valores más cercanos a cero que se traduce a una mejor afinidad hacia la superficie de pepino. El modelo Plackett–Burman generó una solución optimizada (no.13, 0.24% de mucílago de chía, 0.15% de CaCl_2 y 0.05% de glicerol), tomando en cuenta la influencia de la concentración de los componentes en el parámetro W_s .

La incorporación de EHA de fruto de *R. microphylla* en concentración de 2500 mg L⁻¹ en las soluciones formadoras de recubrimientos seleccionadas, generó cambios significativos en algunos de los parámetros evaluados en la Etapa II: W_s , potencial zeta, espesor, propiedades ópticas y mecánicas. Los resultados obtenidos confirman que con su incorporación se crea un recubrimiento que además de tener

propiedades de barrera a la pérdida de humedad, es capaz de proveer al fruto propiedades funcionales (ej. antioxidantes y antifúngicas).

Todas las soluciones funcionalizadas presentaron propiedades interesantes para su potencial aplicación en frutos con necesidad de propiedades barrera a la respiración y pérdida de humedad como el pepino. Además, de presentar resistencia a ambientes húmedos, y coloraciones cristalinas en su caracterización.

La solución optimizada (13-Rm) representa una alternativa costeable para su aplicación a nivel industrial (0.24% de mucílago de chía, 0.15% de CaCl_2 y 0.05% de glicerol), ya que presentó propiedades funcionales interesantes. Sin embargo, la caracterización de la película fue difícil por sus limitadas propiedades mecánicas. La solución 3-Rm destacó entre las formulaciones evaluadas, al contar con una mejor humectabilidad, buenas propiedades mecánicas y ópticas, a pesar de ser el recubrimiento con mayor concentración de mucílago de chía. La fusión de los mismos mejoró su estabilidad, facilitando su caracterización. La solución 2-Rm, se consideró un punto intermedio entre las otras soluciones formadoras de recubrimientos, al reunir características funcionales ideales en función de la concentración de sus componentes.

En general, las formulaciones evaluadas en esta investigación, cuentan con características interesantes en cuanto a sus propiedades reológicas, de barrera, ópticas, mecánicas, entre otras, para su potencial aplicación en frutos como el pepino en etapa de postcosecha. Además, son capaces de formar recubrimientos/películas biodegradables, que confieren propiedades funcionales (antioxidante y antifúngica) al fruto a recubrir.

5. CONCLUSIONES

- En la caracterización de extractos de fruto de *Rhus microphylla*, se identificaron compuestos fenólicos a los que se les puede atribuir efectividad en el control de hongos fitopatógenos que afectan en la etapa de pre- y postcosecha de pepino.
- Se seleccionó al EHA de fruto de *R. microphylla* a concentración de 2500 mg L⁻¹, ya que mostró características aceptables en cuanto a su capacidad antioxidante, antifúngica y perfil fenólico. Además de representar una alternativa factible para su producción a nivel industrial.
- Se caracterizaron tres tipos de películas a base de mucílago de chía funcionalizadas con EHA de fruto de *R. microphylla*, y se consideró óptima su incorporación con base a todas las características evaluadas.
- Se comprobó que la funcionalización de los recubrimientos con EHA de fruto de *R. microphylla*, es una alternativa potencial para la prevención de pérdida de humedad, ataque fúngico y oxidación del pepino como fruto modelo de estudio.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo-Fani, A., Salvia-Trujillo, L., Rojas-Graü, M.A., Martín-Belloso, O., 2015. Edible films from essential-oil-loaded nanoemulsions: Physicochemical characterization and antimicrobial properties. *Food Hydrocoll.* 47, 168–177. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.01.032>
- Adame, J., Adame, H., 2000. *Plantas curativas del noreste mexicano*. México.
- Agronegocios, R.M. De, 2006. *Comercialización de plantas del Desierto*.
- Aguado, J., Calles, J.A., Cañizares, P., Lopez, B., Santos, A., Serrano, D. 1999. *Ingeniería de la Industria Alimentaria, volumen III, Conservación de Alimentos*. Editorial Síntesis. Madrid–España.
- Alaniz, M., 2018. Evaluación del tiempo de hidrólisis enzimática del zumaque (*Rhus coriaria*) durante fase oral, gástrica e intestinal. *Escuela Agrícola Panamericana*.
- Andrade, J.C., Acosta, D.L., Bucheli, M.A., Osorio, O., 2014. Desarrollo de un recubrimiento comestible compuesto para la conservación del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* S.). *Inf. Technol.* 25, 57–66. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000600008>
- Arbeláez, G., 2000. Some aspects of *Fusarium* genus and the *Fusarium oxysporum* species. *Agron. Colomb.* 17, 11–22.
- Arnon, H., Granit, R., Porat, R., Poverenov, E., 2015. Development of polysaccharides-based edible coatings for citrus fruits: A layer-by-layer approach. *Food Chem.* 166, 465–472. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.061>
- 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.
- ASTM D882-91, 1991. Standard test method for tensile properties of thin plastic., Annual boo. ed. Amer.Soc. for Testing and Materials, Philadelphia, PA.
- Avila-Sosa, R., 2008. *Aplicación de sustancias antimicrobianas a películas y recubrimientos comestibles*. Universidad de las Américas- Puebla.
- Azmir, J., Zaidul, I.S.M., Rahman, M.M., Sharif, K.M., Mohamed, A., Sahena, F., Jahurul, M.H.A., Ghafoor, K., Norulaini, N.A.N., Omar, A.K.M., 2013.

- Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review. *J. Food Eng.* 117, 426–436. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.01.014>
- Baldwin, E. A., Hagenmaier, R., Bai, J. (Eds.). 2011. Edible coatings and films to improve food quality. CRC Press.
- Belmont, R.M., Cruz, V.C., Martínez, G.M., García, G.S., Licona, R.G., Domínguez, S.Z., Luna, L.B., Torres, K.B., Moctezuma, H.E.F., Moreno, M.C., 2000. Propiedades Antifúngicas en Plantas Superiores. Análisis retrospectivo de investigaciones. *Rev. Mex. Fitopatol.* 18, 125–131.
- Bilder, R.B., Morrison, F.L., Pomerance, M., 1997. Eatable films and coverings: a favorable alternative in the postharvesting conservation of fruits and vegetables. *Am. J. Int. Law* 91, 396. <https://doi.org/10.2307/2954224>
- Borda, F., Arbeláez, G. 1993. Determinación del antagonismo del aislamiento T 95 de *Trichoderma harzianum* sobre *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum* en plantas de pepino cohombro. *Agron. Colomb.*, 10(1), 45–51.
- Bourtoom, T, 2008. Edible films and coatings: Characteristics and properties. *Inter. Food Res. J.* 15(3), 237-248. 15, 237–248.
- Capitani, M.I., Corzo-Rios, L.J., Chel-Guerrero, L.A., Betancur-Ancona, D.A., Nolasco, S.M., Tomás, M.C., 2015. Rheological properties of aqueous dispersions of chia (*Salvia hispanica* L.) mucilage. *J. Food Eng.* 149, 70–77. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.09.043>
- Capitani, M.I., Matus-Basto, A., Ruiz-Ruiz, J.C., Santiago-García, J.L., Betancur-Ancona, D.A., Nolasco, S.M., Tomás, M.C., Segura-Campos, M.R., 2016. Characterization of biodegradable films based on *Salvia hispanica* L. Protein and Mucilage. *Food Bioprocess Technol.* 9, 1276–1286. <https://doi.org/10.1007/s11947-016-1717-y>
- Carneiro-da-Cunha, M.G., Cerqueira, M.A., Souza, B.W.S., Souza, M.P., Teixeira, J.A., Vicente, A.A., 2009. Physical properties of edible coatings and films made with a polysaccharide from *Anacardium occidentale* L. *J. Food Eng.* 95, 379–385. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.05.020>
- Carneiro-Da-Cunha, M.G., Cerqueira, M.A., Souza, B.W.S., Teixeira, J.A., Vicente,

