

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA



**Evaluación fisicoquímica, antimicrobiana y de funcionalidad
de recubrimientos comestibles de quitosán-extracto
etanólico de nurite (*Satureja macrostema*)**

Por:

Daniel Isaí Maldonado Martínez

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

AGOSTO, 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

Departamento de Ciencias Básicas

**Evaluación fisicoquímica, antimicrobiana y de funcionalidad
de recubrimientos comestibles de quitosán-extracto
etanólico de nurite (*Satureja macrostema*)**

T E S I S

Presentada por

DANIEL ISAÍ MALDONADO MARTÍNEZ

Y que somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial
para obtener el título profesional de

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA

Fue dirigida por el siguiente comité



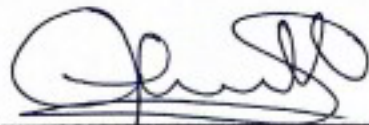
Dra. Sonia Noemí Ramírez Barrón

Asesor principal



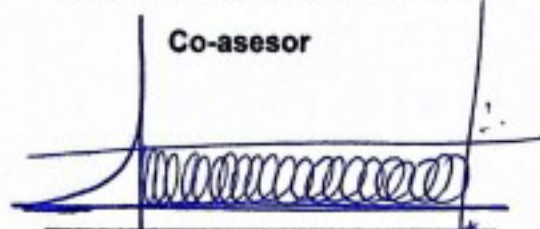
Dr. Mario Alberto Cruz Hernández

Co-asesor



Dra. Xochitl Ruelas Chacón

Co-asesor



Dr. Alberto Antonio Neira Vielma

Asesor externo

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Junio 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

Departamento de Ciencias Básicas

**Evaluación fisicoquímica, antimicrobiana y de funcionalidad
de recubrimientos comestibles de quitosán-extracto
etanólico de nurite (*Satureja macrostema*)**

T E S I S



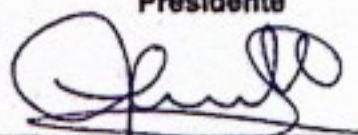

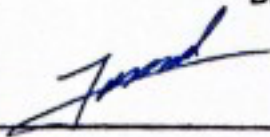
Presentada por

Daniel Isaí Maldonado Martínez

y que somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial
para obtener el título profesional de

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA

A P R O B A D A

 _____	 _____
Dra. Sonia Noemí Ramírez Barrón	Dr. Mario Alberto Cruz Hernández
Presidente	Vocal
 _____	 _____
Dra. Xochitl Ruelas Chacón	Dr. Alberto Antonio Neira Vielma
Vocal	Vocal suplente
 _____	
M.C. Sergio Sánchez Martínez	

Coordinador de la División de Ingeniería

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Junio 2025

DEDICATORIAS

A mi familia

A mis padres, por ser mi pilar más fuerte, por su amor incondicional, su apoyo constante y sus sacrificios silenciosos que hicieron posible este logro. A mis hermanos, por su compañía, por creer en mí y darme ánimos incluso en los momentos difíciles. Esta meta también es suya.

A mis maestros

A cada uno de los profesores que dejaron huella en mi formación. Gracias por compartir su conocimiento, por su exigencia, por sus palabras de aliento y por enseñarme no solo con libros, sino con el ejemplo. Su vocación ha sido clave en este camino.

A mi alma máter, la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Gracias por abrirme las puertas al conocimiento, por ser espacio de crecimiento personal, académico y profesional. Llevaré con orgullo el nombre de esta institución, que me brindó las herramientas para enfrentar los retos del futuro.

AGRADECIMIENTOS

Dedico y agradezco este trabajo, en primer lugar, a mis padres, **Laura Leticia y Juan Manuel**, por su amor incondicional, su apoyo constante y los sacrificios que han hecho a lo largo de mi vida para que hoy pueda alcanzar esta meta. Gracias por ser mi fortaleza, mi guía y mi ejemplo. A mi familia, por su cariño, comprensión y por estar presentes en cada etapa de este camino, aun en la distancia. Agradezco también a mis amigos **Max Sánchez, Ismael Herrera y Antonio Hernández**, quienes me acompañaron en este proceso con su amistad, consejos y apoyo sincero. Compartir este trayecto con ustedes lo hizo más llevadero y significativo. A mis maestros, por su compromiso con la enseñanza, por motivarme a dar lo mejor de mí y por compartir su conocimiento con dedicación y pasión. A cada uno de ellos les agradezco por contribuir a mi formación personal y profesional. Finalmente, a mi alma máter, la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, por brindarme las herramientas académicas y humanas necesarias para enfrentar los retos del futuro, por ser el espacio donde crecí, aprendí y me formé con orgullo. Cada experiencia vivida en esta institución quedará marcada en mi memoria como parte fundamental de esta etapa de mi vida.

CONTENIDO	
RESUMEN	viii
INTRODUCCIÓN	10
2. Objetivos.....	11
2.1 Objetivos generales.....	11
2.2 Objetivos específicos.....	11
3. Hipótesis.....	12
4. Justificación	13
REVISIÓN DE LITERATURA.....	14
5. Antecedentes.....	14
5.1. Recubrimiento comestible en alimentos para alargar la vida de anaquel.....	14
5.1.1 Técnicas de elaboración de recubrimientos y recubrimientos comestibles	15
5.2. Tipos de recubrimientos comestibles.....	16
5.3 Recubrimientos comestibles de quitosán antimicrobianos para alimentos	26
5.3.1 Propiedades del quitosano aplicado con aceites esenciales.....	26
5.3.2 Uso de aceites esenciales para alargar la vida anaquel de los alimentos	26
5.4. Recubrimientos comestibles del género <i>Satureja</i> como antimicrobianos para alimentos	28
METODOLOGÍA	31
6.1. Recolección del material vegetal	31
6.2. Obtención del extracto etanólico de <i>Satureja macrostema</i> (EESM) ..	31
6.3. Caracterización fitoquímica cualitativa del EESM.....	31
6.4. Caracterización estructural FT-IR del EESM	32
6.5. Evaluación antifúngica de EESM mediante medio envenenado.....	32

6.6. Preparación de los recubrimientos de quitosano-EESM.....	32
6.7. Caracterización fisicoquímica de los recubrimientos de quitosán-EESM	32
6.7.1. Determinación del espesor	33
6.7.2. Determinación de la opacidad	33
6.7.3. Determinación de la humedad.....	33
6.7.4. Determinación del grado de hinchamiento	34
6.7.5. Análisis termogravimétrico (TGA).....	34
6.7.6. Caracterización estructural por FT-IR.....	34
6.7.7. Microscopía electrónica de barrido.....	34
6.7.8. Determinación del punto de fusión mediante calorimetría diferencial de barrido	35
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
7.1. Obtención del extracto etanólico de <i>Satureja macrostema</i> (EESM) ..	36
7.2. Caracterización fitoquímica cualitativa del extracto etanólico de <i>Satureja macrostema</i>	36
7.3. Caracterización estructural FT-IR del extracto etanólico de <i>Satureja macrostema</i>	37
7.4. Actividad antifúngica de extractos etanólicos <i>Satureja macrostema</i> .	38
7.5. Caracterización fisicoquímica de recubrimientos de CH-EESM	39
7.5.1. Calorimetría diferencial de barrido (DSC).....	39
7.5.2. Análisis Termogravimétrico (TGA).....	40
7.5.3. Espectro Infrarrojo (FT-IR)	41
7.6. Microscopía electrónica de barrido	42
7.7 Otras propiedades físicas de CH-EESM.....	43
7.8 Determinación de la pérdida de peso de recubrimientos CH-EESM ..	44
CONCLUSIÓN	46
BIBLIOGRAFIA.....	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estructura del quitosano	18
Figura 2 Medición de recubrimientos	33
Figura 3 Espectro infrarrojo del extracto etanólico de hoja de Satureja macrostema	37
Figura 4 Hongo Fusarium, crecimiento en un periodo de 10 días.....	39
Figura 5 Hongo Alternaria, crecimiento en un periodo de 10 días.	39
Figura 6 Crecimiento de Fusarium durante 10 días. C (sin tratamiento), relación medio de cultivo-EESM (2 y 4 %).....	39
Figura 7 Crecimiento de Alternaria durante 10 días. C (sin tratamiento), relación medio de cultivo-EESM (2 y 4%).....	39
Figura 8 DSC de los recubrimientos de quitosán-extracto etanólico de Satureja macrostema.....	40
Figura 9 Termograma de recubrimientos de quitosán-extracto etanólico de Satureja macrostema.....	41
Figura 10 Espectro infrarrojo de los recubrimientos de CH-EESM. a) quitosán (CH), b) CH-EESM (1:1), c) CH-EESM (1:2.5) y d) CH-EESM (1:5).	42
Figura 11 Micrografías de la correspondiente a la sección transversal de los recubrimientos de CH-EESM, tomada en la zona de menor espesor (sin porosidad) a) CH, b) CH-EESM (1:1) c) CH-EESM (1:2.5) y d) CH-EESM (1:5)	43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tipos de recubrimientos comestibles y sus características	20
Tabla 2 Aceites para alargar la vida de anaquel de los alimentos	27
Tabla 3 Compuestos identificados por análisis fitoquímico cualitativo en el EESM.....	36
Tabla 4 Bandas características de los polifenoles y el quitosán.....	42
Tabla 5 Características físicas de la película quitosán-Satureja macrostema.	44
Tabla 6 Retención de peso de uvas recubiertas con CH-EESM a temperatura ambiente y en refrigeración durante 6 días.	45

RESUMEN

Los recubrimientos comestibles se aplican en alimentos principalmente para protegerlos y prolongar su vida útil. Entre ellos, los recubrimientos a base de quitosán (CH) son especialmente prometedores debido a sus propiedades filmogénicas y antimicrobianas. Estos recubrimientos contribuyen a extender la vida útil al reducir la oxidación, la pérdida de humedad y el crecimiento microbiano.

Con el objetivo de potenciar su actividad antimicrobiana, en este estudio el quitosán se combinó con extracto etanólico de *Satureja macrostema* (EESM), también conocida como té nurite, una planta originaria del centro y sur de México con reconocida actividad antimicrobiana según diversos autores. El EESM fue caracterizado mediante análisis fitoquímico cualitativo y espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR). Los resultados revelaron la presencia de polifenoles, así como de otros compuestos como carbohidratos, proteínas y fitoesteroles.

