



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
QUERÉTARO

FACULTAD DE QUÍMICA

“DISEÑO DE UN EMPAQUE FUNCIONAL A PARTIR DE
BAGAZO DE UVA ADICIONADO CON NANOPARTÍCULAS
DE PLATA”

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de:
Maestro en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Presenta:

L.N. Daniela Estefanía Camarillo Gómez

Dirigido por:
Dr. Aldo Amaro Reyes

Co-Director
Dra. Margarita Teresa de Jesús García Gasca

Querétaro, Qro, Marzo de 2023



Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales de
Información



“DISEÑO DE UN EMPAQUE FUNCIONAL A PARTIR DE
BAGAZO DE UVA ADICIONADO CON NANOPARTÍCULAS
DE PLATA”

por

Daniela Estefania Camarillo Gomez

se distribuye bajo una [Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional](#).

Clave RI: FQMAC-300283-0323-323



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
QUERÉTARO

FACULTAD DE QUÍMICA

“DISEÑO DE UN EMPAQUE FUNCIONAL A PARTIR DE
BAGAZO DE UVA ADICIONADO CON NANOPARTÍCULAS
DE PLATA”
Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestro en Ciencia y Tecnología de Alimentos
Presenta:

L.N. Daniela Estefanía Camarillo Gómez

Dirigido por:

Dr. Aldo Amaro Reyes

Co-Dirigido por:

Dra. Margarita Teresa de Jesús García Gasca

Dr. Aldo Amaro Reyes

Presidente

Dra. Margarita Teresa de Jesús García Gasca

Secretario

Dra. Diana Issell Sandoval Cárdenas

Vocal

Dr. Carlos Regalado González

Suplente

Dra. Rocio Campos Vega

Suplente

Centro Universitario, Querétaro, Qro.

Marzo 2023

México.

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD DE ESTUDIANTE:

Declaro que los datos propios obtenidos en esta investigación fueron generados durante el desarrollo de mi trabajo de tesis de forma ética y que reporto detalles necesarios para que los resultados de esta tesis sean reproducibles en eventuales investigaciones futuras. Finalmente, este manuscrito de tesis es un trabajo original en el cual se declaró y dio reconocimiento a cualquier colaboración o cita textual presentadas en el documento.

RESUMEN

El desecho de empaques plásticos no biodegradables para el empaquetamiento de alimentos representa un problema ambiental, por lo que es una prioridad mundial reemplazarlos con materiales biodegradables. Adicionalmente, la producción de bioplásticos con propiedades antimicrobianas y antioxidantes favorecería la conservación del alimento. El bagazo de uva es un residuo agroindustrial susceptible de valorización pues cuenta con antioxidantes fenólicos extraíbles, como: ácido fenólico, flavonoides, procianidinas y resveratrol. Las nanopartículas de plata (AgNPs), poseen estabilidad química, actividad catalítica y antibacterial. En el presente trabajo se diseñó un material de empaque biodegradable para alimentos con propiedades antioxidantes y antimicrobianas a partir de bagazo de uva, almidón y AgNPs. Las AgNPs se sintetizaron mediante una vía verde utilizando una infusión de *Ocimum basilicum*, que reduce y estabiliza las AgNP con moléculas naturales reemplazando así los agentes químicos tóxicos. Se aumentó la concentración final de AgNPs, modificando la cantidad de AgNO_3 y material vegetal. Las AgNPs mostraron una banda de absorción a 420 nm, forma esferoidal y un tamaño de 16.87 ± 7.67 nm. El empaque con AgNPs mostró una fuerza de tensión de 21.19 ± 1.88 N, elongación a la ruptura de 42.51 ± 4.53 %, 11.99 ± 3.11 % de humedad, opacidad de 102.8 ± 0.61 , luminosidad de 21.89 ± 0.61 , espesor de 0.32 ± 0.1 mm, permeabilidad al vapor de agua de $1.74 \pm 0.08 \times 10^{-10}$ g/día*m*Pa y capacidad antioxidante medida por DPPH de 3.77 ± 0.38 EQT, 8.18 ± 1.21 EQT por ABTS y 2.26 ± 0.36 mg AG/g de fenoles totales. El empaque alcanzó un 90% de inhibición del crecimiento fúngico, a los 3, 4, y 6 días para *Aspergillus niger*, *Botrytis cinerea* y *Penicillium* sp, respectivamente. Por último, el empaque alcanzó un 39.8% de pérdida de peso al día 25 para biodegradabilidad. Los empaques bioplásticos formulados a partir de bagazo de uva y AgNPs poseen propiedades antifúngicas y antioxidantes por lo que pueden ser utilizados para empacar alimentos protegiéndolos también de la luz y tentativamente alargando su vida de anaquel.

Palabras clave: empaque biodegradable, bagazo de uva, nanopartículas de plata, actividad antifúngica, propiedades de bioplástico.

ABSTRACT

The disposal of non-biodegradable plastic packaging for food packaging represents an environmental problem, therefore replacing them with bioplastics from sustainable, biodegradable and value-added materials has become a worldwide priority. The production of bioplastics with antioxidant and antimicrobial properties could improve the food conservation. Grape bagasse is an agroindustrial waste whose value relies on extractable phenolic antioxidants such as phenolic acid, flavonoids, procyanidins and resveratrol. Silver nanoparticles (AgNPs) have chemical stability, catalytic and antibacterial activity. In the present work, a biodegradable food packaging material with antioxidant and antimicrobial properties was designed from grape bagasse, starch and AgNPs. AgNPs were synthesized by a green pathway using an infusion of *Ocimum basilicum*, which reduces and stabilizes AgNPs with natural molecules thus replacing toxic chemical agents. The final concentration of AgNPs was increased by modifying the amount of AgNO₃ and plant material. AgNPs showed an absorption band at 420 nm, spheroidal shape and a size of 16.87 ± 7.67 nm. The packing with AgNPs showed a tensile strength of 21.19 ± 1.88 N, elongation at break of 42.51 ± 4.53 %, 11.99 ± 3.11 % moisture content, opacity of 102.8 ± 0.61 , brightness of 21.89 ± 0.61 , thickness of 0.32 ± 0.1 mm, water vapor permeability of $1.74 \pm 0.08 \times 10^{-10}$ g/day*m*Pa and antioxidant capacity measured by DPPH of 3.77 ± 0.38 TEQ, 8.18 ± 1.21 TEQ by ABTS and 2.26 ± 0.36 mg AG/g total phenols. The packing achieved 90% inhibition of fungal growth, at 3, 4, and 6 days for *Aspergillus niger*, *Botrytis cinerea* and *Penicillium* sp, respectively. Finally, the packaging achieved 39.8% weight loss at day 25 for biodegradability. Bioplastic packaging formulated from grape bagasse and AgNPs possesses antifungal and antioxidant properties and can therefore be used to package foods, protecting them also from light and tentatively extending their shelf life.

Keywords: biodegradable packaging, grape bagasse, silver nanoparticles, antifungal activity, properties of bioplastics.

DEDICATORIAS

Esta tesis la dedico a mi abuelita Isabel y mi tía Teresita (QEPD), apoyándome en todo lo que me propusiera, esta maestría no fue la excepción, las amo un beso hasta el cielo y gracias por cuidar de mí siempre.

A mis papas, que me apoyan siempre en mis decisiones, esta vez no fue la excepción. En los malos momentos, cuando pensaba que no podía lograrlo, gracias por enseñarme a afrontar las dificultades sin tirar la toalla. Ellos me han hecho la persona que soy hoy, mis valores, principios y perseverancia. Los amo muchísimo, esto es por ustedes y para ustedes.

También quiero dedicar esta tesis a mis tías (Isabel y Victoria), por su apoyo y cariño incondicional.

A mis amigas Regina, Zeira, Cynthia, Itza de Monterrey por siempre creer en mí, hacerme ver la vida de una manera más divertida y menos pesada.

A Dios y a la Virgen por llevarme de su mano, cuidarme e iluminarme en este camino, lo cual sé con el aprendizaje aportaré lo que pueda a la sociedad.

A mi roomies, Karina, Vanessa y Salvador, porque fueron la perfecta compañía, haciéndome sentir en casa, siendo muy pacientes y preparándome un cafecito en esos momentos de estrés; Pasando momentos felices, tristes, pero siempre juntos.

A mis compañeros de laboratorio: Denisse, Odette, Dana y Diego, por su compañía y risas. Los admiro mucho y sé que llegaran lejos.

A mis amigas en la maestría: Zuleika, Judith e Italia, ya que de alguna manera estuvieron presentes, algunas de forma académica apoyándome y en otras ocasiones a darnos ánimos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a CONACYT y a la Universidad Autónoma de Querétaro, por brindar los medios necesarios para obtener este grado y por seguir impulsando el desarrollo de los jóvenes.

A mi comité de sinodales: Al Dr. Carlos Regalado, Dra. Margarita Teresa de Jesús García Gasca y a la Dra. Rocio Campos, porque en el proceso me ayudaron de diferentes maneras, prestándome espacios en sus laboratorios o explicándome procesos, ¡Gracias!

Al Dr. Aldo Amaro Reyes, por brindarme su tiempo y paciencia. Le agradezco su confianza, aplaudirme el esfuerzo y crecimiento. Por explicarme cuantas veces fueran necesarias y enseñarme que todo tiene una solución, a no tirar la toalla aun en mis momentos de mayor estrés.

A la Dra. Issell Sandoval, por la idea de este proyecto. Por su paciencia infinita, creer en mi y por su tiempo, aun en fines de semana. Por impulsarme, pensando en mi para otros proyectos.

Todos los Doctores han sido una inspiración para mí, los admiro y de todos llevo un aprendizaje especial.