- A.A., 2011. Influence of concentration, ionic strength and pH on zeta potential and mean hydrodynamic diameter of edible polysaccharide solutions envisaged for multilayered films production. *Carbohydr. Polym.* 85, 522–528. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.03.001>
- Casariogo, A., Souza, B.W.S., Cerqueira, M.A., Teixeira, J.A., Cruz, L., Díaz, R., Vicente, A.A., 2009. Chitosan/clay films' properties as affected by biopolymer and clay micro/nanoparticles' concentrations. *Food Hydrocoll.* 23, 1895–1902. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.02.007>
- Castaño, R., Borrero, C., Trillas, M.I., Avilés, M., 2013. Selection of biological control agents against tomato *Fusarium* wilt and evaluation in greenhouse conditions of two selected agents in three growing media. *BioControl* 58, 105–116. <https://doi.org/10.1007/s10526-012-9465-z>
- Castillo, F., Hernández, D., Gallegos, G., Mendez, M., Rodríguez, R., Reyes, A., Aguilar, C.N., 2010. In vitro antifungal activity of plant extracts obtained with alternative organic solvents against *Rhizoctonia solani* Kühn. *Ind. Crops Prod.* 32, 324–328. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.05.013>
- Carnide, V., Barroso, M.D.R. 2006. Las cucurbitáceas: bases para su mejora genética. *Hortic. Int.* 53, 16–21.
- Cerqueira, M.A., Souza, B.W.S., Teixeira, J.A., Vicente, A.A., 2012. Effect of glycerol and corn oil on physicochemical properties of polysaccharide films - A comparative study. *Food Hydrocoll.* 27, 175–184. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.07.007>
- Cheng, S.Y., Wang, B.J., Weng, Y.M., 2015. Antioxidant and antimicrobial edible zein/chitosan composite films fabricated by incorporation of phenolic compounds and dicarboxylic acids. *LWT - Food Sci. Technol.* 63, 115–121. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.030>
- Coelho, M.S., Salas-Mellado, M.M., 2014. Chemical characterization of chia (*Salvia hispanica* L.) for use in food products. *J. Food Nutr. Res.* 2(5), 263–269. <https://doi.org/10.12691/jfnr-2-5-9>.
- Corpas, E., Tapasco, O., 2014. Hallazgos de la biosíntesis del etileno en frutas climatéricas y de los factores que afectan la ruta metabólica. *Aliment. Hoy* 22,

46–63.

- Costa, M.J., Cerqueira, M.A., Ruiz, H.A., Fougnyes, C., Richel, A., Vicente, A.A., Teixeira, J.A., Aguedo, M., 2015. Use of wheat bran arabinoxylans in chitosan-based films: Effect on physicochemical properties. *Ind. Crops Prod.* 66, 3050311. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.01.003>
- Cowan, M.M., 1999. Plant products as antimicrobial agents. *Clin. Microbiol. Rev.* 12, 564–582.
- Daglia, M., 2012. Polyphenols as antimicrobial agents. *Curr. Opin. Biotechnol.* 23, 174–181. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2011.08.007>
- Degáspari, C.H., Waszczyński, N., 2014. Propriedades antioxidantes de compostos fenólicos. *Visão Acadêmica* 5, 33–40. <https://doi.org/10.5380/acd.v5i1.540>
- Del-Valle, V., Hernández-Muñoz, P., Guarda, A., Galotto, M.J., 2005. Development of a cactus-mucilage edible coating (*Opuntia ficus indica*) and its application to extend strawberry (*Fragaria ananassa*) shelf-life. *Food Chem.* 91, 751–756. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.07.002>
- Díaz, H., 2013. Producción orgánica y calidad nutracéutica de frutos de pepino (*Cucumis sativus L.*) Bajo condiciones protegidas. Tesis Maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.
- Dick, M., Costa, T.M.H., Goma, 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>
- Ding, Y., Lin, H.W., Lin, Y.L., Yang, D.J., Yu, Y.S., Chen, J.W., Wang, S.Y., Chen, Y.C., 2018. Nutritional composition in the chia seed and its processing properties on restructured ham-like products. *J. Food Drug Anal.* 26, 124–134. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.12.012>
- Dixon, L.J., Schlub, R.L., Pernezny, K., Datnoff, L.E., 2009. Host specialization and phylogenetic diversity of *Corynespora cassiicola*. *Phytopathology* 99, 1015–1027. <https://doi.org/10.1094/phyto-99-9-1015>
- Djeridane, A., Yousfi, M., Nadjemi, B., Boutassouna, D., Stocker, P., Vidal, N., 2006.