La actividad antifúngica del EESM se evaluó mediante la técnica de medio envenenado, observándose inhibición del crecimiento radial de *Fusarium oxysporum* y *Alternaria* spp. a concentraciones del 2% y 4%, efecto atribuido probablemente al contenido de polifenoles.

Los recubrimientos CH-EESM fueron caracterizados mediante FT-IR, calorimetría diferencial de barrido (DSC), análisis termogravimétrico (TGA) y microscopía electrónica de transmisión (TEM). Los resultados indicaron que la adición de EESM modifica el punto de fusión del recubrimiento y genera nuevas bandas en el espectro FT-IR. Las micrografías TEM revelaron una ligera incompatibilidad de fases debido a la incorporación del extracto.

Asimismo, se evaluaron propiedades fisicoquímicas como opacidad, porcentaje de humedad y capacidad de hinchamiento, observándose cambios significativos entre los tratamientos. Finalmente, se aplicaron los recubrimientos en uva de mesa verde para evaluar su funcionalidad. Se observó que al aumentar la concentración de EESM, disminuye la pérdida de peso del fruto durante el almacenamiento, lo cual podría atribuirse a

interacciones por puentes de hidrógeno entre el quitosán y los compuestos del EESM.

En conjunto, los resultados sugieren que los recubrimientos CH-EESM representan una alternativa viable como recubrimientos comestibles con propiedades antimicrobianas y funcionales mejoradas.

INTRODUCCIÓN

Ante la creciente necesidad de productos frescos durante todo el año, los recubrimientos comestibles se presentan como una opción viable. Estos recubrimientos son económicos en términos de producción y conservación, tienen un notable impacto en el mercado y son respetuosos con el medio ambiente, garantizando que sean biodegradables para preservar frutas y verduras. Esto contribuye a extender su vida útil en estanterías, además de ofrecer beneficios adicionales como aditivos, antioxidantes y propiedades antimicrobianas que ayudan a mantener los alimentos desinfectados por períodos más prolongados.

El quitosán y el nurite son dos componentes que exhiben propiedades antimicrobianas gracias a su composición química, lo que los convierte en candidatos idóneos para estudios sobre su eficacia. El nurite es una planta medicinal originaria de estados como Oaxaca, Michoacán y Jalisco. Su composición química puede variar debido a las diferentes condiciones ambientales presentes en cada región, lo que genera resultados diversos en los análisis realizados; sin embargo, esta planta cuenta con propiedades destacadas para su uso en la industria alimentaria. Entre estas propiedades se incluyen la actividad hepatoprotectora, nefroprotectora, antioxidante y anti-lipasa, todas ellas beneficiosas para la salud del consumidor.

2. Objetivos

2.1 Objetivos generales

Evaluar las propiedades fisicoquímicas, antimicrobianas y de funcionalidad de recubrimientos comestibles de quitosán-extracto etanólico de *Satureja macrostema* (CH-EESM)

2.2 Objetivos específicos

- Obtener un extracto etanólico a partir de hojas de té nurite (*Satureja macrostema*).
- Realizar la caracterización fisicoquímica del extracto obtenido mediante FT-IR y análisis fitoquímico cualitativo.
- Determinar la actividad antifúngica de diferentes concentraciones de extracto de nurite contra a *Alternaria* spp. y *Fusarium oxysporum*.
- Obtener recubrimientos de quitosán con diferentes concentraciones de extracto etanólico de hojas de *Satureja macrostema*.
- Caracterizar fisicoquímicamente los recubrimientos obtenidos
- Evaluar de la funcionalidad de los recubrimientos *in vivo* mediante la pérdida de peso en uva verde de mesa.

3. Hipótesis

La incorporación de un extracto etanólico de *Satureja macrostema* (EESM) en recubrimientos comestibles a base de quitosán mejorará sus propiedades antimicrobianas, fisicoquímicas y funcionales, lo que contribuirá a una mayor efectividad en la conservación postcosecha de frutas como la uva de mesa.

4. Justificación

La uva de mesa se posiciona como uno de los frutos más consumidos a nivel global. En este contexto, nuestro país se encuentra en el puesto 28 entre los productores, con una cifra de producción que alcanza las 407 mil toneladas anuales, según datos del SIAP correspondientes al año 2020. Las frutas y hortalizas frescas son organismos vivos; por lo tanto, poseen una alta perecibilidad y un tiempo limitado de almacenamiento postcosecha [1]. Para extender la vida útil de estos productos, se han desarrollado diversas tecnologías que incluyen el uso de bajas temperaturas (refrigeración y congelación), la inmersión en aditivos químicos, la creación de atmósferas modificadas, el envasado al vacío y la aplicación de recubrimientos comestibles ya sea de forma individual o combinada. El objetivo principal de estas técnicas es reducir las pérdidas que ocurren durante el manejo, transporte y almacenamiento posterior a la cosecha [2].

El nurite (*Satureja macrostema*) es una planta dotada de propiedades singulares que permiten la elaboración de un recubrimiento protector contra hongos y bacterias mediante el uso de quitosano y extracto vegetal. Esta innovación puede ofrecer beneficios económicos significativos a las comunidades que se dedican a su cultivo.

REVISIÓN DE LITERATURA

5. Antecedentes

5.1. Recubrimiento comestible en alimentos para alargar la vida de anaquel

A lo largo del tiempo, se han desarrollado diversas técnicas y métodos de conservación con el objetivo principal de extender la vida útil de los productos en estantería. Esto ha impulsado la búsqueda constante de nuevas estrategias para preservar las características físicas, organolépticas y nutricionales en condiciones óptimas. Los recubrimientos biodegradables y comestibles están compuestos por polímeros naturales e ingredientes funcionales [3][4].

Los recubrimientos comestibles se elaboran a partir de polisacáridos, proteínas y lípidos. Su función es proporcionar una barrera contra diferentes gases atmosféricos, así como la humedad, el oxígeno y el dióxido de carbono; también protegen contra microorganismos, reduciendo así la respiración y las reacciones oxidativas que contribuyen al deterioro alimentario [5]. Además, estos recubrimientos pueden servir como portadores de aditivos antioxidantes, sabores, colorantes, elementos nutricionales y antimicrobianos [3].

Según la naturaleza de sus componentes, los recubrimientos se dividen en tres categorías principales: hidrocoloides o gomas naturales (que incluyen proteínas y polisacáridos como alginatos), lípidos (formados por ácidos grasos, acilgliceroles o ceras) y sus combinaciones. Actualmente, la mayoría de los recubrimientos aplicados a productos son mezclas diseñadas para optimizar resultados [5].

En el sector alimentario, se emplean recubrimientos basados en activos biológicos que ofrecen numerosas ventajas debido a las propiedades que aportan a la matriz alimentaria. Estas incluyen su comestibilidad, biocompatibilidad, atractivo visual y capacidad de actuar como barrera frente

a microorganismos patógenos; además son no tóxicos, no contaminantes y económicos [6].

Un recubrimiento comestible consiste en una fina capa de material que se forma directamente sobre la superficie del alimento, creando una barrera protectora que puede ser consumida junto con el producto. Por otro lado, una película es también delgada pero preformada; está hecha con materiales aptos para consumo y se coloca sobre el alimento como un envoltorio adherente. La aplicación del recubrimiento ocurre en forma líquida mediante inmersión o pulverización; mientras que los recubrimientos comestibles pueden ser preformados en láminas sólidas antes de su aplicación sobre los alimentos [7]. Los componentes esenciales de estos recubrimientos son: polímero, disolvente y plastificante [8].

5.1.1 Técnicas de elaboración de recubrimientos y recubrimientos comestibles

Eliminación del disolvente

En este procedimiento, se genera y estabiliza una estructura molecular a través de interacciones tanto físicas como químicas. La disolución que forma el hidocoloide comestible se mezcla con un disolvente (agua, etanol, ácido acético) que contiene aditivos como plastificantes, agentes de reticulación o solutos. Posteriormente, se elimina el disolvente, lo que da lugar a la formación de una capa delgada que se seca y puede ser desprendida [9].

Gelación térmica

La aplicación de un tratamiento térmico en este proceso permite la creación de un gel estable con una estructura rígida. Generalmente, estos gels se utilizan para recubrimientos y coberturas elaboradas a partir de proteínas. Este proceso implica la desnaturalización térmica de las moléculas proteicas, provocando una inestabilidad que conduce a la formación de una red estable entre las partículas [10].

Solidificación

En este método, las macromoléculas junto con el plastificante son disueltas hasta alcanzar una homogeneidad y luego son vertidas en capas finas sobre moldes [11].

Casting

Una vez completada la disolución de los componentes de la película, el siguiente paso es evaporar el disolvente bajo condiciones controladas de temperatura y humedad, lo cual resulta en la creación de la película [11], [12].

Micro fluidización

Este proceso implica hacer pasar dispersiones a través de microcanales, permitiendo obtener nanopartículas que mejoran las características físicas de la película. Posteriormente, se aplica el método de casting para formar dicha película.

Pulverización electro hidrodinámica

Este método atomiza el líquido formador de la película utilizando fuerzas eléctricas; el líquido es expulsado a través de una boquilla cargada eléctricamente. La ventaja principal radica en que las gotas producidas son extremadamente pequeñas, alcanzando tamaños nanométricos. Además, tanto el tamaño como la carga pueden ser controlados mediante técnicas eléctricas [13].

5.2. Tipos de recubrimientos comestibles

Convencionalmente se desarrollan los recubrimientos comestibles a base de plásticos, representando un consumo alto de petróleo, esto afecta negativamente a la naturaleza por las emisiones de carbono en la tierra.

Nuevas investigaciones y mejora han optado por el desarrollo de recubrimientos y recubrimientos comestibles biodegradables que no contamine el medio ambiente. Los recubrimientos comestibles son elaborados a base de los siguientes componentes: polisacáridos, proteínas y lípidos [9].

5.2.1. Polisacáridos

Se clasifican como polisacáridos de almidón y polisacáridos sin almidón. La soluciones y dispersiones acuosas de polisacáridos hidrofílicos de cadena

larga ayudan a mejorar la viscosidad de las soluciones, la dureza, la textura y la adhesividad [14].