ÍNDICE GENERAL

1 INTRODUCCIÓN	13
2 ANTECEDENTES	15
2.1 Empaques en la industria alimentaria	15
2.1.1 Aplicaciones de empaques biodegradables	17
2.1.2 Materiales formadores de empaques biodegradables	17
2.1.3 Propiedades funcionales de un empaque comestible	21
2.2 Nanotecnología en empaques comestibles	22
2.2.1 Nanopartículas metálicas	22
2.2.2 Nanopartículas de plata adicionadas a empaques comestibles	23
2.2.3 Síntesis verde de nanopartículas metálicas	24
2.2.4 Mecanismo de acción de las nanopartículas de plata (AgNPs)	25
2.2.5 Toxicidad de las en nanopartículas de plata	25
2.3 Subproductos agroalimentarios	26
2.3.1 Residuos agroindustriales	27
3 JUSTIFICACIÓN	33
4 OBJETIVO	34
4.1 Objetivo general	34
4.2 Objetivos específicos	34
5 MATERIALES Y MÉTODOS	35
5.1 Materiales	35
5.2 Preparación del bagazo de uva	35

5.3 Síntesis verde y caracterización parcial de nanopartículas de plata	35
5.4 Preparación de empaque adicionado con AgNPs	36
5.5 Evaluación de la actividad antifúngica de los empaques	37
5.6 Determinación de propiedades físicas de empaque	38
5.6.1 Propiedades mecánicas	38
5.6.2 Contenido de humedad	38
5.6.3 Espesor de la película	39
5.6.4 Propiedades de transmisión de luz y color	39
5.6.5 Permeabilidad al vapor de agua	39
5.7 Determinación de actividad funcional de empaque	40
5.7.1 Obtención del extracto fenólico	40
5.7.2 Determinación de compuestos fenólicos solubles totales	40
5.7.3 Capacidad antioxidante mediante ABTS	40
5.7.4 Capacidad antioxidante mediante DPPH	41
5.8 Prueba de biodegradabilidad	42
5.9 Análisis estadístico	42
6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
6.1 Síntesis verde de nanopartículas de plata	43
6.2 Caracterización de nanopartículas de plata	45
6.2.1 Espectrofotometría UV-Vis	45
6.2.2 Espectroscopía Electrónica de Transmisión (TEM)	46
6.3 Caracterización empaques con y sin AgNPs	47
6.3.1 FTIR	47

6.3.2 Propiedades físicas y de barrera	49
6.3.3 Solubilidad en agua y contenido de humedad	50
6.3.4 Espesor, permeabilidad al vapor de agua y fuerza de tensión	51
6.3.5 Capacidad antioxidante y fenoles totales	52
6.3.6 Evaluación de la actividad antifúngica	53
6.3.7 Prueba de biodegradabilidad	54
7 CONCLUSIONES	56
8 REFERENCIAS	57

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Parámetros modificados en síntesis verde: Concentración AgNO ₃	44
Tabla 2 Parámetros modificados en síntesis verde: Material vegetal.....	45
Tabla 3 Valores de color incluyendo (L, a, b, ΔE y opacidad) de empaques con y sin AgNPs.....	49
Tabla 4 Valores de contenido de humedad y solubilidad en agua	51
Tabla 5 Valores de espesor, permeabilidad des mecánicas51ad al vapor de agua y propieda	
Tabla 6 Valores de capacidad antioxidante (ABTS y DPPH) y fenoles totales en bagazo de uva, empaque con y sin AgNPs.	53

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Polímeros biodegradables usados en fabricación de empaques alimentarios.....	18
Figura 2 Proceso de síntesis verde de nanopartículas de plata.....	24
Figura 3 Bagazo de uva roja y componentes. (Fontana et al., 2013).....	30
Figura 4 Síntesis verde de nanopartículas de plata, modificado de.....	36
Figura 5 Infusión de planta para síntesis de nanopartículas.....	43
Figura 6 Modificación de parámetros para síntesis verde de AgNPs.....	44
Figura 7 Espectro de absorción UV-Vis de Nanopartículas de plata 50 mM.....	46
Figura 8 Micrografía electrónica de transmisión de Nanopartículas de plata.....	47
Figura 9 Espectros FTIR.....	48
Figura 10 Inhibición del crecimiento.....	54
Figura 11 Porcentaje de pérdida de peso en empaques con y sin AgNPs.....	55

1 INTRODUCCIÓN

La utilización de materiales plásticos para envasado de alimentos ha supuesto un reto cada vez más grave para el medio ambiente, principalmente dado que los residuos generados no son biodegradables (Tavares et al., 2018). Esta problemática relacionada al uso indiscriminado de plásticos, ha llevado a México a ocupar el 12° lugar entre los consumidores de plástico a nivel mundial, alcanzando las 11 toneladas en el año 2019 según la ANIPAC (Asociación Nacional de Industrias del Plástico) (Otoni et al., 2017).

En los últimos años los bioplásticos han surgido como alternativa al uso de plásticos, buscando reducir su consumo progresivamente. Estos materiales biodegradables toman popularidad ya que son menos contaminantes y provienen de fuentes abundantes en la naturaleza (Kowalczyk & Baraniak, 2014; Tavares et al., 2018). Consecuentemente materiales naturales están siendo aplicados en el envasado de alimentos, como el almidón, debido a su fácil disponibilidad, bajo costo y características funcionales, por ello suele utilizarse como espesante, agente gelificante y estabilizador (Charles et al., 2016).

Paralelamente parte de este choque ambiental puede ser atribuido a los residuos originados en la industria agrícola, particularmente el de frutas y verduras. La industria vitivinícola genera 5510 toneladas de bagazo de uva al año, según lo reportado por (FAO, 2018). El bagazo de uva es obtenido en la transformación de la uva durante el proceso de elaboración de vino, este se conforma por tallos, semillas, piel y racimos que permanecen después del prensado de la uva y se considera una fuente rica en compuestos fenólicos, esto debido a que se encuentran antioxidantes hidrofílicos en el extracto de la semilla (procianidinas, y una mezcla de oligoméricos) que muestran tener poder antioxidante (Katiyar, 2008; Fontana et al., 2013; Yu & Ahmedna, 2013).

Por otra parte, existe una problemática relacionada al elevado grado de incidencia

por ataque de hongos y levaduras en muestras de frutos rojos como la zarzamora y frambuesa en supermercados, que van en rangos de 33 al 100 %. Los hongos con una alta incidencia de contaminación son *Botrytis cinerea*, *Rhizopus* (en fresa), *Alternaria*, *Penicillium*, *Cladosporium* y *Fusarium*) (Tournas & Katsoudas, 2005).

El interés en desarrollar polímeros con base biológica y con actividad antimicrobiana, puede ser afrontado mediante la integración de nanopartículas de plata (AgNPs). Las AgNPs tienen propiedades inhibitoras del crecimiento y antimicrobianas, así como una baja toxicidad, por lo que reciben una atención especial por parte de la industria alimentaria (Duncan, 2011).

El actual aumento en la demanda de alimentos naturales y frescos por parte de los consumidores ha obligado a empresas e investigadores a explorar distintos materiales, buscando reducir el impacto ambiental e innovar en el mercado, ofreciendo productos con mejoras en la calidad, frescura y seguridad alimentaria (Sohail et al., 2018).

Existen un extenso número de investigaciones enfocadas a la creación de empaques a partir de bioplásticos adicionados con residuos agroindustriales y nanopartículas metálicas. A diferencia de lo previamente reportado en este trabajo se incorporó el bagazo de uva en su totalidad para aprovechar su actividad antioxidante, también se adicionaron nanopartículas de plata sintetizadas de forma eco amigable, mediante síntesis verde, para atribuir al bioplástico actividad antimicrobiana. Por lo tanto, la idea de este trabajo fue diseñar un material de empaque biodegradable para alimentos con propiedades antioxidantes y antimicrobianas a partir de bagazo de uva, almidón de maíz y nanopartículas de plata.

2 ANTECEDENTES

2.1 Empaques en la industria alimentaria

Los sistemas de envasado de alimentos tienen diferentes funciones; sin embargo, su función principal es asegurar el contenido de los alimentos contra los daños físicos, la pérdida o el aumento de humedad, la oxidación y el deterioro biológico. La función secundaria es facilitar la distribución del producto al consumidor (Han et al., 2005; Otoni et al., 2017).

Los envases tradicionales contribuyeron en gran medida al desarrollo de los primeros sistemas de distribución de alimentos, pero ya no son suficientes. La sociedad actual demanda alimentos mínimamente procesados y con menos conservadores, por lo que es necesario desarrollar envases innovadores con funciones mejoradas. A lo anterior se suma la globalización del mercado, la mayor preocupación por la seguridad alimentaria y la búsqueda de la disminución en el uso de plástico y sus desperdicios (Yam, 2012).

Dentro de los materiales más utilizados dentro del mercado del empaquetado de alimentos y bebidas se encuentran los plásticos sintéticos, estos polímeros sintéticos son utilizados por las numerosas ventajas que tienen, como ser inertes químicamente, livianos, duraderos, higiénicos y cómodos, por su variabilidad de forma y tamaño (López, 2013). No obstante, una de las limitantes de estos materiales es que no son biodegradables, lo que significa que se convierten en una fuente de contaminación para el ambiente.

México produce más de 32 millones de toneladas de plásticos al año (Asociación Nacional de Industrias del Plástico, 2018). El reciclaje de éstos se encuentra limitado debido a las dificultades técnicas y económicas; de hecho, menos del 3 % de los residuos de plástico en todo el mundo se reciclan. Además, su incineración puede producir compuestos tóxicos, como los furanos y las dioxinas que se producen al quemar el policloruro de vinilo (PVC) (Otoni et al., 2017; Mohamed et al., 2020)

La acumulación de residuos generada por la constante eliminación y uso extensivo de polímeros procedentes del petróleo, ha suscitado preocupación por los efectos nocivos generados al medio ambiente. En este contexto, en las últimas décadas ha habido una demanda mundial para sustituir los plásticos convencionales por polímeros renovables y biodegradables (Babu et al., 2013).

Esto ha motivado a los investigadores a desarrollar empaques que sean elaborados con materiales biodegradables que a su vez pueden ser comestibles, disminuyendo la contaminación ambiental y garantizando que el empaque cumpla el objetivo principal de protección del alimento. Otro papel importante que se le atribuye a los empaques se encuentra en la cadena de suministro y forma una parte importante del proceso final. Su utilidad se basa en la capacidad de mantener la calidad, prolongar la vida útil y contribuir a la eficiencia económica de los materiales de envasado (Aguirre-Joya et al., 2018).

Algo que gradualmente se ha vuelto una demanda de parte de los clientes al ir a los supermercados, es el constante cambio y transformación de los empaques alimentarios, ya que en la actualidad, para que un producto sea llamativo, el empaque debe cumplir con ciertas características (Rodríguez Saucedo et al., 2014):

- Ser liviano, pero también resistente.
- Que proteja el contenido y que también sea visible.
- Visualmente atractivo, pero con precios bajos.
- Que pueda acomodarse fácilmente en el anaquel e innovador.
- Firme, pero que se abra fácilmente.
- De prolongada duración y reciclable.
- Con un diseño atractivo, pero ergonómico.
- Tener en consideración que la imagen del empaque refleja la calidad del producto y de la compañía.
- Preservar el producto de las posibles acciones físicas, químicas y microbiológicas.