- Antioxidant activity of some algerian medicinal plants extracts containing phenolic compounds. *Food Chem.* 97, 654–660. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.04.028>
- Droby, S., Wisniewski, M., Macarisin, D., Wilson, C., 2009. Twenty years of postharvest biocontrol research: Is it time for a new paradigm? *Postharvest Biol. Technol.* 52, 137–145. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2008.11.009>
- Droby, S., Wisniewski, M., 2018. The fruit microbiome: A new frontier for postharvest biocontrol and postharvest biology. *Postharvest Biol. Technol.* 140, 107–112. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.03.004>
- Du, W.X., Olsen, C.W., Avena-Bustillos, R.J., McHugh., T.H., Levin., C.E., Friedman, M., 2009. Effect of allspice, cinnamon, and clove bud essential oils in edible apple films on physical properties and antimicrobial activities. *J. Food Sci.* 74(7), M372–M378.
- Du, W.X., Olsen, C.W., Avena-Bustillos, R.J., Friedman., M., McHugh., T.H., 2011. Physical and antibacterial properties of edible films formulated with apple skin polyphenols. *J. Food Sci.* 76(2), M149–M155.
- Durango, A.M., Soares, N.F.F., Andrade, N.J., 2006. Microbiological evaluation of an edible antimicrobial coating on minimally processed carrots. *Food Control* 17, 336–341. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2004.10.024>
- Eshel, D., Regev, R., Orenstein, J., Droby, S., Gan-Mor, S., 2009. Combining physical, chemical and biological methods for synergistic control of postharvest diseases: A case study of black root rot of carrot. *Postharvest Biol. Technol.* 54, 48–52. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2009.04.011>
- Estrada, M., 2010. Estudio del efecto inhibitorio sobre *Penicillium expansum* en manzanas (*Malus domestica*) con cubiertas de chíá (*Salvia hispanica*), empleando antifúngicos. Tesis Licenciatura. Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.
- Fabra, M.J., Flores-López, M.L., Cerqueira, M.A., de Rodriguez, D.J., Lagaron, J.M., Vicente, A.A., 2016. Layer-by-Layer technique to developing functional nanolaminate films with antifungal activity. *Food Bioprocess Technol.* 9, 471–480. <https://doi.org/10.1007/s11947-015-1646-1>

- FAO, 2011. Global food losses and food waste. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0126>
- Feng, Z., Wu, G., Liu, C., Li, D., Jiang, B., Zhang, X., 2018. Edible coating based on whey protein isolate nanofibrils for antioxidation and inhibition of product browning. *Food Hydrocoll.* 79, 179–188. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.12.028>
- FHIA, 2018. Informe Anual. *J. Chem. Inf. Model.* 53, 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- 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.* <https://doi.org/10.1007/s12393-015-9135-x>
- Flores-López, M.L., Romaní, 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>
- García-Pardo, J., Cotabarren, J., Rivera, J.L., Obregón, W.D., Parisi, M.G., Tellechea, M., Rosso, A.M., 2018. Adding value to the chia (*Salvia hispanica* L.) expeller: Production of bioactive peptides with antioxidant properties by enzymatic hydrolysis with Papain. *Food Chem.* 274, 848–856. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.061>
- Gontard, N., Duchez, C., Cuq, J.-L., Guilbert, S., 1994. Edible composite films of wheat gluten and lipids: water vapour permeability and other physical properties. *Int. J. Food Sci. Technol.* 29, 39–50. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1994.tb02045.x>
- González, E., López, E.I.L., González, E.M.S., Tena, F.J.A., 2004. Plantas medicinales del estado de Durango y zonas aledañas. 1–210.
- Guerrero, J.C., Fernandez, E., Zamora, E. 2016. La mancha de la hoja del pepino *Corynespora cassiicola* (Berkeley & Curtis). 1–4. Universidad de Sonora. Departamento de Agricultura y Ganadería.
- Hocman, G., 1988. Chemoprevention of cancer: Phenolic antioxidants (BHT, BHA).

- Inter. J. Biochem. 20(7), 639-651.
- Huber, K.C., Embuscado, M., 2009. Edible films and coatings for food applications. Ed. Springer. Vol. 9. New York, NY, USA. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-92824-1>
- Hunter, R., 1981. Zeta potential in colloid science: Principles and applications (Vol. 2). Academic press.
- Jasso de Rodríguez, D., García, R. R., Castillo, F.H., González, C.A., Galindo, A. S., Quintanilla, J.V., Zuccolotto, L.M. 2011. *In vitro* antifungal activity of extracts of Mexican Chihuahuan desert plants against postharvest fruit fungi. Ind. Crops Prod. 34, 960–966. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.03.001>
- 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>
- Kollár, P., Hotolová, H., 2003. Biological effects of resveratrol and other constituents of wine. Ces. Slov. Farm. 52, 272–281. [https://doi.org/10.1016/S0380-1330\(01\)70632-6](https://doi.org/10.1016/S0380-1330(01)70632-6)
- Koocheki, A., Taherian, A.R., Bostan, A., 2013. Studies on the steady shear flow behavior and functional properties of *Lepidium perfoliatum* seed gum. Food Res. Int. 50, 446–456. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.05.002>
- 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>
- Latorre, D.L., Latorre, F.A., Dolores, L., Latorre, F.A., 1977. Plants used by the