Los polisacáridos sin almidón se clasifican como celulosa y derivados (carboximetilcelulosa, hidroxipropilcelulosa, metilcelulosa, hidroxipropilmetilcelulosa, celulosa microcristalina, quitosano, goma gellan), extractos de algas marinas (carragenanos, alginatos, agar, furcellarén, pectina), goma de fermentación microbiana (goma xantana), gomas de exudado (goma arábica, goma tragacanto, goma karaya) y gomas de semillas (goma de tamarindo, goma guar, goma de algarroba) [14].

- **Carragenina**

Es un polisacárido de cadena lineal soluble en agua, se extrae de las paredes celulares de las algas rojas. [8] Se usa como espesante y estabilizante en la industria de los alimentos. Estructuralmente está formado por unidades de galactosa y anhidro galactosa, unidas por enlaces glucosídicos [15].

- **Quitosano o quitosán**

En la industria el quitosano es obtenido mediante un proceso de desacetilación parcial de la quitina, la quitina forma parte del exoesqueleto de algunas especies marinas como el camarón y el cangrejo, aunque también se encuentra en las paredes celulares de hongos pertenecientes al género Zygomycetes y en algas verdes.

El grupo amino en el quitosano posee una ligera carga positiva y es soluble en medios ácidos o en soluciones neutras. En otras palabras, es un bioadhesivo y puede ligarse a las superficies cargadas negativamente tales como las membranas mucosas. Debido a esta propiedad, facilita el transporte de activos polares a través de las superficies epiteliales, además es biocompatible, biodegradable y no tóxico, estas propiedades hacen al quitosano un candidato ideal para implementarse en el cuidado de los alimentos.

Su estructura molecular es la de un polisacárido lineal que consta de 2-amino-desoxi-β-d-glucano con enlace (1,4), es el segundo polisacárido más abundante que se encuentra en la naturaleza después de la celulosa y es estructuralmente similar a la celulosa, es biodegradable, biofuncional, biocompatible y varios investigadores informaron que tiene fuertes actividades antimicrobianas y antifúngicas [6].

Estructuralmente, el quitosano es un copolímero de cadena lineal, está compuesta por D-glucosamina y N-acetil-D-glucosamina la cual se obtiene por medio de la desacetilación parcial de la quitina [16].

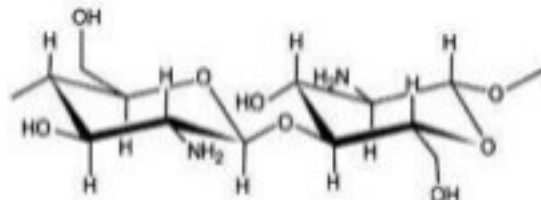


Figura 1 Estructura del quitosano

- **Alginato**

Los alginatos son los polisacáridos más abundantes presentes en las algas marinas. Comprenden hasta 40% de su peso seco. Son los componentes estructurales de la pared celular de las algas, cuya función principal es dar rigidez, elasticidad, flexibilidad y capacidad de enlazar agua [16].

Este se extrae de algas pardas y es biodegradable, su naturaleza iónica lo hace altamente soluble en agua, las recubrimientos y recubrimientos son transparentes y de buena calidad, proporciona propiedades de barrera los factores externos, dificulta la entrada de humedad, grasas, humedad y oxígeno [14]

- **Agar**

Biopolímero marino que se extrae de las algas rojas, Los polisacáridos de agar forman parte de la estructura de la pared celular de las algas. Forma recubrimientos de buena calidad, una desventaja es que son muy frágiles y no poseen propiedades de barrera contra la humedad y estabilidad térmica. [8]

Químicamente el agar es un polímero de subunidades de galactosa; en realidad es una mezcla heterogénea de dos clases de polisacáridos: agarpectina y agarosa.

- **Pectina**

Es un heteropolisacárido y se extrae de plantas y frutas. Los recubrimientos y recubrimientos comestibles de pectinas tienen buenas propiedades mecánicas. Además, las propiedades mecánicas de los recubrimientos y recubrimientos comestibles a base de pectina se pueden adaptar mezclándolas con proteínas y polisacáridos.

- **Hongos**

Los polisacáridos de los hongos se extraen de los cuerpos fructífero y el micelio del hongo. El hongo más utilizado es el *pleurotus ostreatus* conocido con el nombre común seta. El polisacárido posee excelentes propiedades nutricionales, biológicas, antioxidantes, antiinflamatorias, entre otras. Los recubrimientos y recubrimientos hechos a base de este tipo de polisacáridos cuentan con excelentes propiedades de barrera contra el oxígeno y la humedad [14].

Tabla 1 Tipos de recubrimientos comestibles y sus características

Familia bioquímica	Material	Características
Polisacárido animal	Quitina y quitosano	<ul style="list-style-type: none"> • Disminuye la presión parcial de oxígeno en el paquete. • Retrasa el pardeamiento enzimático de las frutas, promueve el sabor natural, controla la respiración, disminuye la deshidratación y por lo tanto mejora el efecto emulsionante. • Regula la humedad entre los alimentos y el ambiente manteniendo la temperatura. • Buena resistencia al oxígeno, grasa y aceite. Sensible a la humedad.
Polisacáridos vegetales	CMC	<ul style="list-style-type: none"> • Inodoro e insípido. • Biodegradable. • Mala barrera al vapor de agua. • En particular, la carboximetilcelulosa tiene excelentes propiedades de formación de película y de gelificación térmica.
	Almidón	<ul style="list-style-type: none"> • Translúcido o transparente. • Incoloro, insípido y sin sabor.
	Pectina	<ul style="list-style-type: none"> • Se utiliza como estabilizador, espesante y agente gelificante. • Excelentes propiedades mecánicas. • Excelente barrera al aceite, oxígeno y aroma. • Baja resistencia a la humedad.
Polisacáridos marinos	Goma arábica	<ul style="list-style-type: none"> • Disminuye la tasa de respiración en frutas y la producción de etileno.
	Alginato	<ul style="list-style-type: none"> • Aumenta la barrera de agua, manteniendo el sabor. • Retrasa la oxidación lipídica. • Bajas barreras de vapor de agua.

Polisacáridos microbianos	Carrageninas	<ul style="list-style-type: none"> • Protege contra la deshidratación superficial.
	Pululano	<ul style="list-style-type: none"> • Inodoro, insípido e incoloro. • Termosellables. • No muy permeable al oxígeno y al aceite, pero permeable al agua.
	Gellán	<ul style="list-style-type: none"> • Gel duro y quebradizo. • Eficiente en verduras recién cortadas.
	Goma xantana	<ul style="list-style-type: none"> • Eficaz sobre fruta recién cortada. • Retrasa el proceso de maduración.
Lípidos	Aceite y grasas	<ul style="list-style-type: none"> • Resistente al agua. • Barrera de vapor de agua.
	Aceites esenciales	<ul style="list-style-type: none"> • Actividad antimicrobiana. • Propiedades antioxidantes.
	Ceras	<ul style="list-style-type: none"> • Reduce la permeabilidad a la humedad.
	Resinas	<ul style="list-style-type: none"> • Imparte hidrofobia. • Buenas barreras de vapor de agua y gas. • Previene la senescencia.
	Plastificantes	<ul style="list-style-type: none"> • Aumenta la fuerza y la flexibilidad. • Aumenta la permeabilidad al gas y al agua.
	Emulsionantes	<ul style="list-style-type: none"> • Disminuye la tensión superficial. • Evita la separación de fases.
	Proteínas de leche	<ul style="list-style-type: none"> • Se utiliza como barrera contra la humedad. Excelentes propiedades de barrera a los gases. • Baja resistencia al vapor de agua de los recubrimientos de proteína. • Baja resistencia mecánica.
Proteína		

-
- Abundante y barato.

Gelatina

- Se utiliza como barrera contra la humedad. Impresionantes propiedades de barrera de gas.
- Poca resistencia al vapor de agua.
- Alto espesor de película.

Proteína de soja

- Se utiliza como barrera contra la humedad. Buenas propiedades de barrera a los gases. Poca resistencia al vapor de agua.
 - Baja resistencia mecánica.
 - Aplicaciones bajas.
-

[15]

5.2.1. Lípidos

Aceites esenciales

Constituyen de 85 a 99% de compuestos volátiles, las cuales van a modificarse por la fuente en particular, la ubicación geográfica, las condiciones ambientales, estos factores determinarán la composición de los metabolitos secundarios. En general los aceites esenciales consisten en una gran variedad de sustancias químicas volátiles, en ellos se encuentran los terpenos, alcoholes, cetonas, fenoles, aldehídos y aminas.

La incorporación de los aceites esenciales para la elaboración de recubrimientos y recubrimientos comestibles promueve la actividad antioxidante, actividad antimicrobiana [17].

5.3 Antimicrobianos empleados en la formación de recubrimientos y recubrimientos comestibles.

Tanto los recubrimientos comestibles como los recubrimientos comestibles pueden servir como portadores de compuestos antimicrobianos que reducirá el crecimiento de patógenos en la superficie del alimento.

Alguno de los conservantes y antimicrobianos más utilizados son: benzoatos [7], propionatos, sorbato, parabeno, entre otros. Los conservadores naturales que se utilizan son los aceites esenciales[7].

- **Benzoato de sodio**

Es el compuesto más utilizado en los recubrimientos comestibles ya que es soluble en la mayoría de las soluciones y permanece activo después de la preparación, ideal para alimentos ligeramente ácidos ya que reduce el pH intracelular y esto causa que hongos y bacterias no pueden reproducirse. La actividad antimicrobiana está relacionada con el pH [9].

- **Ácido sórbico y sorbato de potasio**

El ácido sórbico es un compuesto mono carboxílico de cadena lineal tiene un amplio espectro de acción frente a mohos, a partir de la inhibición de enzimas como la enolasa y la lacto deshidrogenasa. El sorbato de potasio es muy soluble en agua, teniendo mayor actividad antimicrobiana a pH bajos, por lo tanto, recubrimientos comestibles que contienen sorbato de potasio suelen ser más eficaces en valores de pH inferiores a 6,0[9]

- **Ácido propiónico**

El ácido propiónico o sus sales son conservantes conocidos por capacidad de inhibir un gran número de microorganismos [9].