2.1.1 Aplicaciones de empaques biodegradables

Los empaques biodegradables que se utilizan para elaborar películas y recubrimientos comestibles, admiten la utilización de materiales adecuados para ser degradados por estar expuestos a diferentes factores del medio ambiente, estos pueden ser tanto de naturaleza aeróbica como anaeróbica (Escobar, 2011).

Sin embargo, se ha demostrado que las nuevas estrategias, como películas y empaques antimicrobianos son más eficaces que las técnicas de conservación de alimentos usadas tradicionalmente como la pasteurización, procesos térmicos o de secado para proteger los alimentos, sin mermar sus propiedades organolépticas y nutricionales (Clayton et al., 2010). Así, las películas y recubrimientos antimicrobianos comestibles que han atraído el interés de investigadores e industria alimentaria, ya que pueden mejorar la seguridad, la calidad y la funcionalidad de alimentos: así como inhibir el crecimiento de microorganismos patógenos durante almacenamiento, transporte y manipulación (Lagarón et al., 2016).

Uno de los objetivos principales de los empaques biodegradables es aumentar la barrera natural de las frutas y verduras prolongando la vida útil de los productos frescos. Asimismo, un hecho importante a considerar es que éstos materiales pueden ser consumidos con seguridad como parte de los productos o bien degradarse eliminando el impacto ambiental que causan los plásticos a base de petróleo al mismo tiempo prolongando la vida útil de los productos frescos (Aguirre-Joya et al., 2018).

2.1.2 Materiales formadores de empaques biodegradables

Los empaques y recubrimientos biodegradables deben tener al menos dos componentes: una matriz basada en biomacromoléculas que tenga la capacidad de crear una estructura cohesiva y un disolvente (usualmente agua). A menudo se requiere un plastificante para reducir la fragilidad inherente a la mayoría de los biopolímeros. Pueden incorporarse otros componentes, como reticulantes y nano refuerzos, para mejorar las propiedades de barrera, tracción y resistencia al agua

(Valdez, 2018).

Esta clase de empaques se producen a partir de polímeros que se clasifican en polisacáridos, proteínas y lípidos. En la Figura 1 se muestra una lista de los polímeros más utilizados en la fabricación de empaques biodegradables. Hay una diferencia básica entre los polisacáridos y las proteínas. Los polisacáridos son mejores barreras contra los gases, pero pobres barreras contra el vapor de agua (Jeevahan & Chandrasekaran, 2019).

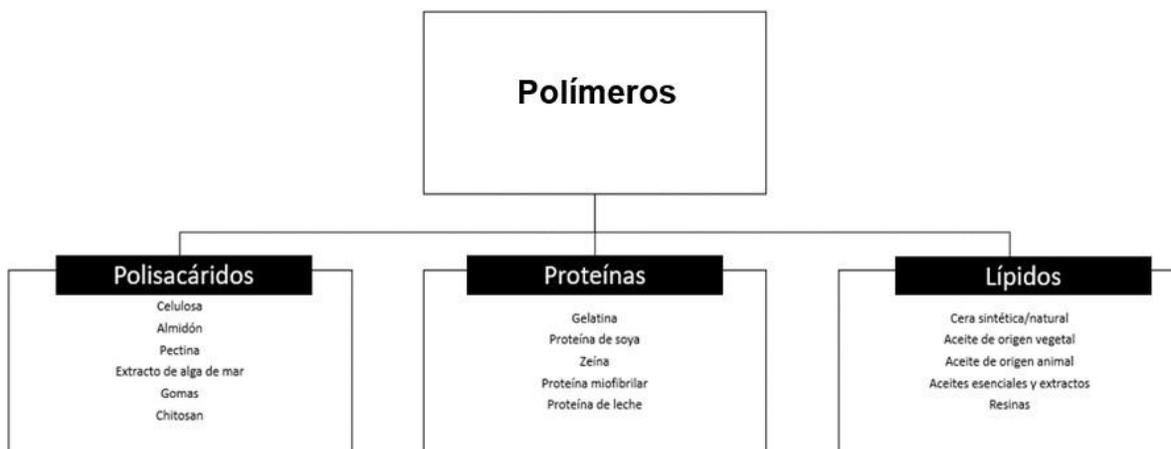


Figura 1 Polímeros biodegradables usados en la fabricación de empaques alimentarios

(Jeevahan & Chandrasekaran, 2019)

2.1.2.1 Biopolímeros

Los biopolímeros pueden definirse como polímeros que son biodegradables por la acción enzimática de los microbios, siendo procedentes de la agricultura y otros recursos tienen la capacidad, tras la mezcla y el procesamiento, de dar lugar a materiales de envasado de alimentos (Yadav et al., 2018). Su funcionalidad puede mejorar si se combinan con otros ingredientes, como plastificantes y aditivos. Los usos potenciales de estos materiales de envasado biopolimérico son (Tharanathan, 2003):

1. Materiales de envasado desechables

2. Bienes de consumo rutinarios de uso cotidiano, como como platos, vasos, contenedores, cajas de huevos, etc.
3. Servilletas desechables para el cuidado personal/almohadillas sanitarias, pañales, etc.
4. Revestimientos de laminación
5. Bolsas para el acolchado agrícola (invernadero)

2.1.2.2 Componentes principales de biopolímeros

El polímero es el componente mayoritario de un empaque biodegradable. Las películas o empaques se preparan a partir de polímeros como hidrocoloides o lípidos y se hacen películas compuestas cuando estos se mezclan. Los hidrocoloides son polímeros hidrofílicos de cadena larga (que incluyen proteínas o polisacáridos) que, cuando se dispersan en agua, pueden formar geles o dispersiones viscosas. Aunque todos los hidrocoloides incrementan la viscosidad, ~~poco~~ pueden formar geles. Las propiedades texturales (como, cremosidad, fragilidad o elasticidad) y sensoriales (como sensación en la boca, opacidad, sabor) de un gel dependen del tipo de hidrocoloide. Las propiedades sensoriales de los empaques basados en hidrocoloides son, generalmente incoloros y transparentes, poseen menor sabor, mientras que los empaques basados en lípidos suelen ser opacos, resbaladizos y de sabor ceroso. Los polisacáridos tienen un fuerte enlace de hidrógeno que une otros aditivos funcionales como colores, sabores y micronutrientes (Mohamed et al., 2020).

2.1.2.3 Empaques a base de carbohidratos

2.1.2.3.1 Generalidades de carbohidratos

Polisacáridos

Los polisacáridos, son materiales no tóxicos y ampliamente disponibles en la naturaleza; tienen permeabilidad selectiva al dióxido de carbono, así como al oxígeno

y pueden actuar como componentes estructurales y sustancias protectoras (Coma, 2013).

Dentro de los polisacáridos más utilizados para la creación de recubrimientos y empaquesse encuentran: la pectina, el almidón, el alginato, la carragenina y la goma xantana (Tang et al., 2012;Espitia et al., 2014).

Almidón

Entre todos los materiales de envasado de alimentos basados en biopolímeros, el almidón es valorado como uno de los más favorables por su fácil disponibilidad, biodegradabilidad y bajo costo. El almidón es la principal forma de carbohidrato almacenado en plantas como el maíz, los cereales, el arroz y las patatas. Su composición consiste de una mezcla de dos polímeros de α -glucosa lineal, la amilosa, y una amilopectina ramificada. Las moléculas de amilosa están compuestas por 200-20.000 unidades de glucosa que forman una hélice como resultado de los ángulos de enlace entre las unidades de glucosa. La amilopectina es un polímero muy ramificado, este tiene cadenas laterales cortas de 30 unidades de glucosa unidas a cada 20-30 unidades de glucosa a través de la cadena (Ray & Bousmina, 2005).

Organización del gránulo

La amilosa y amilopectina se encuentran naturalmente en forma semi cristalina, en entidades llamadas gránulos. Debido a que los gránulos se sintetizan en capas, se ha sugerido que la amilosa y amilopectina se sintetizan en tándem. Las ramas de la amilopectina prefieren interactuar y formar una estructura cristalina que consta de una doble hélice. Las ramificaciones α -(1-6) de la amilosa y la amilopectina interactúan con otras cadenas para formar una doble hélice. Así, la amilosa permanece amorfa y mezclada con amilopectina en los gránulos de almidón (Jane, 2006;Battaner, 2012) .

2.1.2.4 Empaques a base de lípidos

Los lípidos son compuestos que tienen la capacidad de mezclarse con disolventes orgánicos no polares, pero pocos de ellos contienen una parte hidrofílica e hidrofóbica que forma una micela. La diversidad del grupo está formada por monoglicéridos, diglicéridos, triglicéridos, cerebrósidos, fosfátidos, fosfolípidos, terpenos, ácidos grasos y alcoholes grasos. Se encuentran en fuentes naturales como plantas, animales e insectos. La cera y el aceite fueron los primeros materiales utilizados para recubrir los alimentos. Actualmente, para producir películas con propiedades hidrofóbicas, se utilizan como películas barrera en orden de actividad: ceras, gomas lacas, ácidos grasos y alcoholes, acetilglicéridos y compuestos cuya base es el cacao y sus derivados (Debeaufort & Voilley, 2009; Aguirre-Joya et al., 2018).

2.1.2.5 Empaques a base de proteínas

Una proteína consiste en un heteropolímero de más de cien aminoácidos (monómeros) unidos por enlaces peptídicos. Cada uno de estos aminoácidos contiene un carbono central unido a un grupo carboxilo, un hidrógeno, un aminoácido y un grupo R. Las proteínas pueden encontrarse de forma natural, como proteínas fibrosas o proteínas globulares; las globulares se enrollan sobre sí mismas, y las fibrosas se unen entre sí en paralelo. El suero láctico, el caseinato y el colágeno están dentro de las proteínas que más se utilizan en la formación de empaques. Debido a su estructura única, las películas de proteínas tienen mejores propiedades mecánicas que los polisacáridos. Sin embargo, la resistencia mecánica es pobre y la permeabilidad al vapor de agua de los empaques proteicos es mayor en comparación con los polímeros sintéticos (Mohamed et al., 2020).