- Mexican Kickapoo Indians. *Econ. Bot.* 31, 340–357.
- Li, H. Bin, Cheng, K.W., Wong, C.C., Fan, K.W., Chen, F., Jiang, Y., 2007. Evaluation of antioxidant capacity and total phenolic content of different fractions of selected microalgae. *Food Chem.* 102, 771–776. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.06.022>
- Martínez, M., Balois, R., Alia, I., Cortes, M., Palomino, Y., Lopez, G., 2017. Poscosecha de frutos maduración y cambios bioquímicos. *Rev. Mex. ciencias Agric.* 4075–4087.
- McCutcheon, A.R., Ellis, S.M., Hancock, R.E.W., Towers, G.H.N., 1994. Antifungal screening of medicinal plants of British Columbian native peoples. *J. Ethnopharmacol.* 44, 157–169. [https://doi.org/10.1016/0378-8741\(94\)01183-4](https://doi.org/10.1016/0378-8741(94)01183-4)
- McHugh, T.H., Avena-Bustillos, R., Krochta, J.M., 1993. Hydrophilic edible films: modified procedure for water vapor permeability and explanation of thickness effects. *J. Food Sci.* 58, 899–903. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1993.tb09387.x>
- Miramont, S., 2012. Recubrimientos elaborados a partir de biopolímeros para el soporte de sustancias con actividad antimicrobiana: carvacrol y sorbatos. Tesis Maestría. Universidad Tecnológica Nacional de Buenos Aires. Tecnología de Alimentos. Buenos Aires, Argentina.
- Mohammadi, A., Hashemi, M., Hosseini, S.M., 2015. Chitosan nanoparticles loaded with *Cinnamomum zeylanicum* essential oil enhance the shelf life of cucumber during cold storage. *Postharvest Biol. Technol.* 110, 203–213. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.08.019>
- Moraes, I.C.F., Fasolin, L.H., Cunha, R.L., Menegalli, F.C., 2011. Dynamic and steady-shear rheological properties of xanthan and guar gums dispersed in yellow passion fruit pulp (*Passiflora edulis* f.sp. *flavicarpa*). *Brazilian J. Chem. Eng.* 28, 483–494. <https://doi.org/10.1590/S0104-66322011000300014>
- Morales, G.C. 2018. Ácido elálgico como tratamiento para prolongar la vida útil de productos poscosecha enteros y/o procesados. Tesis Maestría. Centro de Investigación de Química Aplicada. Saltillo, Coahuila, México.
- 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
- Muñoz Hernández, L., 2012. Mucílago de semillas de chía (*Salvia hispanica*): microestructura, caracterización físico-química y aplicaciones en la industria alimentaria. Tesis Doctorado. Universidad de Santiago de Compostela. Santiago de Compostela, España.
- Muñoz, L.A., Aguilera, J.M., Rodríguez-Turienzo, L., Cobos, A., Díaz, O., 2012. Characterization and microstructure of films made from mucilage of *Salvia hispanica* and whey protein concentrate. *J. Food Eng.* 111, 511–518. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.02.031>
- Ncama, K., Magwaza, L.S., Mditshwa, A., Tesfay, S.Z., 2018. Plant-based edible coatings for managing postharvest quality of fresh horticultural produce: A review. *Food Packag. Shelf Life* 16, 157–167. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.03.011>
- Olivares, S.E., 1994. Paquete de diseños experimentales. FAUANL. Versión 2. Marín, NL, México.
- Ozdemir, M., Floros, J.D., 2008. Optimization of edible whey protein films containing preservatives for water vapor permeability, water solubility and sensory characteristics. *J. Food Eng.* 86, 215–224. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.09.028>
- Pastor, C., Sánchez-González, L., Chiralt, A., Cháfer, M., González-Martínez, C., 2013. Physical and antioxidant properties of chitosan and methylcellulose based films containing resveratrol. *Food Hydrocoll.* 30, 272–280. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.05.026>
- Quintero, C., Falguera, V., Muñoz, H., 2010. Películas y recubrimientos comestibles: Importancia y tendencias recientes en la cadena hortofrutícola. *Tumbaga* 1, 93–118.
- Ramos, M., Bautista, S., Barrera, L., 2010. Compuestos antimicrobianos adicionados en recubrimientos comestibles para uso en productos hortofrutícolas. *Rev. Mex. Fitopatol.* 28, 44–57.
- Rangel, D., 2004. Efecto de las condiciones de almacenamiento y el encerado en el