- **Parabenos**

Los compuestos que poseen una cadena de quilo más larga presentan mayor actividad antimicrobiana que aquellos que tienen una cadena de alquilo más corta. Los parabenos de metilo, etilo, propilo y butilo inhiben completamente el crecimiento de bacterias gram positivas y gram negativas debido a la polaridad que posee, siempre y cuando estén a concentraciones adecuadas, Este compuesto es generalmente más activo contra los mohos y levaduras [9]

- **Ácidos grasos libres y sus esteres**

Las bajas concentraciones son inhibidores para los microorganismos, específicamente bacterias gram positivas y levaduras. Los ácidos grasos y los poli-glicéridos se agregan a las recubrimientos y recubrimientos comestibles para disminuir la permeabilidad al vapor de agua. [12]

- **Ácido acético**

Es el componente principal del vinagre, es producido por especies *Acetobacter*. El ácido acético y el diacetato de sodio. Se han empleado en muchos alimentos, por su actividad contra diversas bacterias patógenas y de deterioro. Este ácido se utiliza para acidificar recubrimientos comestibles preparadas a partir del quitosano, alginato, y colágeno. Su adición aumenta la actividad de otros agentes antimicrobianos como el ácido sórbico y ácido benzoico, las que pueden incorporarse en recubrimientos comestibles. [12]

- **Ácido láctico**

El ácido láctico es producido naturalmente por las bacterias ácido-lácticas durante la fermentación, se emplea principalmente para mejorar y controlar la calidad y estabilidad microbiana de los alimentos. Se maneja como acidulante en recubrimientos de quitosano y colágeno y para modificar la resistencia a romperse bajo tensión.

- **Nisina**

La Nisina fue la primera bacteriocina utilizada en la industria alimentaria. Es una proteína de 34 aminoácidos producida por *Lactococcus lactis subsp. Lactis*. Posee características anfílicas, inhibe una amplia gama de bacterias

grampositivas. Actualmente es uno de los bactericidas más investigado para la elaboración de recubrimientos comestibles.

- **Pediocina**

La pediocina es una bacteriocina producida por *Pediococcus aci-dolactic*, su uso en la elaboración de recubrimientos comestibles se debe a su amplio espectro de actividad antimicrobiana y su eficacia en un amplio rango de pH. La actividad antimicrobiana se conserva 100 °C, se reduce a 121°C, siendo más evidente a valores de pH entre 4 y 7.

- **Lisozima**

La lisozima es una enzima que comprende 129 aminoácidos, la lisozima comercial es estable en calor, pero se inactiva a temperaturas bajas. Es más activa contra bacterias grampositivas.

- **Aceites esenciales**

Los aceites esenciales son responsables del olor, aroma y sabor de las especias y hierbas. Estos compuestos al agregarlos los recubrimientos comestibles modifican las características sensoriales del alimento. Los recubrimientos que contienen estos compuestos solubles en etanol muestran actividad contra bacterias grampositivas y Gram negativas.

- **Cloruro de sodio**

El cloruro de sodio es un compuesto que ha sido reconocido como conservante de alimentos desde la antigüedad. La mayoría de los patógenos bacterianos transmitidos por los alimentos son susceptibles a concentraciones elevadas de sal. La incorporación de sal en recubrimientos a base de proteínas como agente microbiano tiene un uso limitado porque las propiedades físicas se alteran con el aumento de la fuerza iónica de la solución de la película. En este proceso los recubrimientos empiezan a formar geles turbios y opacos con alta capacidad de retención de agua.

5.3 Recubrimientos comestibles de quitosán antimicrobianos para alimentos

Una alternativa con potencial para la conservación de frutas y vegetales frescos es la implementación de recubrimientos comestibles multicomponentes, los cuales pueden elaborarse con ingredientes adecuados al producto para brindarle la protección de barrera deseada y además, sirven como transporte para aditivos específicos que refuerzan su funcionalidad tales como antioxidantes, colorantes y antimicrobianos, que en el caso de estos últimos se evitaría el crecimiento de microorganismos patógenos en la superficie de los productos vegetales [18].

El quitosano inhibe el crecimiento de bacterias y hongos desestabilizando sus membranas celulares, esto debido a que su estructura molecular le permite interactuar con microorganismos, impidiendo su adhesión a las superficies e interfiriendo en los mecanismos metabólicos de estos.

5.3.1 Propiedades del quitosano aplicado con aceites esenciales

Una de las características de los aceites esenciales son las propiedades ópticas que este brinda a el recubrimiento comestible, en uno de los estudios que Xinhui Zhang y col realizaron, se menciona que, con la aplicación de aceite de romero, se redujo la transmisión de luz ultravioleta hasta a un 25%.

5.3.2 Uso de aceites esenciales para alargar la vida anaquel de los alimentos

Dado que los aceites esenciales son ricos en antioxidantes, se utilizan regularmente en recubrimientos y recubrimientos comestibles. La actividad antioxidante de los aceites esenciales se expresa por su capacidad de actuar como captador de oxígeno y permitir la difusión de agentes activos en productos alimenticios [19].

Tabla 2 Aceites para alargar la vida de anaquel de los alimentos

Aceite esencial	Polímero	Resultado
Eugenol	Almidón de pectina de quitosano	<ul style="list-style-type: none"> • Propiedades funcionales mejoradas de la película, propiedades antimicrobianas y antioxidantes mejoradas.
Satureja khuzestan-ica	Kefiran	<ul style="list-style-type: none"> • Demostro actividad antimicrobiana contra S. aureus y E. Coli.
	Carboximetilcelulosa	<ul style="list-style-type: none"> • Propiedades antioxidantes mejoradas
Eugenol y/o aceite esencial de jengibre	Quitosano	<ul style="list-style-type: none"> • Barrera de luz UV-Vis mejorada y propiedades antioxidantes
	Gelatina	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de la rugosidad de la superficie de la película.
Aceite de romero, aceite de menta	Pectina de quitosano y polímero de almidón	<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia a la tracción reducida y propiedades de barrera contra el agua. • Flexibilidad mejorada Zona de inhibiciones frente a B. subtilis , E. coli y L. monocytogenes aumentada al menos en un 40 %
Aceites esenciales de laurel	Recubrimientos de polietileno (PE) recubiertas de quitosano	<ul style="list-style-type: none"> • Fuerte actividad antimicrobiana. • Amplia el período de almacenamiento de la

[14]

5.4. Recubrimientos comestibles del género *Satureja* como antimicrobianos para alimentos

El estudio realizado por Evanthia Choulitoudi y col, se demostró que la actividad antimicrobiana y antioxidante de *Satureja thymbra* en el recubrimiento comestible de filetes de dorada hizo vida útil un 35% más largo debido al efecto antimicrobiano [20]. El extracto de *Satureja macrostema* tiene también propiedades antioxidantes, lo que ayuda a prevenir la oxidación de los alimentos, otro factor que contribuye a su deterioro. Esto aumenta aún más su potencial como recubrimiento comestible.

- ***Satureja hortensis*** (majorana o menta romana)

Esta especie es bastante conocida en la gastronomía y también por sus propiedades medicinales. El aceite esencial de *Satureja hortensis* contiene compuestos como el carvacrol, el timol y el p-cimeno, los cuales tienen propiedades antimicrobianas y antioxidantes.

- ***Satureja viridis*** (menta verde o hierba buena verde)

Los extractos de *Satureja viridis* han sido combinados con quitosano y otros biopolímeros en estudios para evaluar su eficacia en la protección contra bacterias y hongos en productos frescos, especialmente frutas y vegetales.

El uso de especies del género *Satureja* para el desarrollo de recubrimientos comestibles está en auge, y varias de ellas, como *Satureja hortensis*, *Satureja thymbra* y *Satureja montana*, han mostrado ser muy efectivas debido a sus compuestos activos (como carvacrol y timol). Estos recubrimientos no solo protegen los alimentos de la contaminación microbiana, sino que también

poseen propiedades antioxidantes que contribuyen a extender la vida útil de los productos alimenticios.

- **Satureja macrostema**

Esta planta crece de manera natural entre los 2345 msnm y 2900 msnm. Fue localizada en parajes específicos conocidos localmente como Mogote del Chaneque, Nevería, Nerela, Jarro Grande, Jarro Chico y Tierra Colorada. El poleo se distribuye de manera discontinua por debajo del dosel vegetal principal, por lo tanto, es una especie que forma parte del sotobosque. Ahí se presentan condiciones específicas que favorecen su crecimiento. Generalmente estos espacios albergan una alta riqueza florística endémica.

Importancia del té nurite en las comunidades rurales de Oaxaca.

Se identificaron cuatro usos principales a la planta de nurite: ritual y ornamental (para fiestas comunitarias); alimenticio y medicinal (para uso familiar). Es decir, el poleo es una planta del espacio público (ritual y ornamental) y del privado (medicinal y alimenticio). Puesto que los hombres están culturalmente asociados con el primero, y las mujeres con el segundo, los usos de la planta también están diferenciados por género.

La comercialización está predominantemente en manos femeninas, específicamente de las “viudas”, es decir, mujeres adultas con hijos/as y sin pareja. El poleo ingresa al mercado regional en condiciones de informalidad y bajo precio, pero su trueque o venta aporta diversidad a la dieta y es un buen ejemplo de la amplia gama de actividades de subsistencia que realizan las mujeres de comunidades forestales del país [21].

Propiedades antimicrobianas de la *satureja macrostema*

La planta Nurite (*Satureja macrostema Benth, Briq*) es usada en la medicina tradicional como carminativo, digestivo y usado para aliviar los cólicos , actualmente constituye no solo el rescate de un rico acervo cultural, sino también una alternativa de solución a los problemas en el campo de la salud

pública y es objeto de investigación científica en la actualidad ya que recientemente se ha demostrado que es una fuente rica en compuestos fenólicos como la flavanona N y Naringenina, Hesperidina el principal componente del aceite esencial es la 1-Mentona, también contiene piperitenona terpenos, pulegona, limoneno, linalol todos estos compuestos son estudiados por su actividad antioxidante y antimicrobiana [22].