2.1.3 Propiedades funcionales de un empaque comestible

El rendimiento de los empaques comestibles suele evaluarse mediante algunas características importantes de la película como la resistencia mecánica (TS -

resistencia a la tracción, YM - módulo de Young, y EAB - alargamiento a la rotura), la tasa de transmisión de vapor de agua (WVTR) y color. La resistencia mecánica es esencial para proteger el alimento contenido de las cargas externas, así como las propiedades de barrera son indispensables para evitar la transmisión de líquidos y gases entre el alimento contenido y el entorno. Se añaden plastificantes en la solución formadora del empaque para mejorar la flexibilidad. Las moléculas de plastificante rompen las interacciones polímero-polímero y crean las interacciones polímero-plastificante. Como resultado, la adición de plastificante hace que la película comestible sea suave y flexible. Para fabricar las películas comestibles, se utilizan diferentes tipos de polioles, glicoles, azúcares y lípidos de calidad alimentaria como plastificantes (Jeya, Jeevahan et al., 2020).

2.2 Nanotecnología en empaques comestibles

La mayoría de las aplicaciones de las nanopartículas son materiales en contacto con alimentos, donde se encuentran nanocompuestos, empaques activos y antimicrobianos. Debido a la amenaza que representa la contaminación microbiana de los alimentos, existe un interés creciente en desarrollar envases con propiedades antimicrobianas que desempeñen un papel importante en la prolongación de la vida útil de los alimentos. En los últimos tiempos, se han desarrollado materiales híbridos para aplicaciones de envases activos, combinando polímeros orgánicos y nanotecnología para producir materiales que son biodegradables y que poseen propiedades antioxidantes y antimicrobianas. Estos materiales son el resultado de la demanda actual en la investigación de conservación de alimentos frescos, resultando en la utilización de materiales de envasado naturales con larga vida útil y bajo impacto ambiental (López De la Peña et al., 2016).

2.2.1 Nanopartículas metálicas

Una nanopartícula se puede definir como una partícula microscópica con una dimensión entre 1 y 100 nm (López De la Peña et al., 2016). La propiedad más

importante y distintiva de las nanopartículas es que presentan una mayor relación entre superficie y volumen.

Las nanopartículas más estudiadas en la actualidad son las fabricadas con metales nobles, en particular Ag, Pt, Au y Pd. Las nanopartículas metálicas tienen aplicación en catálisis, optoelectrónica, sondas biológicas de diagnóstico y dispositivos de visualización. De los cuatro tipos anteriores, las nanopartículas más utilizadas son las nanopartículas de plata (AgNPs) sintetizadas a partir de iones plata, esto principalmente a sus propiedades químicas (estabilidad), físicas (conductividad) y biológicas (antibacterial y actividad catalítica) (Jain et al., 2009;Gurunathan et al., 2015).

2.2.2 Nanopartículas de plata adicionadas a empaques comestibles

Las AgNPs incorporadas a una matriz polimérica para crear materiales nanocompuestos son consideradas como innovadoras en el área de embalaje de alimentos. Las AgNPs muestran buenas propiedades antimicrobianas contra una amplia gama de microorganismos, incluyendo bacterias, levaduras y moho. Por lo tanto, el uso de dichos materiales con AgNP en la industria alimentaria podría ayudar a alargar la vida útil de los productos alimenticios al prevenir el crecimiento y el deterioro de microorganismos patógenos (Mihindukulasuriya & Lim, 2014).

Además de su buena actividad antimicrobiana, las nanopartículas de plata en los envases comestibles prácticamente no modifican las características sensoriales de los productos alimentarios, y los hacen de hacerlos más aceptables para los consumidores. Las fuerzas principales entre el biopolímero y las nanopartículas de plata se deben a las interacciones de Van Der Waals entre los grupos hidroxilos del biopolímero y la carga positiva parcial de las nanopartículas. En general, las propiedades mecánicas de las películas compuestas obtenidas mediante el proceso de mezclado dependen de las interacciones de los compuestos y de su miscibilidad, así como de las interacciones intermoleculares entre las cadenas de polímeros. Además, pueden producirse cambios estructurales en la matriz de la película

causados por la presencia de las sustancias incorporadas, lo que da lugar a una estructura menos densa (Kraśniewska et al., 2020).

2.2.3 Síntesis verde de nanopartículas metálicas

Tradicionalmente, la síntesis de nanopartículas ha implicado la producción de sustancias tóxicas, como disolventes y tensioactivos, que pueden tener un impacto en el medio ambiente. El fundamento de la síntesis verde es la reducción de metales empleando especies naturales con poder antioxidante. Durante la última década, muchos sistemas biológicos, incluidas plantas y algas, virus, levaduras, hongos, bacterias y células humanas, han demostrado la capacidad de reemplazar a los agentes reductores químicos (Moghaddam et al., 2015).

Los microorganismos pueden transformar iones metálicos inorgánicos en

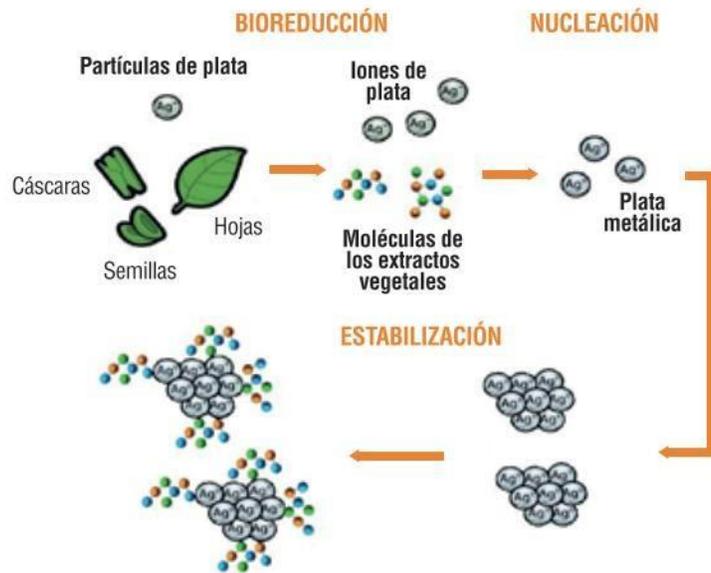


Figura 2 Proceso de síntesis verde de nanopartículas de plata. (Gómez-Garzón, 2018)

La síntesis de nanopartículas puede ocurrir dentro o fuera de la célula, que es como las plantas pueden reducir iones inorgánicos a nanopartículas metálicas tanto en la superficie de la planta como en el medio ambiente.

El mecanismo de síntesis de nanopartículas (derivada de extractos de plantas) está representado principalmente por tres fases (Elumalai et al., 2019):

1. Activación: producción de iones metálicos y la nucleación de átomos metálicos reducidos.
2. Crecimiento: Las nanopartículas pequeñas se combinan espontáneamente para formar partículas más grandes, con una estabilidad termodinámica mejorada de las nanopartículas.
3. Terminación: Se refiere a la forma al obtener las nanopartículas.

2.2.4 Mecanismo de acción de las nanopartículas de plata (AgNPs)

El mecanismo de acción de las nanopartículas de plata puede ser atribuido a su tamaño entre 1 a 100 nm y morfología; A medida que se hacen más pequeñas, mejoran sus interacciones a nivel celular, y su forma esférica también potencia su actividad antibacteriana. Las nanopartículas se unen a la pared celular bacteriana, provocando cambios en su estructura. El mecanismo de acción de la nanopartícula se lleva a cabo por la respiración bacteriana que crea una capa protectora alrededor de la molécula, provocando así la muerte celular (Monge, 2009).

2.2.5 Toxicidad de las en nanopartículas de plata

En general, se acepta que las nanopartículas más pequeñas poseen una mayor toxicidad debido a su mayor superficie relativa, que permite una liberación más intensa de iones de plata reactivos. De hecho, el mecanismo de acción de las AgNP (nanopartículas de plata) está impulsado principalmente por estos iones, que conducen a la generación de especies reactivas de oxígeno que finalmente causan la muerte celular. Por lo tanto, cuantos menos iones de plata se liberen, más débil será la toxicidad celular inducida por las AgNPs (Rónavári et al., 2017).

La ESFA (Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria) recomienda no superar los 0.05mg/L y 0.05 mg/kg de plata en agua y en los alimentos, respectivamente (CDC; NIOSH, 2009).

La toxicidad de las AgNPs depende de su tamaño, concentración y funcionalización superficial. La exposición a las nanopartículas puede producirse por inhalación, ingestión, inyección con fines terapéuticos o por contacto físico directo. Las AgNP inyectadas se translocan a la circulación sanguínea y se distribuyen por los principales órganos, especialmente el riñón, el hígado, el bazo y el cerebro (Kittler et al., 2010).

Sin embargo, Greulich et al., (2011) refirieron que los gránulos no pueden entrar al núcleo celular, complejo de Golgi o retículo endoplásmico debido a su tamaño y su agregación a nivel celular. Por otro lado, Kittler et al. (2010) demostró que la acción biológica de las nanopartículas recién preparadas y las envejecidas (reservadas durante 6 meses) es muy diferente debido a las distintas cantidades de iones liberados durante su almacenamiento.

2.3 Subproductos agroalimentarios

La agroindustria es una actividad económica que mezcla la producción agrícola y los procesos industriales para crear alimentos o materias primas semielaboradas para el mercado. También puede llegar a ser considerado como una sección del sector industrial que se ocupa de producir, transformar, almacenar y comercializar productos provenientes del campo. Los productos industrializados con mayor frecuencia incluyen frutas, hortalizas, raíces, semillas, hojas, tubérculos y bayas. Algunos se venden frescos, otros se procesan en mermeladas, jugos, ensaladas, bebidas alcohólicas como el vino, harinas, aceites, concentrados en polvo y conservadores. Una tendencia mundial es un aumento significativo en la generación de residuos debido a la mayor creación de productos comercializables (Soto et al., 2019).

Frecuentemente al utilizar las palabras residuo, desecho o subproducto dentro de un texto pueden llegar a ser entendidas como términos con significados iguales, sin embargo, existen diferencias entre cada una.

Por tanto, partiendo del concepto de residuo, podemos definir y clasificar estos materiales en dos grupos: desechos y subproductos.