- estatus hídrico y la calidad poscosecha de pepino de mesa. *Rev. Fitotec. Mex.* 27, 157–165.
- Retana, K., Ramírez, J., Castro, O., Blanco, M., 2018. Caracterización morfológica y molecular de *Fusarium oxysporum f. sp. apii* asociado a la marchitez del apio en Costa Rica. *Agron. Costarric.: Rev. Cien. Agr.* 42, 115–126.
- Ruiz, M., Ávila, J., Ruales, J., 2016. Diseño de un recubrimiento comestible bioactivo para aplicarlo en la frutilla (*Fragaria vesca*) como proceso de poscosecha. *Rev. Iber.Tec. Post.* 17(2), 276-287.
- SAGARPA, 2018. Resumen Nacional Intención de siembra 2018. <http://infosiap.siap.gob.mx/opt/agricultura/intension/Intenci%C3%B3n%20de%20siembraOI%202018.pdf>
- Salas, M.G., Zugasti Cruz, A., Yesenia, S., Belmares, S., Urdiales, B.V., Herrera, R.R., Noé, C., González, A., Chávez, J.M., 2013. Actividad anticancerígena del ácido gálico en modelos biológicos *in vitro*. *Rev. Cien. Univ. Coahuila* 5, 5–11.
- Sánchez-Ortega, I., García-Almendárez, B.E., Santos-López, E.M., Amaro-Reyes, A., Barboza-Corona, J.E., Regalado, C., 2014. Antimicrobial edible films and coatings for meat and meat products preservation. *Sci. World J.*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/248935>
- Sasidharan, S., Chen, Y., Saravanan, D., Sundram, K.M., Latha, L.Y. 2011. Extraction, isolation and characterization of bioactive compounds from plants' extracts. *Afr. J. Tradit. Complem.*, 8(1), 93–130. https://doi.org/10.1007/978-3-642-56936-4_2
- Saxena, G., McCutcheon, A.R., Farmer, S., Towers, G.H.N., Hancock, R.E.W., 1994. Antimicrobial constituents of *Rhus glabra*. *J. Ethnopharmacol.* 42, 95–99. [https://doi.org/10.1016/0378-8741\(94\)90102-3](https://doi.org/10.1016/0378-8741(94)90102-3)
- Sharma, S.K., J., M.S., S. H., R.Z., 2003. Ingeniería de alimentos: Operaciones unitarias y prácticas de laboratorio. (No. 664 S32).
- Siemann, E., Creasy, L., 1992. Concentration of the phytoalexin resveratrol in wine. *Amer. J. Enol. Vit.* 43(1), 49–52.
- Solano-Doblado, L.G., Alamilla-Beltrán, L., Jiménez-Martínez, C., 2018. Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados. *TIP Rev. Espec. Ciencias Quím.-*

- Biol. 21, 30–42. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2018.0.153>
- Soto-García, M., Rosales-Castro, M., 2016. Efecto del solvente y de la relación masa/solvente, sobre la extracción de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante de extractos de corteza de *pinus durangensis* y *Quercus sideroxylla*. *Maderas Cienc. y Tecnol.* 18, 701–714. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2016005000061>
- Sperling, L.H., 2006. Introduction to physical polymer science. Ed. John y Wiley Sons, Inc., New Jersey, EU.
- Stuchell, Y., Krotcha, 1994. Enzymatic treatments and thermal effects on edible soy protein films. *J. Food Sci.* 59, 1332–1337. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1994.tb14709.x>
- Télles-Pichardo, R., Cruz-Aldaco, K., Ochoa-Reyes, E., Aguilar, C.N., Rojas, R., 2013. Cubiertas comestibles de cera y polifenoles de candelilla: Una alternativa de conservación de papaya (*Carica papaya* L.). *Acta Quím. Mex.* 5, 1–7.
- Torres-León, C., Rojas, R., Serna-Cock, L., Belmares-Cerda, R., Aguilar, C.N., 2017. Extraction of antioxidants from mango seed kernel: Optimization assisted by microwave. *Food Bioprod. Process.* 105, 188–196. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2017.07.005>
- Torres-León, C., Vicente, A.A., Flores-López, M.L., Rojas, R., Serna-Cock, L., Alvarez-Pérez, O.B., Aguilar, C.N., 2018. Edible films and coatings based on mango (var. Ataulfo) by-products to improve gas transfer rate of peach. *Lwt* 97, 624–631. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.07.057>
- Vélez, M., Campos, R., Sánchez, H., 2014. Use of plant secondary metabolites to reduce ruminal methanogenesis. *Trop. Subtrop. Agroecosystems* 17, 489–499.
- 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>
- Villa-Martínez, A., Pérez-Leal, E., Morales-Morales, M., M., B.-S., Martínez-Escudero, S., 2017. Situación actual en el control de *Fusarium* spp. y evaluación de la actividad antifúngica de extractos vegetales. *Acta Agron.*