Aplicaciones de la *Satureja macrostema* en alimentos

Los principales compuestos del aceite esencial del nurite que, en general son terpenos y fenólicos. Debido a que contiene este tipo de metabolitos, el nurite muestra un alto potencial para ser utilizado en la industria alimentaria como conservador de alimentos, por su actividad antimicrobiana, antioxidante. Debido a estas propiedades podríamos tener un producto alimenticio adicionado con extractos derivados del nurite o de los compuestos que contiene, con el objetivo de reforzar el sabor, como antimicrobiano y para proporcionar sus propiedades funcionales y nutraceuticas.

Propiedades antioxidantes de la *Satureja macrostema*

La actividad antioxidante de las plantas se atribuye a sus metabolitos secundarios (flavonoides, carotenoides y las vitaminas E y C) cuyo modo de acción se basa en detener o prevenir la oxidación de ácidos grasos, y por consiguiente la formación de radicales libres, los cuales encabezan reacciones en cadena capaces de alterar a las células de los tejidos vivos. Las propiedades antioxidantes de *Satureja macrostema* está asociada al contenido fenólico, lo que ayuda a prevenir la oxidación de los alimentos, otro factor que contribuye a su deterioro. Esto aumenta aún más su potencial como recubrimiento comestible.

METODOLOGÍA

6.1. Recolección del material vegetal

La recolección de las hojas de *S. macrostema* se realizó en el mes de julio de 2024 en la comunidad de Santa María Tlahuitoltepec, Mixe, Oaxaca (17° 03' - 17° 10' de latitud norte y 96° 03' - 96° 05' de longitud oeste).

Las hojas se secaron a temperatura ambiente mediante radiación solar durante 8 días y luego se molieron con un molino de laboratorio automático pro-01, a una velocidad de 2500 rpm, durante 5 minutos, y posteriormente se cernió con tamices Tyler con una apertura de malla No. 60 y el polvo resultante se almacenó a temperatura ambiente hasta su posterior uso.

6.2. Obtención del extracto etanólico de *Satureja macrostema* (EESM)

La extracción fue realizada por el método de reflujo donde se utilizaron 20 g de muestra seca y tamizada en 2000 mL de alcohol etílico al 96%. Ambas se agregaron a un matraz de tres bocas con una capacidad de 3000 mL, se calentaron a temperatura de 60°C durante 2 h. La solución obtenida se filtró y se concentró en un rotaevaporador (marca), el extracto fue almacenado a una temperatura de 4°C hasta su posterior uso.

6.3. Caracterización fitoquímica cualitativa del EESM

El extracto resultante se sometió a un análisis fitoquímico cualitativo preliminar, donde se prepararon soluciones del extracto a 1 mg/mL en etanol. El análisis se realizó por triplicado en una placa de porcelana de doce pozos, en la que se colocaron 50 µL de las muestras, posteriormente se agregaron 60 µL del reactivo específico para la identificación de cada compuesto evaluado, los cuales fueron, insaturaciones, oxhidrilos fenólicos, grupo carboxilo, fitoesteroles, esteroides, cumarinas y lactonas, flavonoides, alcaloides, azúcares y saponinas [23]

6.4. Caracterización estructural FT-IR del EESM

El análisis infrarrojo fue realizado empleando un espectrómetro marca Thermo Fisher modelo Nicolet iS50 323/5000, en el cual, se prepararon tabletas prensadas con 0.1% de la biopelícula en KBr y se llevaron al módulo de transmisión del espectrómetro FT-IR, en un rango de 400 a 4000 cm^{-1} con resolución de 4 cm^{-1} .

6.5. Evaluación antifúngica de EESM mediante medio envenenado

La evaluación de la actividad antifúngica se llevó a cabo contra *Fusarium oxysporum* y *Alternaria* spp. El ensayo se realizó utilizando la técnica de medio envenenado, empleando agar papa dextrosa (PDA) como medio de cultivo, en el cual se evaluaron dos concentraciones diferentes de los EESM (2 y 4%). Los hongos fueron inoculados en el medio mediante un explante de 5 mm y posteriormente incubados a 27 °C durante 10 días. Durante el periodo de incubación, se midió el crecimiento radial del hongo como indicador de la actividad antifúngica.

6.6. Preparación de los recubrimientos de quitosano-EESM

Se prepararon cuatro soluciones con diferentes concentraciones, variando la relación entre quitosán (g) y el extracto etanólico de *Satureja macrostema* (EESM, mL). La solución CH, utilizada como testigo, consistió únicamente en quitosán. Las demás soluciones se prepararon con las siguientes proporciones: CH-EESM (1:1), CH-EESM (1:2.5) y CH-EESM (1:5).

6.7. Caracterización fisicoquímica de los recubrimientos de quitosán-EESM

6.7.1. Determinación del espesor

El espesor de la película se obtuvo utilizando un micrómetro, con un rango de 0 a 12.7 mm con una precisión de 0.001 mm, tal como se muestra en la siguiente fotografía.



Figura 2 Medición de recubrimientos

6.7.2. Determinación de la opacidad

La opacidad de los recubrimientos se calculó dividiendo el valor de la absorbancia a 600 nm por el espesor de la película (mm). Cada muestra de película se cortó en una pieza rectangular (3x1 cm) y se colocó directamente en una celda de espectrofotómetro, las mediciones se realizaron con aire como blanco, el experimento fue realizado por quintuplicado y la opacidad se calculó utilizando la ecuación 1,

$$O = (As_{600} / \delta) * 100$$

Donde: O: es la opacidad, generalmente expresada como porcentaje. As_{600} : es la absorbancia medida a 600 nm con un espectrofotómetro UV-Vis. Y δ : es el espesor de la película en milímetros (mm).

6.7.3. Determinación de la humedad

Esta prueba se realizó empleando la metodología AOAC 2001.12-2005 (AOAC, 2005). Los recubrimientos comestibles que fueron recortados en un aproximado de 2 cm², la humedad se determinó por diferencia de peso. Para ello, se empleó una estufa de convección forzada (Binder modelo FED 115) a una temperatura de 105 °C por un tiempo de 24 h.

6.7.4. Determinación del grado de hinchamiento

El hinchamiento de los recubrimientos se cuantificó colocando trozos de 2 cm² a peso constante (W_1) en recipientes con 50 ml de agua destilada durante 24 h a 25 °C. A continuación, los recubrimientos se secaron superficialmente con papeles filtro, y luego se pesó la película húmeda (W_2). El grado de hinchamiento (GI) se calculó usando la ecuación 2.

$$\text{Ec 2. Poder de Hinchamiento (\%)} = [(W_2 - W_1) / W_1] * 100$$

6.7.5. Análisis termogravimétrico (TGA)

La estabilidad térmica de los recubrimientos comestibles se analizó en un equipo de marca LINSEIS modelo STA PT1600 se pesaron de 7.9 a 21.6 mg de muestra, se consideró la norma ASTM E1131-08 (2014). (ASTM, 2014)

6.7.6. Caracterización estructural por FT-IR

El análisis infrarrojo fue realizado empleando un espectrómetro marca Thermo Fisher modelo Nicolet iS50 323/5000, se prepararon tabletas prensadas con 0.1% de la biopelícula en KBr y se llevaron al módulo de transmisión del espectrómetro FT-IR, en un rango de 400 a 4000 cm⁻¹ con resolución de 4 cm⁻¹.

6.7.7. Microscopía electrónica de barrido

Se utilizó un microscopio electrónico de barrido de emisión de campo JEOL JSM-7401F, en modo STEM, utilizando voltajes de 0.5 a 30 kV con detector LEI (Low Electron Image) para observar la morfología de los recubrimientos y la compatibilidad con el extracto. Los recubrimientos fueron introducidos en nitrógeno líquido para después ser fracturados, debido a que las muestras no son conductoras se les aplicó un recubrimiento de Au-Pd mediante un equipo de "sputtering" con lo que se aseguró una buena observación. Las micrografías se obtuvieron a un voltaje de 6 kV, una distancia de trabajo de 6 nm y magnificaciones de 5000x.

6.7.8. Determinación del punto de fusión mediante calorimetría diferencial de barrido

Para este estudio se usó un equipo DSC 2920 de la marca TA Instruments, pesando de 10 a 20 mg de los recubrimientos, los cuales fueron analizados desde temperatura ambiente hasta 200°C a una velocidad de calentamiento de 10°C/ minuto. En cada análisis las muestras fueron calentadas dos veces, el primer calentamiento fue para borrar la historia térmica del material.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. Obtención del extracto etanólico de *Satureja macrostema* (EESM)

El porcentaje de recuperación del extracto etanólico de hojas de *Satureja macrostema* fue de 30%. El rendimiento de extracción se basa en el tipo de solvente, la relación sólido y solvente, el tiempo, la temperatura, la presión y el pH [23]

7.2. Caracterización fitoquímica cualitativa del extracto etanólico de *Satureja macrostema*

El análisis fitoquímico cualitativo reveló que el extracto etanólico de hojas de *Satureja macrostema* contiene compuestos fenólicos como podrían ser flavonoides, cumarinas y lactonas, también se identificó la presencia de fitoesteroles, esteroides azúcares y saponinas, en este grupo de compuestos algunos de ellos, podrían presentar dentro de sus estructuras insaturaciones y grupos carboxilos, mismos que también fueron detectados. En la tabla 3 se presentan los compuestos encontrados y la prueba cualitativa utilizada.

Tabla 3 Compuestos identificados por análisis fitoquímico cualitativo en el EESM

Compuesto	Prueba	EESM
Esteroides triterpenos	Lieberman y Buchard	+
Esteroides	Salkowski	+
Fitoesteroides	Liebermann-Burchard	+
Compuestos fenólicos	FeCl ₃	+
Cumarinas y lactonas	NaOH	+
Flavonoides	Shinoda	+
Alcaloides	Dragendorff	-
Azúcares	Molish	+
Insaturaciones	KMnO ₄	+
Carboxilo	NaCO ₃	+

Presencia (+) o ausencia (-)

7.3. Caracterización estructural FT-IR del extracto etanólico de *Satureja macrostema*

El espectro infrarrojo del extracto concentrado obtenido mediante ATR se muestra en la figura 3. La banda de 3556 y 3406 cm^{-1} corresponde al estiramiento del enlace O-H en compuestos fenólicos y los flavonoides. La banda de 2907 y 2848 cm^{-1} corresponde a la vibración de metilos y metilenos.