Residuo: Se definen en la Ley General para la Prevención y Manejo General de Residuos (LGPGIR) como materiales o productos en estado sólido o semisólido, líquido o gaseoso que son desechados por el dueño o poseedora y almacenados en contenedores o bodegas que puedan recuperarse o ser objeto de disposición final o destrucción de conformidad con las disposiciones de la misma ley (PROFEPA, 2016).

Desecho: Son materiales que se crean durante las actividades de producción y consumo, no tienen propiedades interesantes en el contexto en el que se producen, y por lo tanto son económicamente viables porque no existe tecnología ni mercado adecuado para su uso (Valdez, 2018).

Subproducto: Producto secundario, generalmente útil, comercializable y por tanto con valor agregado, resultado de un proceso industrial.

2.3.1 Residuos agroindustriales

De acuerdo con la (PROFEPA, 2016) un residuo es un material o producto que se puede eliminar y recuperar. La producción de alimentos, y en particular la agricultura, genera grandes cantidades de residuos que pueden ser aprovechados de diversas formas por otros sectores productivos, incluido el propio sistema productivo agrícola (Rosas et al., 2016).

Según cifras proporcionadas por la FAO (2011) alrededor de una tercera parte de los alimentos producidos se desperdicia. Estos daños varían según el sector considerado y pueden llegar hasta el 50% para las frutas y hortalizas (Gurunathan et al., 2015).

El sector agroindustrial genera residuos que pueden ser definidos, según Mejías et al., (2016) como materiales sólidos o líquidos obtenidas mediante el consumo directo de productos primarios o su industrialización y que ya no son aplicables a los procesos por los cuales fueron producidos, pero que pueden ser utilizados o transformados para obtener otro producto de importancia económica, comercial o social.

2.3.1.1 Aprovechamiento de residuos agroindustriales

Los desechos agroindustriales no deben contribuir a generar más desechos y deben utilizarse a través de 'tecnologías limpias' destinadas a reducir el impacto ambiental. Los residuos industriales agrícolas tienen dos usos. La primera es a través de la Biotecnología para investigación y aplicación en diversos campos industriales, y la segunda es la recuperación de energía. La Biotecnología ha hecho posible la biotransformación de desechos industriales agrícolas por extracción directa, transformación microbiana o química en productos comerciales de mayor valor agregado (colorantes en polvo, antibióticos, enzimas, etc.) y la intención de mejorar la calidad ambiental a través de tecnologías orientadas hacia una transformación sustentable de los recursos naturales (Mejías et al., 2016).

En la agricultura mexicana, los productos más industrializados son: frutas, hortalizas, tubérculos y bayas, semillas, raíces, hojas. Algunos se venden crudos, otros se transforman en harina, aceites, néctares, jugos, vinos, mermeladas, ensaladas y concentrados. Termina con la industrialización, la comercialización y el consumo (Valdez, 2018).

2.3.1.2 Residuos de la industria vinícola

La uva es una de las frutas más cultivadas en todo el mundo, con una producción estimada en más de 69 millones de toneladas en 2012, y nacional con una producción de 5510 toneladas en el año 2018 según estadísticas obtenidas (FAO, 2018).

En términos de superficie sembrada con uvas, México ocupa el quinto lugar en el continente Americano (OIV, 2005). La producción de uva en el país se divide en tres regiones principales: la zona Norte (Baja California y Sonora), la zona de La Laguna (Coahuila y Durango) y la zona Centro (Zacatecas, Aguascalientes y Querétaro) (OIV, 2021).

La industria del vino produce grandes cantidades de residuos (15 y 20% del peso de la fruta cosechada) como el bagazo. Debido a la extracción incompleta durante la vinificación, el orujo de uva que sobra de este proceso tiene un alto contenido

fenólico, con aproximadamente un 60-70% en los hollejos. El grado de extracción depende de la variedad de uva, la madurez de la fruta, los factores ambientales y las técnicas y procesos utilizados en el proceso de elaboración del vino (Kammerer et al., 2004).

Los subproductos agrícolas e industriales son fuentes atractivas de antioxidantes naturales. Distintos subproductos han sido creados y son fuente de compuestos fenólicos bioactivos como por ejemplo: cascara de patata, orujos de aceituna, aceite de oliva, pepitas de uva, orujos de manzana, de vino, de uva, de zanahoria, pepitas y pieles de cítricos, hojas usadas de té, subproductos del coco etc. (A. C. da Silva & Jorge, 2014).

2.3.1.3 Bagazo de uva

El proceso de transformación de la uva produce gran cantidad de residuos, especialmente bagazo. Este es el resultado de la fermentación en forma de residuos tallos, piel, pulpa, semillas y racimos, remanentes después del prensado de la uva, como se representa en la Figura 3 (Fontana et al., 2013; Escamilla-García et al., 2017).

Durante el proceso de producción de vino, las uvas se prensan para extraer la parte líquida de la fruta (mosto), donde muchos de los compuestos fenólicos migran desde el bagazo. El mosto se somete a una fermentación natural por parte de las levaduras que se encuentran en la superficie de la uva. En el caso de los vinos tintos, la maceración del bagazo con el mosto tiene lugar simultáneamente con la fermentación para permitir la migración de compuestos, como taninos, antocianinas y compuestos volátiles, al vino. Durante la fermentación del mosto, la temperatura puede ajustarse entre 28 y 30 °C. En estas condiciones, se obtiene un mayor contenido de taninos en el vino, con la consiguiente reducción de los taninos residuales y otros compuestos fenólicos en el bagazo de la uva. Sin embargo, una cantidad considerable de flavonoles (catequinas y proantocianidinas) permanece en el bagazo, manteniendo una importante actividad antioxidante, por lo que resulta de especial interés recuperar los compuestos fenólicos bioactivos de estos productos (Cornejo Garcia, 2012;

Maldonado-muñiz et al., 2019).



Figura 3 Bagazo de uva roja y componentes. (Fontana et al., 2013)

2.3.1.3.1 Composición química del bagazo de uva

Las semillas de uva son ricas en antioxidantes fenólicos extraíbles, como el ácido fenólico, los flavonoides, las procianidinas y el resveratrol, mientras que los hollejos contienen abundantes antocianinas. Además de los antioxidantes fenólicos, este bagazode uva también contiene una cantidad significativa de lípidos, proteínas, fibra no digerible y minerales. Las semillas de uva contienen entre un 13 y un 19% de aceite, que es rico en ácidos grasos esenciales, alrededor de un 11% de proteínas, un 60-70% de carbohidratos no digeribles y antioxidantes no fenólicos como los tocoferoles y elbetacaroteno (Yu & Ahmedna, 2013).

Los tallos de uva también contienen grandes cantidades de taninos condensados compuestos por unidades de monómero de flavan-3-ol. Los taninos condensados son moléculas que pueden reaccionar con nucleófilos, reactivos químicos y electrófilos a través de reacciones de auto condensación. Estos polifenoles condensados podrían convertirse en el valor añadido para ciertos productos (Pizzi,

2012).

Compuestos fenólicos (CF)

Los compuestos fenólicos (polifenoles) forman uno de los grupos de productos naturales más grandes y con mayor distribución en el reino vegetal, estos también incluyen una amplia variedad de moléculas con estructuras polifenólicas (es decir varios grupos hidroxilos en anillos aromáticos) y también moléculas con un solo anillo fenólico, como ácidos fenólicos y alcoholes fenólicos. Los fenoles contenidos en la uva y el vino pueden clasificarse en general en tres grupos principales: (1) ácidos fenólicos (principalmente ácidos benzoicos e hidroxicinámicos), (2) flavonoides simples (catequinas, flavonoles y antocianinas) y (3) taninos y proantocianidinas. Se han identificado muchos fenoles en el bagazo de uva, siendo los más abundantes las antocianinas, los ácidos hidroxibenzoico e hidroxicinámico, los flavonoles y los estilbenos (Fontana et al., 2013).

Los compuestos fenólicos están involucrados en una variedad de funciones, incluida la función estructural de las paredes celulares, la protección contra microorganismos e insectos, la pigmentación de hojas y flores, el mantenimiento de la integridad a través de la exposición constante a ambientes estresantes como la luz ultravioleta y la protección contra los cambios de temperatura (Muñoz de la Cruz-Fabiola, 2018).

No flavonoides

Los no flavonoides incluyen fenoles, ácidos fenólicos, ácidos cinámicos, ácidos fenilacéticos y estilbenos. Los ácidos cinámicos están presentes principalmente como ácidos hidroxicinámicos en forma de ésteres del ácido tartárico. Los más importantes son el cafeico, el ferúlico y el p-cumárico, que están presentes en la vacuola de las células de la piel y la pulpa. Las proporciones son de 2 a 100 veces mayores en la piel que en la pulpa, según la variedad de uva, la concentración disminuye durante el desarrollo y la madurez. Entre los ácidos benzoicos, el ácido gálico, en forma de ésteres de flavanol (galocatequinas, epigalocatequinas), es abundante. El ácido gálico es conocido por sus actividades antioxidantes, antimutagénicas y

hepatoprotectoras. Dentro de la familia de los estilbenos, las fitoalexinas son sintetizadas por las plantas en respuesta al estrés o a las restricciones de diversos tipos de sustancias; entre ellas, el resveratrol es especialmente abundante en la piel de la uva, pero no en las hojas, y desempeña un papel importante en la resistencia a ciertas enfermedades fúngicas. La concentración cambia según la variedad de uva; en el vino tinto es de aproximadamente 1.5 y 3 mg/L (Muñoz de la Cruz, Fabiola, 2018) .

Flavonoides

Los flavonoides se definen como pigmentos naturales ubicados en las plantas, que ayudan a proteger el cuerpo de los efectos nocivos de los oxidantes como los rayos UV, la contaminación ambiental y los químicos que se encuentran en los alimentos. Contiene grupos fenólicos hidroxilo y excelentes propiedades quelantes para el hierro y otros metales de transición, lo que resulta en excelente capacidad antioxidante. Por esta razón, juegan un papel importante en la protección contra el estrés oxidativo y tienen efectos terapéuticos en numerosas afecciones, como la cardiopatía isquémica, aterosclerosis y cáncer (Martínez-Flórez et al., 2002).

4 OBJETIVO

4.1 Objetivo general

Diseñar un material de empaque biodegradable para alimentos con propiedades antioxidantes y antimicrobianas a partir de bagazo de uva, almidón y nanopartículas de plata.