64(2), 1–10.

- Wu, H.S., Wang, Y., Zhang, C.Y., Bao, W., Ling, N., Liu, D.Y., Shen, Q.R., 2009. Growth of *in vitro* *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* in chemically defined media amended with gallic acid. *Biol. Res.* 42, 297–304. <https://doi.org/10.4067/S0716-97602009000300004>
- Wu, T., McCallum, J.L., Wang, S., Liu, R., Zhu, H., Tsao, R., 2013. Evaluation of antioxidant activities and chemical characterisation of staghorn sumac fruit (*Rhus hirta* L.). *Food Chem.* 138, 1333–1340. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.10.086>
- Xingú López, A., González Huerta, A., De La Cruz Torres, E., Sangerman Jarquín, D.M., Orozco de Rosas, G., Rubí Arriaga, M., 2017. Chía (*Salvia hispanica* L.), situación actual y tendencias futuras. *Rev. Mex. Cienc. Agrí* 8, 1619. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i7.516>
- Yahia, E.M., Barry-Ryan, C., Dris, R. 2004. Treatments and techniques to minimise the postharvest losses of perishable food crops. *Prod. Pract. Qual. Assess Food Crops* 4, 95–13.
- Yamada, H., Takahashi, N., Hori, N., Asano, Y., Mochizuki, K., Ohkusu, K., Nishimura, K., 2013. Rare case of fungal keratitis caused by *Corynespora cassiicola*. *J. Infect. Chemother.* 19, 1167–1169. <https://doi.org/10.1007/s10156-013-0579-8>
- Yassin, H., Hussen, S., 2015. Review on role of grafting on yield and quality of selected fruit vegetables. *Glob. J. Sci. Front. Res.* 15.
- Yi, T., Miller, A.J., Wen, J., 2004. Phylogenetic and biogeographic diversification of *Rhus* (Anacardiaceae) in the Northern Hemisphere. *Mol. Phylogenet. Evol.* 33, 861–879. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2004.07.006>
- Yousuf, B., Qadri, O.S., Srivastava, A.K., 2018. Recent developments in shelf-life extension of fresh-cut fruits and vegetables by application of different edible coatings: LWT- *Food Sci. Technol.* 89, 198–209. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.10.051>
- Zamudio, B., Reyes, A., 2014. Producción de pepino bajo invernadero en valles altos del estado de México. *Ins. Nac. Inv. For. Agrí. Pec.* 56

- Zavaleta, J., Muñoz, A.M., Blanco, T., Alvarado-Ortiz, C., Loja, B., 2005. Capacidad antioxidante y principales ácidos fenólicos y flavonoides de algunos alimentos. *Hor. Med.* 5(2), 1–13.
- Zettel, V., Hitzmann, B., 2018. Applications of chia (*Salvia hispanica* L.) in food products. *Trends Food Sci. Technol.* 80, 43–50. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.07.011>
- Zhang, P., Whistler, R.L., 2004. Mechanical properties and water vapor permeability of thin film from corn hull arabinoxylan. *J. Appl. Polym. Sci.* 93, 2896–2902. <https://doi.org/10.1002/app.20910>
- Zhang, Y., Han, J.H., 2006. Mechanical and thermal characteristics of pea starch films plasticized with monosaccharides and polyols. *Food Eng. Phys. Prop. Mech.* 69, 449–454.