La señal de 1641 corresponde a compuestos aromaticos polisustituados C=C, y las bandas localizadas en el rango de 1670-1280 cm^{-1} indican presencia de grupos C=O, mientras que en el rango de 1620 a 1530 cm^{-1} se observan bandas C=C típicas de grupos aromáticos, siendo representativas de diferentes extractos fenólicos [24] Una banda a 1065 cm^{-1} estaría relacionada con alcoholes secundarios y/o con un grupo éster de estiramiento CO.

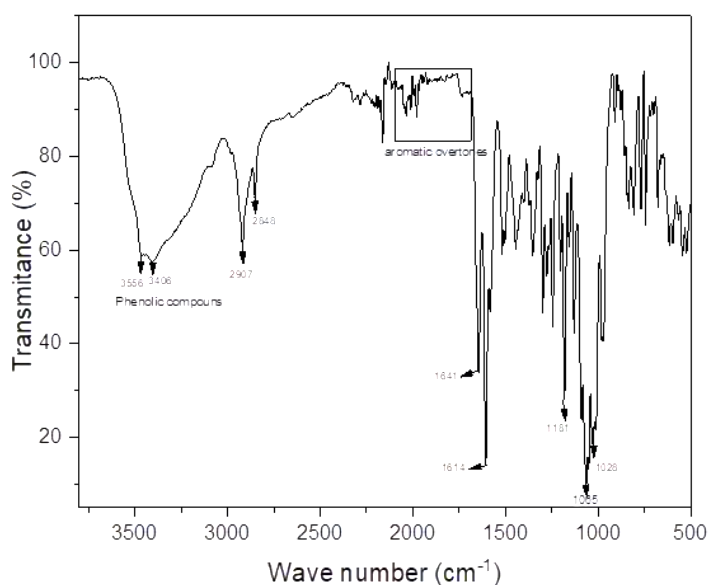


Figura 3 Espectro infrarrojo del extracto etanólico de hoja de *Satureja macrostema*

7.4. Actividad antifúngica de extractos etanólicos *Satureja macrostema*

En las siguientes imágenes (figura 4 y 5) se observa el crecimiento radial de *fusarium* y *alternaria*, así como el efecto de inhibición del EESM. Las gráficas muestran (figura 6 y 7), la diferencia de la inhibición del extracto. Se evaluaron dos concentraciones de extracto 2% y 4% de medio por parte de extracto. Se observa que hubo inhibición de las dos concentraciones, en los dos hongos evaluados, sin embargo, destaca, que la concentración 4% en ambos casos, es capaz de inhibir el crecimiento de *fusarium* y *alternaria* en un 99.9%. Esto concuerda con lo reportado por Damina-Badillo y col. (2008) [25] en este trabajo se describe que las hojas de *satureja* mostraron una alta inhibición frente a *C. albicans*. Diversos estudios han demostrado que los extractos de *S. macrostema* contienen compuestos bioactivos responsables de su actividad antimicrobiana, tales como: aceites esenciales (principalmente timol y carvacrol), flavonoides, terpenoides y ácidos fenólicos. Estos compuestos poseen mecanismos de acción bien documentados como la disrupción de membranas celulares bacterianas, inhibición de enzimas esenciales y bloqueo de la síntesis de proteínas [26].



Figura 4 Hongo *Fusarium*, crecimiento en un periodo de 10 días.



Figura 5 Hongo *Alternaria*, crecimiento en un periodo de 10 días.

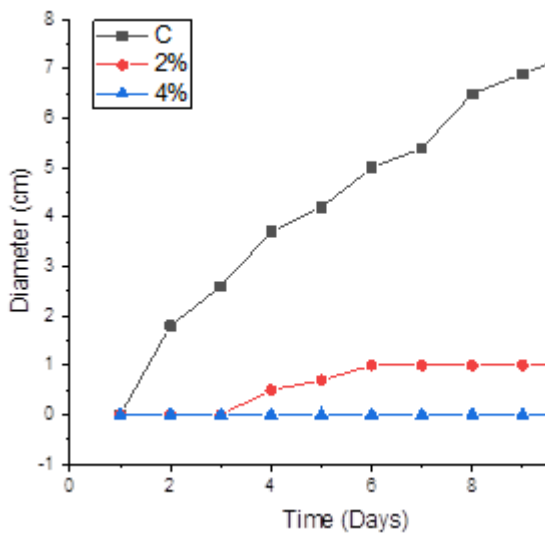


Figura 6 Crecimiento de *Fusarium* durante 10 días. C (sin tratamiento), relación medio de cultivo-EESM (2 y 4 %)

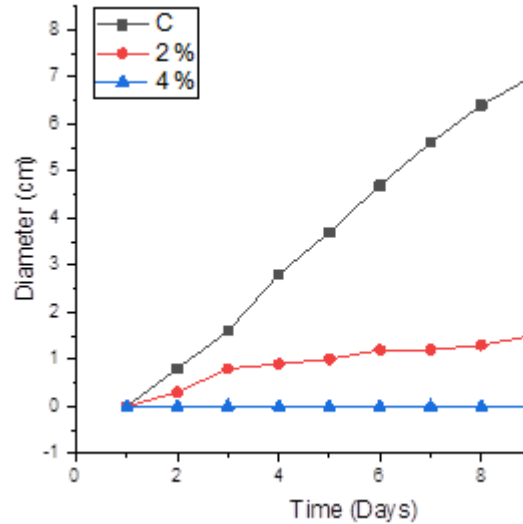


Figura 7 Crecimiento de *Alternaria* durante 10 días. C (sin tratamiento), relación medio de cultivo-EESM (2 y 4%)

7.5. Caracterización fisicoquímica de recubrimientos de CH-EESM

7.5.1. Calorimetría diferencial de barrido (DSC)

La calorimetría diferencial de barrido (DSC) es la mejor técnica analítica para determinar la cristalinidad del polímero, que mide la naturaleza física de la muestra, es decir, si se calienta, enfría o se encuentra en condiciones

isotérmicas. En esta técnica, la muestra se calienta o enfría a intervalos lineales de temperatura y se mide la temperatura y la energía específicas en función de cualquier rango de eventos térmicos. Los estudios de DSC revelan que los resos más estables térmicamente que el quitosano puro (fig. 2). La temperatura de transición vítrea del quitosano puro se observa a 117 °C; cuando se reticula con extracto de Satureja, la temperatura de transición vítrea se observa a 101 °C [27].

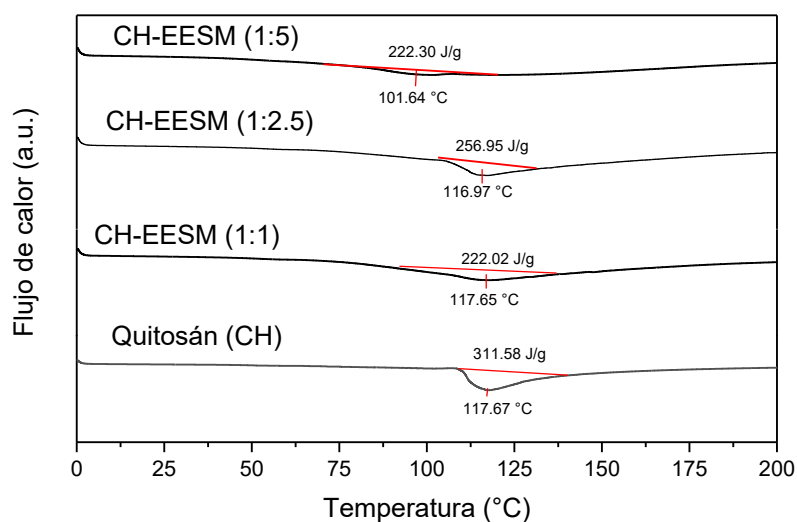


Figura 8 DSC de los recubrimientos de quitosán-extracto etanólico de *Satureja macrostema*

7.5.2. Análisis Termogravimétrico (TGA)

El TGA es una técnica que sirve para determinar la composición de un compuesto, su estabilidad térmica, cinética de descomposición y pureza. La curva de TGA del quitosán solo y con extracto muestra que las dos etapas de pérdida de peso están en el rango de 47 a 450 °C, los carbohidratos usualmente absorben agua, por lo cual se observa una caída drástica en un rango de los 47-100 °C, con una pérdida de peso del 5%. La degradación de todas las muestras empieza a partir de 250 °C y se degradan completamente

a aproximadamente 450 °C con una pérdida de peso de aproximadamente el 25% [28].

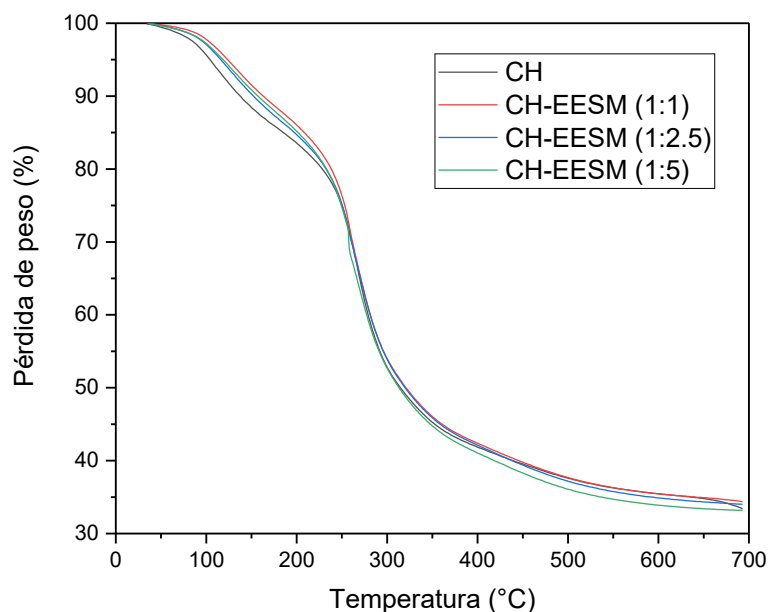


Figura 9 Termograma de recubrimientos de quitosán-extracto etanólico de *Satureja macrostema*

7.5.3. Espectro Infrarrojo (FT-IR)

El espectro infrarrojo (Figura 10) muestra las bandas de absorción de los recubrimientos de quitosán puro y con EESM [29] el quitosán presenta bandas características muy bien definidas en espectroscopía FTIR, que corresponden a los grupos funcionales presentes en su estructura: principalmente grupos amino ($-\text{NH}_2$), hidroxilos ($-\text{OH}$) y puentes glicosídicos [30].