4.2 Objetivos específicos

1. Elaborar un material de empaque que presente mayor ángulo de ruptura y menor solubilidad a base de bagazo de uva, almidón de maíz y plastificante.
2. Determinar la concentración de nitrato de plata y el material vegetal en la reacción de síntesis verde para la mayor producción de nanopartículas de plata.
3. Cuantificar la capacidad antioxidante, las propiedades físicas y mecánicas, así como de barrera, elásticas y de biodegradabilidad del empaque adicionado con nanopartículas de plata.
4. Evaluar el efecto de las nanopartículas de plata sobre las propiedades antifúngicas del empaque elaborado.

5 MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Materiales

El almidón en polvo se adquirió de PROLAB, Romex de Occidente S.A., el ácido acético glacial de Reactivos analíticos AyT. El agua utilizada es destilada dentro de la Universidad Autónoma de Querétaro y la glicerina de Gold Bell Reactivos, Materiales y Abastos personalizados S.A. de C.V.

Para la síntesis verde de nanopartículas de plata (AgNPs), el nitrato de plata (AgNO_3) se obtuvo de Sigma Aldrich y la albahaca (*Ocimum basilicum*) variedad blanca, fue comprada de un mercado local (Mercado Josefa Ortiz de Domínguez "La Cruz", Santiago de Querétaro, Qro).

5.2 Preparación del bagazo de uva

El orujo de *Vitis vinifera* "Cabernet Sauvignon" fue donado por Tierra de Peña, ubicada en Carretera Bernal, Querétaro. Los residuos correspondieron a la producción de vino de 2021. El bagazo de uva obtenido post fermentación, se secó en un horno de convección a 60 °C durante 12 horas. A continuación, los residuos secos se pulverizaron hasta obtener partículas finas utilizando una trituradora mezcladora (KRUPS GX4100) y tras este proceso, el polvo resultante se tamizó con malla 60.

5.3 Síntesis verde y caracterización parcial de nanopartículas de plata elaboradas con extracto de *Ocimum basilicum*

La metodología utilizada fue según la descrita por (Flores, 2020; Centeno, 2021). Las hojas de *Ocimum basilicum*, se lavaron con agua y jabón, posteriormente se agregó agua destilada y se llevó a ebullición (96 °C) durante 2 minutos como se muestra en la Figura 4 (Ingale & Chaudhari, 2013). La reacción se detuvo en baño

de hielo, y después se filtró la infusión con papel de poro fino al vacío (Whatman, 40mm) y se ajustó a el pH a 12 con ácido tartárico al 10% p/v (Fagalab, México). La solución se esterilizó por calor húmedo en autoclave (TFal, 22 L, México), posteriormente se agregó una solución de nitrato de plata para obtener una concentración final de 50 μM . Y por último se agitó en incubadora (Prendo, INO 650V-99) a 160 rpm por 24 horas protegido de la luz.



Figura 4 Síntesis verde de nanopartículas de plata, modificado de (Ingale & Chaudhari, 2013).

Las AgNPs se produjeron en base a las condiciones previamente determinadas. Una vez sintetizadas, las nanopartículas producidas se caracterizaron mediante espectrofotometría UV-Vis, microscopía electrónica de trasmisión (TEM) y microscopía electrónica de barrido (SEM) (Ji et al., 2016).

5.4 Preparación de empaque adicionado con AgNPs

El método de preparación del empaque fue adaptado según (Ji et al 2016), con algunas modificaciones. Se añadió almidón de maíz nativo, bagazo de uva secado y molido, glicerol, ácido acético en agua destilada para formar dispersiones de almidón y plastificante, por último, se adicionaron nanopartículas de plata (AgNPs). Se realizaron dos tipos de empaques: el primero con bagazo de uva y los materiales de formación mencionados anteriormente, sin AgNPs denominado “empaque sin AgNPs” y el segundo añadiendo AgNPs, denominado “empaque con AgNPs”.

La solución se calentó a 82 °C con agitación continua durante 10 minutos para permitir la gelatinización completa del almidón de maíz. Para la formación del empaque, se utilizó la técnica de vaciado, después se pasó a un tapete de silicón para finalmente secar en horno de convección forzada (Serie Air Performance, Dynamica, AP60, Froilabo, Querétaro, México) a 45 °C por 5 horas.

5.5 Evaluación de la actividad antifúngica de los empaques

El análisis microbiológico se realizó con el método de difusión en disco de agar, siguiendo la metodología de Ji et al. (2016) con modificaciones. Los hongos se recuperaron de un cultivo madre y se inocularon por picadura en cajas Petri con agar papa dextrosa (APD), *Penicillium* spp y *Aspergillus niger* se incubaron durante 3 días a 30 °C, mientras que *Botrytis cinérea* se incubó en obscuridad y a temperatura ambiente (~25 °C) durante 15 días. Las esporas se recuperaron en suspensión añadiendo dos mililitros de 0.05 % (p/v) Tween 80 estéril a la superficie de cada placa. La concentración de esporas se determinó mediante recuento en cámara de Neubauer y se inocularon a 1×10^6 esporas por extensión en superficie en una placa APD de 60 mm de diámetro. Las placas se incubaron durante 72 h como se mencionó previamente. Posteriormente, se cortaron círculos de biomasa de 7 mm de diámetro, utilizando puntas de micropipeta estériles, de las placas con crecimiento fúngico. Los discos fúngicos se colocaron sobre una lámina de empaque plástico con y sin AgNPs, previamente esterilizada por ambos lados mediante exposición durante 15 min a luz UV, colocada dentro de una caja Petri estéril. El control consistió en transferir los discos de biomasa a una placa con APD estéril. Las placas se incubaron durante 72 h a 30 °C o temperatura ambiente, dependiendo de la cepa, y el crecimiento microbiano se determinó midiendo el diámetro de los círculos de cultivo fúngico. El porcentaje de inhibición radial se calculó utilizando la Ecuación 1.

$$\% \text{ Tasa de inhibición} = 100 \left(\frac{R-r}{R} \right) \quad (1)$$

Donde R es el crecimiento radial fúngico del control y r es el crecimiento radial fúngico sobre el bioplástico.

5.6 Determinación de propiedades físicas de empaque

5.6.1 Propiedades mecánicas

Estos ensayos se realizaron en un texturómetro TA.XT2i – Stable Micro Systems empleando mordazas de tensión A/TG. Se utilizaron probetas de películas de 7×0.7 cm, por triplicado con cada muestra. Mediante el software Texture Expert Exceed se registraron automáticamente las curvas de fuerza (N) en función de la deformación (mm) y a partir de las mismas se calcularon los siguientes parámetros: fuerza de tensión (N) y porcentaje de elongación a la ruptura (deformación a la ruptura dividido entre la longitud inicial de la probeta, %)(Qin et al., 2019).

5.6.2 Contenido de humedad

El contenido de humedad se determinó después de secar en un horno de convección a $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 4h. Las muestras del empaque se pesaron previamente, teniendo un peso inicial de 8 g. Las capsulas de porcelana (crisol) se pusieron a peso constante secando en la estufa, durante un mínimo de 2 horas a $100 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, después se introdujeron en un desecador y se dejaron enfriar a temperatura ambiente para finalmente ser pesadas en una balanza con precisión de 0,1 mg (M_1). Las cápsulas fueron introducidas en la estufa con la muestra, se secaron de 2 a 4 horas a $100^{\circ} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta alcanzar el peso constante, transcurrido este tiempo se pasaron a un desecador a temperatura ambiente, y por último pesadas en balanza. Todo esto basado en PROY-NOM-211-SSA1-2002.

El porcentaje de humedad será obtenido de acuerdo a la siguiente Ecuación 2:

$$\% \text{ de humedad} = \frac{M_2 - M_3}{M_2 - M_1} \times 100 \quad (2)$$

En donde:

M_1 = Peso de la cápsula (g)

M_2 = Peso de la cápsula más muestra húmeda (g)

M3 = Peso de la cápsula más muestra seca (g)

5.6.3 Espesor de la película

El espesor de cada película compuesta se midió de acuerdo a lo realizado por (Wang et al., 2019) con un medidor de espesor. Se tomaron uniformemente 10 puntos en el centro y de la periferia de la muestra al 0.01 mm más cercano. Se tomó el valor promedio como el valor de espesor t de la película compuesta. El espesor de la película compuesta fue determinado para proporcionar una base para otros indicadores.

5.6.4 Propiedades de transmisión de luz y color

La prueba de transmisión de luz realizada en la región de luz visible y las propiedades de color de la película fue evaluado utilizando el espacio de color CIELAB mediante un KONICA CM-3600d COLORFLEX-DIFF2, HunterLab, Hunter Associates Laboratory, Inc.(Reston, Virginia, EE. UU.). Se midieron las coordenadas de color, L (luminosidad), a^* (rojo-verde) y b^* (amarillo-azul). El instrumento fue calibrado con una baldosa blanca estándar. Las medidas se llevaron cabo por quintuplicado en posiciones aleatorias sobre la superficie de la película. Se calcularon los valores medios de estas cinco pruebas. La diferencia de color total (ΔE) fue calculada de la siguiente manera (Formula 3):

$$\Delta E = \sqrt{\Delta a^2 + \Delta b^2 + \Delta L^2} \quad (3)$$

5.6.5 Permeabilidad al vapor de agua

La permeabilidad al vapor de agua (WVP) de los empaques se midió usando el método ASTM E96 (1995) con algunas modificaciones. Se colocaron las muestras en celdas de permeación de acrílico con una abertura circular de área conocida, las cuales contenían en su interior sílica gel (0 % HR). Posteriormente se pesaron las muestras en una balanza analítica y se llevaron a una cámara a 20 °C equilibrada a 75 % HR

con una solución saturada de cloruro de sodio.

5.7 Determinación de actividad funcional de empaque

5.7.1 Obtención del extracto fenólico

Los compuestos fenólicos presentes en el bagazo de uva y en los empaques bioplásticos, se extraerán siguiendo la metodología reportada por Pérez-Nájera et al., (2013) con algunas modificaciones. El procedimiento de extracción inició pesando 66.7 g bagazo de uva molido y 0.5 g de empaque con y sin AgNPs, a los cuales se agregaron 1000 mL de metanol-agua (80:20).

Posteriormente, fueron puestos en un agitador a 100 rpm durante 24 h, por último se centrifugaron a 5,000 rpm durante 10 minutos a 22 °C , descartándose el precipitado.

5.7.2 Determinación de compuestos fenólicos solubles totales

Utilizando el método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu modificado por (Escamilla-García et al., 2017). Se diluyeron 50 µL del extracto en 3 mL de agua destilada y 250 µL del reactivo de Folin-Ciocalteu (1 N) dejando reposar 5 min. Después de este tiempo de equilibrio, 750 µL de Na₂CO₃ (20% v/v), 950 µL de agua destilada fueron añadidos a los extractos, el cual se dejó reposar por 30 minutos en oscuridad a temperatura ambiente. Las muestras fueron leídas a una absorbancia de 765 nm con un espectrofotómetro. Los resultados fueron expresados como mg equivalentes de ácido gálico (EAG)/100 g de polvo seco. La curva de calibración se realizó con concentraciones entre 50-1000 ppm de ácido gálico.

5.7.3 Capacidad antioxidante mediante ABTS

Se empleó la técnica descrita por Nenadis et al., (2004). Para la activación del radical, 12 horas antes de realizar el ensayo, se mezclaron 5 mL de una solución acuosa de ABTS (2,2'-azinobis(3-etilbenzotiazol-6-ácido sulfónico) 7mM con 88 µl de una solución de persulfato de potasio (K₂S₂O₈) 140 mM, esta solución se conservó en

un lugar oscuro antes de su uso.

Terminado el tiempo, a 500 µl de la solución se les agregaron de 24 ml de etanol. El extracto del empaque (60 µl) se añadió a la solución ABTS y la absorbancia fue leída a una longitud de onda de 734 nm. en una microplaca y se leyeron después de 7 minutos en un espectrofotómetro MultiSkan Go a 734 nm. Se generó una curva estándar de Trolox en un rango de concentración 50-1000 µM.

El porcentaje de inhibición fue calculado la Formula 4.

$$\% \text{ inhibición} = \frac{\text{Abs ajustada} - \text{Abs leída}}{\text{Abs ajustada}} \times 100 \quad (4)$$

Donde % inhibición es la actividad antioxidante de la muestra

Abs leída es la absorbancia de la muestra a 734 nm

Abs ajustada es la absorbancia del control (etanol 10%) a 734 nm

5.7.4 Capacidad antioxidante mediante DPPH

La capacidad antioxidante DPPH se evaluó como lo descrito por Zhang et al., (2017).

El extracto del empaque y la solución diluida de DPPH se mezclaron en una proporción de 1:39 y la mezcla se dejó reaccionar durante 1 hora.

Después, se midió la absorbancia a 517 nm. La capacidad antioxidante del bagazo de uva también se midió con el mismo método que el utilizado para los extractos del empaque.

El % de inhibición se calculará utilizando la siguiente Formula (5)

$$\% \text{ Inhibición} = \left(\frac{\text{Abs control} - \text{Abs muestra}}{\text{Abs control}} \right) * 100 \quad (5)$$

Donde % inhibición es la capacidad antioxidante de la muestra

Abs muestra es la absorbancia de la muestra a 517 nm

Abs control es la absorbancia del control a 517 nm

5.8 Prueba de biodegradabilidad

La biodegradabilidad del empaque se determinó por la medición de la pérdida de masa del material expuesto al suelo, siguiendo el método G160-12 (ASTM, 2019). El suelo vegetal tuvo las siguientes especificaciones N (mínimo) = 1%, materia orgánica mínima = 40%, humedad máxima = 40%, pH = 6 y C/N máxima = 18/1. Las muestras de empaques biodegradables con y sin AgNPs fueron cortadas en cuadros de 10 x 10 mm y enterrados a una profundidad de 7.5 cm. Durante 60 días las muestras fueron mantenidas a temperatura ambiente en suelo, tomando una muestra de empaque cada 5 días (sacrificando muestra). Cada muestra fue pesada previo a ser enterrada, así como después de extraída del suelo. Posteriormente se determinó la pérdida de masa de acuerdo a la formula (6).

$$\% \text{ Pérdida de peso} \quad (6)$$
$$\frac{P_0 - P_f}{P_0} \times 100$$

5.9 Análisis estadístico

Las pruebas se realizaron por triplicado y los resultados se expresaron como la media \pm desviación estándar. Se aplicó análisis de varianza, seguido de una comparación de medias por la prueba de Tukey ($p=0.05$).

6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Síntesis verde de nanopartículas de plata

Al mezclar el extracto de hoja de *Ocimum basilicum* con la solución acuosa del AgNO_3 (nitrato de plata), este mostró una coloración amarillo pálido y comenzó a cambiar el color de acuoso amarillo a marrón debido a la reducción del ion plata como se puede observar en la Figura 5, lo que indicó la formación de nanopartículas de plata.

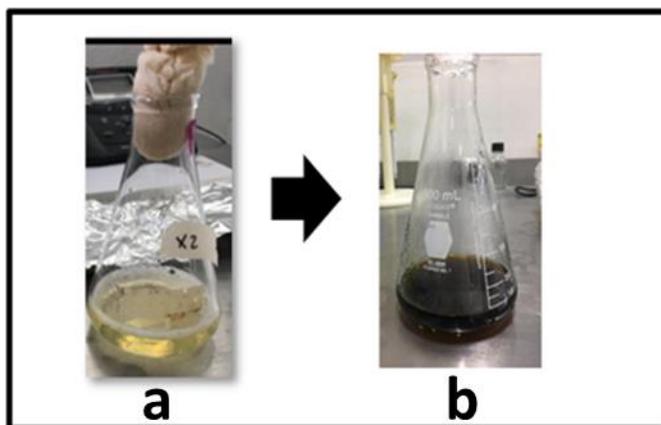


Figura 5 Infusión de planta para síntesis de nanopartículas. Fotografías mostrando cambio de color de: a) Infusión de *Ocimum Basilicum* y b) Adición de AgNO_3 a la infusión

La metodología que se utilizó fue según la descrita por (Trabajo sin publicar; Autor: Sandoval Cárdenas, Diana Issell), de la cual se hicieron algunas modificaciones buscando obtener una mayor concentración final de AgNPs.

Se realizó un estudio preliminar utilizando dos factores a la vez como se muestra en la Figura 6, donde los factores a modificar fueron los siguientes parámetros: cantidad de AgNO_3 y de materia vegetal (hojas), esto con el fin de obtener una mayor concentración de AgNPs.

La primera modificación, como se indica en la Tabla 1, fue la concentración de AgNO_3 , utilizando la concentración de la metodología original (1mM), además de un aumento de hasta 50 mM y 100 mM. Este aumento, resultó en una mayor concentración de AgNPs al utilizar 50 mM de AgNO_3 , sin embargo al aumentar la

cantidad de AgNO_3 este resulto en la inhibición de la producción de nanopartículas de plata.

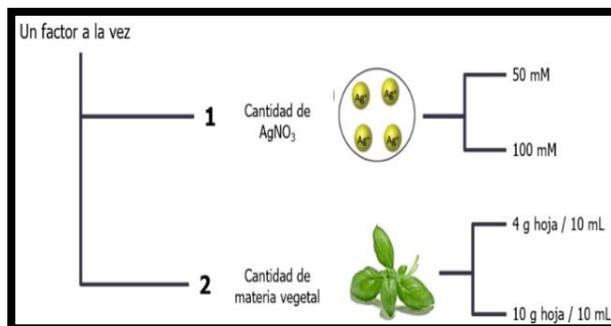


Figura 6 Modificación de parámetros para síntesis verde de AgNPs.

Tabla 1 Parámetros modificados en síntesis verde: Concentración AgNO_3

Concentración inicial AgNO_3 (mM)	Concentración de AgNPs (mg/mL)
1	0.195 ± 0.01
50	$1.641 \pm 0.10^*$
100	0.089 ± 0.02

Los resultados se expresan como la media \pm la desviación estándar * significa diferencia significativa por la prueba de Tukey.

El segundo parámetro modificado, fue la cantidad de hojas utilizadas para la infusión, en el cual se utilizo un diseño de tres a la dos. Según lo reportado por Veerasamy et al., (2011) debe añadirse suficiente extracto de hoja para reducir el nitrato de plata presente en la solución. Utilizando diferentes concentraciones (máximo de 50 mM) de acuerdo a los resultados obtenidos previamente, se añadieron dos cantidades distintas de material vegetal (hojas de planta), para finalmente elegir la proporción óptima de reacción.

La Tabla 2 muestra los resultados de acuerdo a las modificaciones realizadas, en la cual se puede observar que los mejores dos rendimientos se obtuvieron con una concentración de 50 mM y con las dos cantidades de material vegetal. Debido a que no se tienen diferencias significativas entre estos dos resultados, se eligió la menor

cantidad de material vegetal (4 g).

Entre los parámetros que pueden modificar el rendimiento final de nanopartículas, según (Veerasamy et al., 2011) se encuentran: cantidad de hojas para infusión, pH, tiempo de reacción posterior a adición de AgNO_3 y temperatura.

Tabla 2 Parámetros modificados en síntesis verde: Material vegetal

Concentración AgNO_3 (mM)	Material vegetal (g)	Concentración de AgNPs (mg/mL)
10	4	0.3160 ± 0.016
10	10	0.2503 ± 0.018
25	4	1.2844 ± 0.140
25	10	0.6658 ± 0.035
50	4	$1.5375 \pm 0.470^*$
50	10	$1.9116 \pm 0.079^*$

Los resultados se expresan como la media \pm la desviación estándar * significa diferencia significativa por la prueba de Tukey.

6.2 Caracterización de nanopartículas de plata

6.2.1 Espectrofotometría UV-Vis

La interacción de los iones metálicos con las biomoléculas de la hoja de *O. basilicum*, provocó la reducción de los iones Ag^+ a Ag^0 por los metabolitos secundarios de la planta que a su vez son oxidados a otras especies. Aunque el mecanismo no se ha dilucidado adecuadamente, son componentes como los polioles, aminas, fenólicos, flavonoides y compuestos heterocíclicos solubles en agua, así como otros factores como azúcares reductores, proteínas y otros metabolitos oxido-reductores presentes en los extractos de hojas de *O. basilicum* los que poseen la capacidad de reducir los iones Ag^+ a Ag^0 (Malapermal et al., 2017).