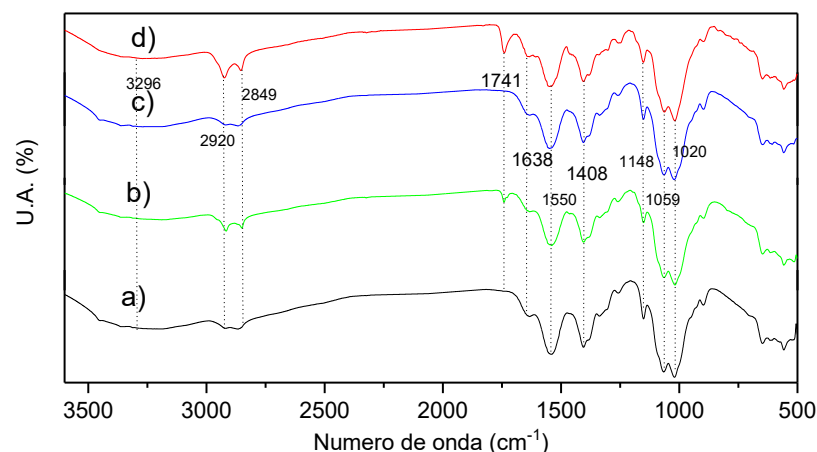


Figura 10 Espectro infrarrojo de los recubrimientos de CH-EESM. a) quitosán (CH), b) CH-EESM (1:1), c) CH-EESM (1:2.5) y d) CH-EESM (1:5).

A continuación, se muestran en una tabla las bandas características de absorción para polifenoles y el quitosán:

Tabla 4 Bandas características de los polifenoles y el quitosán

Número de onda (cm ⁻¹)	Polifenoles	Quitosán
3296	Estiramiento O–H (fenoles, alcoholes); banda ancha	Estiramiento O–H y N–H (interacciones por puente de hidrógeno)
2920-2849	Estiramiento C–H (alifático)	Estiramiento C–H (–CH ₂)
1630	Estiramiento C=C aromático (anillo bencénico)	Estiramiento C=O (Amida I, N-acetil glucosamina)
1550	Estiramiento C=C aromático (segunda banda)	Deformación N–H (Amida II)
1408	Flexión C–H aromático	Deformación C–H (–CH ₂ , –CH ₃)
1148	C–O (fenoles, éteres)	C–O, C–N (polímero)
1059	C–O (alcoholes, éteres, enlaces glicosídicos)	C–O–C (puente glucosídico), C–O (alcohol primario)

7.6. Microscopía electrónica de barrido

La caracterización por microscopio electrónico de barrido (SEM) de los recubrimientos de quitosán es un análisis morfológico que permite observar la superficie de los recubrimientos. La figura 7 muestra el recubrimiento control (CH) y los recubrimientos CH-EESM- en la cual se observa que a diferencia

que en CH-EESM (1:5), el cual es el tratamiento que tiene mayor porcentaje de EESM, el recubrimiento es más escamoso, a comparación del tratamiento control (CH), esto puede deberse a la incompatibilidad de fases en el recubrimiento.

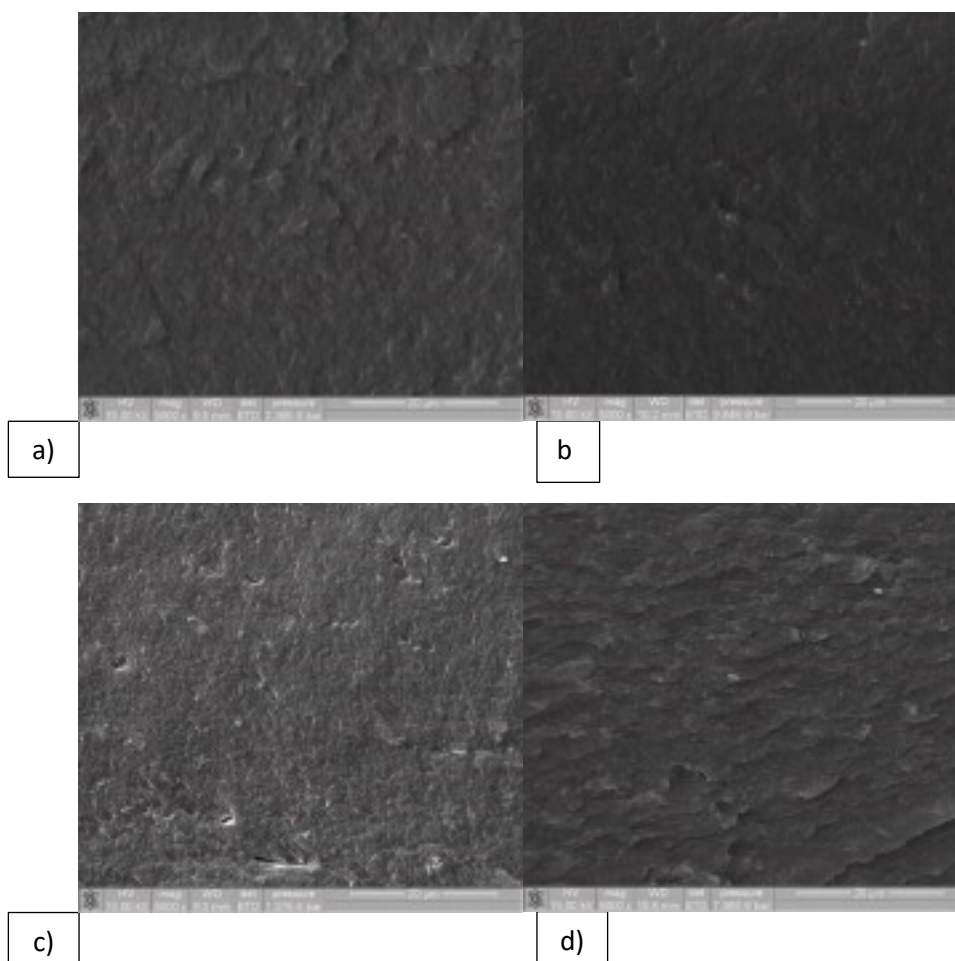


Figura 11 Micrografías de la correspondiente a la sección transversal de los recubrimientos de CH-EESM, tomada en la zona de menor espesor (sin porosidad) a) CH, b) CH-EESM (1:1) c) CH-EESM (1:2.5) y d) CH-EESM (1:5).

7.7 Otras propiedades físicas de CH-EESM

Los recubrimientos comestibles elaborados a partir de una mezcla de quitosán y adicionadas con el extracto etanólico de *Satureja macrostema*, presentaron diversas características fisicoquímicas, en la Tabla 4 se observan los valores experimentales obtenidos para cada una de las variables de respuesta

estudiadas. Obteniendo los siguientes rangos de valores, espesor de 0.80 – 0.88 mm, opacidad de 1.03 -2.09 %, humedad de 0.41 – 0.51 %, Cada una de estas características le proporciona diversas propiedades al recubrimiento tales como una apariencia más estética a la matriz alimenticia, preservar la textura del alimento y prolongan la vida útil [31].

Tabla 5 Características físicas de la película quitosán-*Satureja macrostema*.

Características físicas de la película quitosán- <i>Satureja macrostema</i> .				
Biopelícula	Espesor (mm)	Opacidad (%)	Humedad (%)	Hinchamiento (%)
C0	0.84 ± 0.07 ^a	1.03±0.03 ^c	0.51±0.10 ^a	39.59 ±3.2
C1	0.80 ±0.07 ^a	2.07±0.16 ^a	0.45±0.03 ^a	137.10±10.2
C2	0.87 ± 0.05 ^a	1.75±0.06 ^b	0.41±0.03 ^a	4023.93±8.1
C3	0.88 ±0.01 ^a	2.09±0.04 ^a	0.51±0.03 ^a	5029.49±15.2

Los resultados se presentan como la media (n = 5) ± SD, los promedios con letras distintas indican diferencia significativa * $p < 0.05$.

7.8 Determinación de la pérdida de peso de recubrimientos CH-EESM

Los resultados muestran que la retención de peso al paso de los días es menor en comparación del día uno, para todos los tratamientos analizados, tanto a temperatura ambiente como en refrigeración, esto es debido principalmente a la pérdida de agua. Sin embargo, se observa una caída más prominente cuando las uvas no son puestas en refrigeración en todos los casos. La temperatura alta puede acelerar la pérdida de humedad en los alimentos, ya que el aire caliente puede contener más vapor de agua. Sin embargo, se destaca que la pérdida peso es menor en los recubrimientos que contienen una mayor concentración de EESM. Se han realizado estudios, por ejemplo, **Solano-Doblado y col. 2018** [8], estudiaron la relación que existe entre la permeabilidad al vapor de agua y el tipo de componentes de la película o recubrimiento. Se ha observado relación entre el grosor de recubrimientos elaboradas con base de quitosano, y plastificantes como los polioles, glicerol, sorbitol, polietilenglicol encontrando que un incremento en el grosor aumenta la permeabilidad al agua.

Tabla 6 Retención de peso de uvas recubiertas con CH-EESM a temperatura ambiente y en refrigeración durante 6 días.

Temperatura de almacenamiento (4°C)				
Tratamiento	Tiempo en días			
	3		6	
	Retención de peso (%)			
	PROM	DE	PROM	DE
ST	90.38	±0.96	83.69	±1.67
C0	92.68	±1.11	86.93	±2.48
C1	92.34	±1.36	86.89	±2.36
C2	92.41	±1.07	86.49	±1.85
C3	93.58	±0.99	88.56	±1.37
Temperatura de almacenamiento				
Tratamiento	Tiempo (Días)			
	3		6	
	Retención de peso (%)			
	PROM	DE	PROM	DE
WT	87.10	±2.95	71.18	±2.55
C0	89.64	±2.07	73.84	±5.54
C1	88.41	±0.69	74.87	±1.30
C2	88.90	±1.26	75.61	±2.56
C3	89.11	±1.23	76.65	±1.88

CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio demuestran que la incorporación de extracto etanólico de *Satureja macrostema* (EESM) en recubrimientos comestibles a base de quitosán (CH) mejora significativamente sus propiedades antimicrobianas y funcionales. El análisis fitoquímico y espectroscópico confirmó la presencia de compuestos bioactivos en el EESM, como polifenoles, que podrían estar relacionados con la actividad antifúngica observada frente a *Fusarium oxysporum* y *Alternaria spp.*

La caracterización fisicoquímica y estructural de los recubrimientos CH-EESM reveló cambios en sus propiedades térmicas, estructurales y de compatibilidad de fases, así como modificaciones en opacidad, retención de humedad y capacidad de hinchamiento. La aplicación práctica de los recubrimientos en uva de mesa verde mostró una reducción significativa en la pérdida de peso durante el almacenamiento, lo cual indica una mejora en la barrera contra la deshidratación, posiblemente mediada por interacciones moleculares entre el quitosán y los compuestos del extracto.

En conjunto, estos hallazgos respaldan el potencial del uso combinado de quitosán y EESM en el desarrollo de recubrimientos comestibles con propiedades mejoradas, que podrían ser utilizados como una estrategia sostenible y efectiva para prolongar la vida útil de productos hortofrutícolas y reducir el uso de conservadores sintéticos en la industria alimentaria.

BIBLIOGRAFIA

- [1] R. Porat, A. Lichter, L. A. Terry, R. Harker, and J. Buzby, "Postharvest losses of fruit and vegetables during retail and in consumers' homes: Quantifications, causes, and means of prevention," *Postharvest Biol Technol*, vol. 139, pp. 135–149, May 2018, doi: 10.1016/J.POSTHARVBIO.2017.11.019.
- [2] L. M. Anaya-Esparza *et al.*, "Funcionalización de los recubrimientos a base de quitosano para la conservación postcosecha de frutas y hortalizas," *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, vol. 23, Aug. 2020, doi: 10.22201/fesz.23958723e.2020.0.241.
- [3] N. Maftoonazad and F. Badii, "Use of Edible Films and Coatings to Extend the Shelf Life of Food Products," *Recent Pat Food Nutr Agric*, vol. 1, no. 2, pp. 162–170, Jan. 2010, doi: 10.2174/1876142910901020162.
- [4] P. A. Popescu *et al.*, "Chitosan-Based Edible Coatings Containing Essential Oils to Preserve the Shelf Life and Postharvest Quality Parameters of Organic Strawberries and Apples during Cold Storage," *Foods*, vol. 11, no. 21, Nov. 2022, doi: 10.3390/foods11213317.
- [5] D. Pratap Singh and G. Packirisamy, "Biopolymer based edible coating for enhancing the shelf life of horticulture products," *Food Chemistry: Molecular Sciences*, vol. 4, p. 100085, Jul. 2022, doi: 10.1016/J.FOCHMS.2022.100085.
- [6] M. Aider, "Chitosan application for active bio-based films production and potential in the food industry: Review," *LWT - Food Science and Technology*, vol. 43, pp. 837–842, Jun. 2010, doi: 10.1016/j.lwt.2010.01.021.
- [7] T. H. McHugh, "Protein-lipid interactions in edible films and coatings," *Nahrung/Food*, vol. 44, no. 3, pp. 148–151, May 2000, doi: 10.1002/1521-3803(20000501)44:3<148::AID-FOOD148>3.0.CO;2-P.
- [8] L. G. Solano-Doblado, L. Alamilla-Beltrán, C. Jiménez-Martínez, L. G. Solano-Doblado, L. Alamilla-Beltrán, and C. Jiménez-Martínez, "Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados," *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, vol. 21, p. 30, Aug. 2018, doi: 10.22201/fesz.23958723e.2018.0.153.
- [9] A. Cagri, Z. Ustunol, and E. T. Ryser, "Antimicrobial Edible Films and Coatings," 2004.
- [10] J. Carmona, F. Cordobes, A. Guerrero, I. Martínez, and P. Partal, "Influencia del pH y de la fuerza iónica sobre la gelificación térmica de proteínas de la yema de huevo," *Grasas y Aceites*, Jun. 2007.
- [11] R. Avila-Sosa, E. Palou, M. T. Jiménez Munguía, G. V. Nevárez-Moorillón, A. R. Navarro Cruz, and A. López-Malo, "Antifungal activity by vapor contact of essential oils

- added to amaranth, chitosan, or starch edible films,” *Int J Food Microbiol*, vol. 153, no. 1–2, pp. 66–72, Feb. 2012, doi: 10.1016/J.IJFOODMICRO.2011.10.017.
- [12] “TECNOLOGÍA ALIMENTARIA.”
- [13] A. Jaworek and A. T. Sobczyk, “Electrospraying route to nanotechnology: An overview,” *J Electrostat*, vol. 66, no. 3–4, pp. 197–219, Mar. 2008, doi: 10.1016/J.ELSTAT.2007.10.001.
- [14] P. K. A.-Z. SM. Anis A, “ Essential Oil-Containing Polysaccharide-Based Edible Films and Coatings for Food Security Applications. *Polymers (Basel)*. 2021 Feb 14;13(4):575. doi: 10.3390/polym13040575. PMID: 33672974; PMCID: PMC7917627.”.
- [15] C. , M. P. F. X. , L. Y. , B. C. P. & L. J.] Pérez-Santaescolástica, “Active edible coatings and films with Mediterranean herbs to improve food shelf-life”.
- [16] C. Hernández Escalona, L. Rubio, G. Padilla, and A. DE Evaluación Derivados Carboximetilados Del Alginato De Sodio, “Universidad de Oriente,” vol. XVII, pp. 239–240, 2005, [Online]. Available: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=443543687096>
- [17] J. Fernández-López and M. Viuda-Martos, “Introduction to the special issue: Application of essential oils in food systems,” Apr. 01, 2018, *MDPI Multidisciplinary Digital Publishing Institute*. doi: 10.3390/foods7040056.
- [18] M. de L. Ramos-García, S. Bautista-Baños, L. L. Barrera-Necha, E. Bosquez-Molina, I. Alia-Tejagal, and M. Estrada-Carrillo, “Revista Mexicana de fitopatología,” *Revista mexicana de fitopatología*, vol. 28, no. 1, pp. 44–57, 19871998, Accessed: Jun. 17, 2025. [Online]. Available: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-33092010000100005&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- [19] S. Sharma, S. Barkauskaite, A. K. Jaiswal, and S. Jaiswal, “Essential oils as additives in active food packaging,” *Food Chem*, vol. 343, p. 128403, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128403>.
- [20] E. Choulitoudi *et al.*, “Antimicrobial and antioxidant activity of Satureja thymbra in gilthead seabream fillets edible coating,” *Food and Bioproducts Processing*, vol. 100, pp. 570–577, Oct. 2016, doi: 10.1016/J.FBP.2016.06.013.
- [21] E. Choulitoudi *et al.*, “Antimicrobial and antioxidant activity of Satureja thymbra in gilthead seabream fillets edible coating,” *Food and Bioproducts Processing*, vol. 100, pp. 570–577, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.06.013>.
- [22] J. E. Carbajal Tolentino, B. G. Salmerón, M. de los Á. Gama Gálvez, and G. Galindo Ramos, “Actividad antioxidante y antimicrobiana del Nurite (Satureja Macrostema

- (Benth), Briq),” *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, vol. 7, no. 1, pp. 425–444, Jan. 2023, doi: 10.37811/cl_rcm.v7i1.4402.
- [23] Z. Khanam, K. H. Sam, N. H. B. M. Zakaria, C. H. Ching, and I. U. H. Bhat, “Determination of polyphenolic content, HPLC analyses and DNA cleavage activity of Malaysian *Averrhoa carambola* L. fruit extracts,” *J King Saud Univ Sci*, vol. 27, no. 4, pp. 331–337, Oct. 2015, doi: 10.1016/J.JKSUS.2015.01.004.
- [24] Deladino L, Anbinder P, Navarro A, and Martino M, “Caracterización fisicoquímica y liberación de extractos de yerba mate encapsulados Lipid content, fraction separation and acidic composition of a commercial mate tee (*Ilex paraguayensis*) brand,” 1900.
- [25] L. Damián-Badillo, R. Salgado-Garciglia, R. Martínez-Muñoz, and M. Martínez Pacheco, “Antifungal Properties of Some Mexican Medicinal Plants,” *The Open Natural Products Journal*, vol. 1, pp. 27–33, Jun. 2008, doi: 10.2174/1874848100801010027.
- [26] L. Barrientos Ramírez *et al.*, “Chemical Composition, Antioxidant Properties, and Antibacterial Activity of Essential Oils of *Satureja macrostema* (Moc. and Sessé ex Benth.) Briq,” *Molecules*, vol. 28, no. 12, Jun. 2023, doi: 10.3390/molecules28124719.
- [27] S. Dey *et al.*, “PREPARATION, CHARACTERIZATION AND PERFORMANCE EVALUATION OF CHITOSAN AS AN ADSORBENT FOR REMAZOL RED,” *International Journal of Latest Research in Engineering and Technology*, vol. 2, pp. 52–62, Jun. 2016.
- [28] S. Kumar and J. Koh, “Physiochemical, Optical and Biological Activity of Chitosan-Chromone Derivative for Biomedical Applications,” *International Journal of Molecular Sciences (IJMS)*, vol. 13, pp. 6102–6116, Jun. 2012, doi: 10.3390/ijms13056102.
- [29] R. Nunes Oliveira *et al.*, “FTIR analysis and quantification of phenols and flavonoids of five commercially available plants extracts used in wound healing,” *Revista Materia*, vol. 21, pp. 767–779, Jun. 2016, doi: 10.1590/S1517-707620160003.0072.
- [30] M. Queiroz, K. Melo, D. Sabry, G. Sasaki, and H. Rocha, “Does the Use of Chitosan Contribute to Oxalate Kidney Stone Formation?,” *Mar Drugs*, vol. 13, pp. 141–158, Jun. 2014, doi: 10.3390/md13010141.
- [31] E. J. Jang, B. Padhan, M. Patel, J. K. Pandey, B. Xu, and R. Patel, “Antibacterial and biodegradable food packaging film from bacterial cellulose,” *Food Control*, vol. 153, p. 109902, Nov. 2023, doi: 10.1016/J.FOODCONT.2023.109902.