La Figura 7 muestra el espectro de absorción de las AgNPs sintetizadas mediante síntesis verde, por triplicado. Se observó un máximo de absorción entre los 425-431 nm, característico de las nanopartículas metálicas que tienen electrones libres. Se

han obtenido resultados similares utilizando especies vegetales, obteniendo AgNPs mediante síntesis verde (Elumalai et al., 2019; Malapermal et al., 2017)

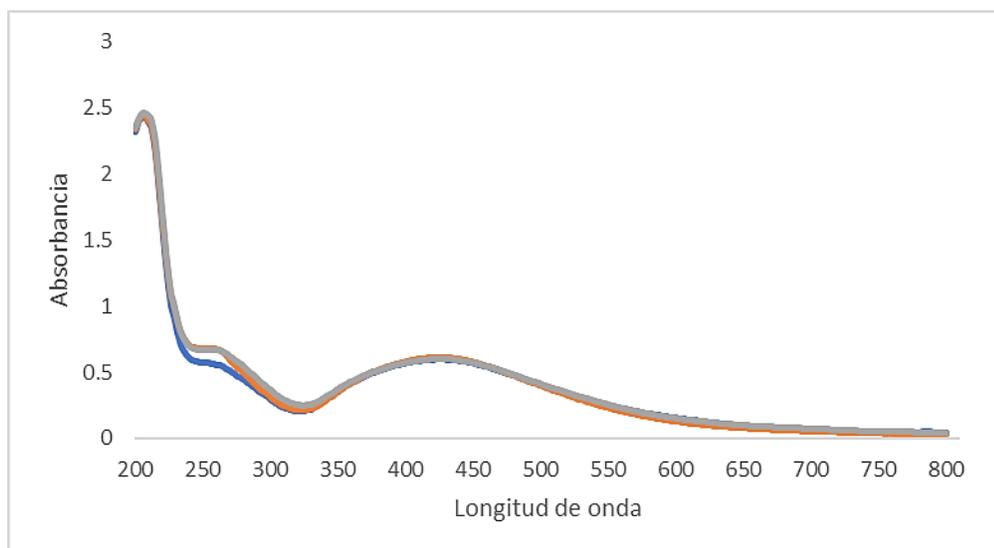


Figura 7 Espectro de absorción UV-Vis de Nanopartículas de plata 50 mM

Como lo descrito por Sulaiman et al., (2013) las AgNPs aparecen en el rango de longitud de onda UV-Visible en un rango de 350 a 700 nm, dependiendo del tamaño y forma de la partícula.

6.2.2 Espectroscopía Electrónica de Transmisión (TEM)

Las micrografías TEM indicaron que la mayoría de las AgNPs mostraron una forma casi esférica y se encontraban predominantemente monodispersas (Figura 8c). Las AgNPs mostraron una distribución de tamaño medio de 16.87 ± 7.67 nm (Figura 8d).

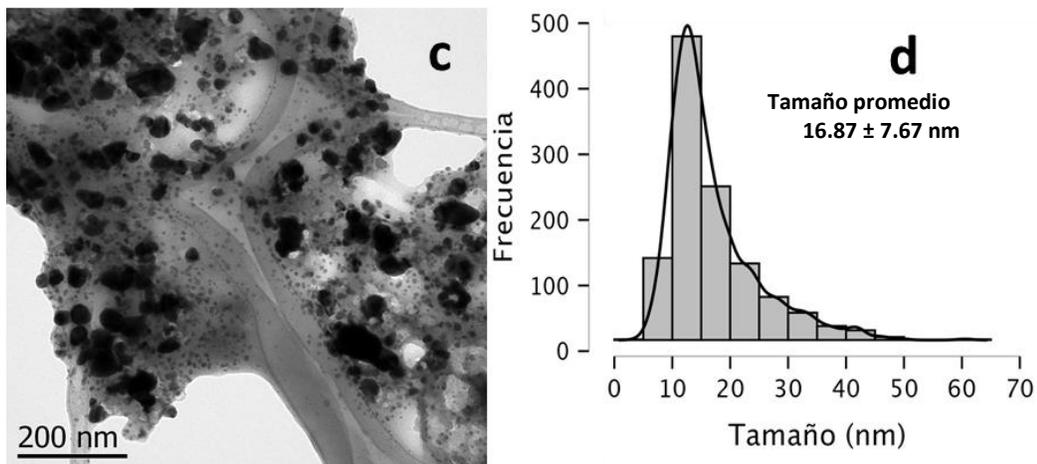


Figura 8 Micrografía electrónica de transmisión de Nanopartículas de plata (AgNPs) (c) y su distribución de tamaño (d).

6.3 Caracterización empaques con y sin AgNPs

6.3.1 FTIR

La figura 8 presenta los espectros FTIR correspondientes a muestras de bagazo de uva y empaques con y sin AgNPs. En cuanto al bagazo de uva, las bandas de compuestos fenólicos encontradas en las uvas pueden observarse en la región entre 880 y 1680 cm^{-1} . Las bandas en el rango 1500-1600 cm^{-1} se atribuyeron a las vibraciones de los enlaces C=C, típicas de sistemas aromáticos. Asimismo las bandas intensa en 1750 cm^{-1} es atribuible a la vibración de estiramiento de los restos de -COOR (es atribuible a la vibración de estiramiento de un grupo C=O en carboxilo esterificado a metilo o ácido carboxílico protonado O=C-O-H) y la absorción en torno a 2930 cm^{-1} se relaciona con la vibración de estiramiento del C-H (W. Silva et al., 2017). Los picos observados entre 3000 y 3700 cm^{-1} en ambos espectros corresponden al grupo hidroxilo con enlace de hidrógeno (O-H) debido al complejo estiramiento vibracional que se produce de forma natural en la estructura de los carbohidratos.

Los picos agudos obtenidos en el número de onda 2850 a 3000 cm^{-1} indican el estiramiento del enlace C-H de los grupos CH₂ en la estructura del almidón. Los picos en el número de onda de 1580 a 1750 cm^{-1} en ambos espectros se asignan a la

desviación del grupo OH del agua, que se debe específicamente al modo de flexión de los grupos hidroxilos en las moléculas de agua (Dong et al., 2021).

Para los empaques con y sin AgNPs, es interesante observar que los picos observados en los empaques con AgNPs mostraron un ligero aumento en las intensidades de las bandas en la región 950-1450 cm^{-1} , en comparación con el empaque sin AgNPs. De forma similar (Roy et al., 2019; Ardjoum et al., 2021) observaron que al adicionar AgNPs en una matriz polimérica mostraban un aumento en la intensidad de las bandas. Sin embargo, también se puede señalar que los espectros de los empaques con AgNPs no mostraron nuevas bandas, comparando con el empaque sin AgNPs. Estos resultados sugieren que no se produjo ninguna interacción química específica por FTIR entre los materiales de formación del empaque (almidón de maíz-glicerol-acido acético) / bagazo de uva y las AgNPs añadidas, que podrá haber solo una interacción física entre las nanopartículas y las cadenas poliméricas de la matriz.

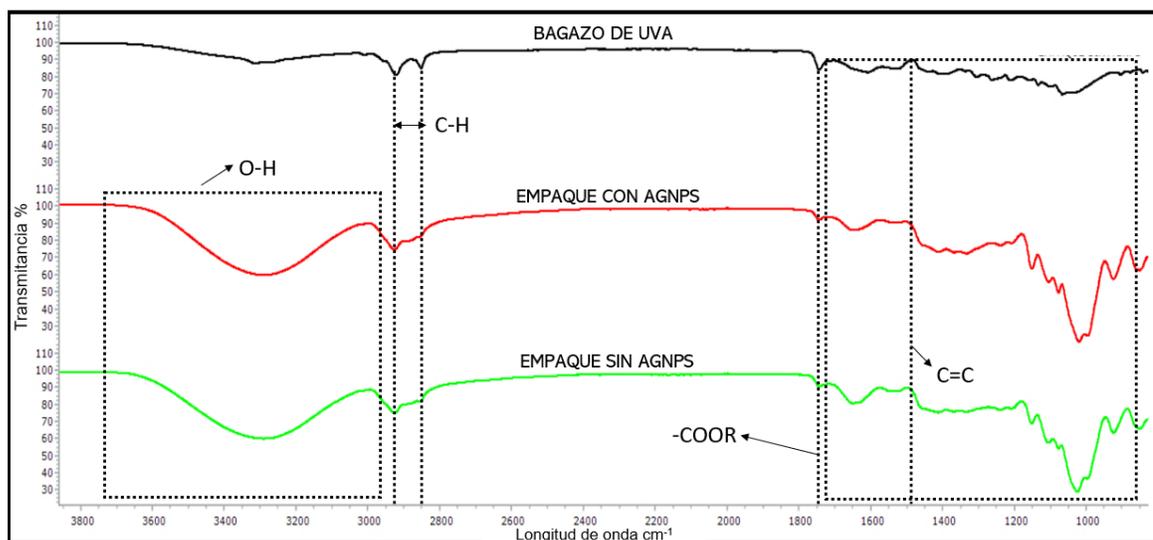


Figura 9 Espectros FTIR de bagazo de uva deshidratado (negro), empaque sin adición de AgNPs (verde), empaque con AgNPs (rojo).

6.3.2 Propiedades físicas y de barrera

Transmisión de luz y color

Los parámetros de color, así como la opacidad del empaque con y sin AgNPs se resumen en la Tabla 3. De acuerdo con los valores se puede observar que en los empaques adicionados con AgNPs, en comparación con los que no tienen, su luminosidad L^* se ve disminuida lo que sugiere una tendencia hacia la oscuridad (Kumar et al., 2018). Para los valores de a^* y b^* , se obtuvieron valores negativos de a^* al añadir AgNPs, inclinándose hacia una coloración verde, en cambio los empaques sin AgNPs con valores positivos evidenciando una tendencia a la coloración roja, posiblemente debido a la presencia de pigmentos de las antocianinas pertenecientes al bagazo de uva (Nogueira et al., 2019). Los valores negativos de b^* denotan inclinación hacia colores azules, lo cual puede ser atribuido a las AgNPs (Sulaiman et al., 2013).

Tabla 3 Valores de color incluyendo (L , a , b , ΔE y opacidad) de empaques con y sin AgNPs

Muestras de empaque	Sin AgNPs	Con AgNPs
Imagen empaque		
L^*	23.43 ± 0.38	$21.89 \pm 0.61^*$
a^*	0.54 ± 0.40	$-0.267 \pm 0.07^*$
b^*	-0.79 ± 0.30	$-0.158 \pm 0.04^*$
ΔE	71.02 ± 0.61	69.79 ± 0.38
Opacidad	98.72 ± 0.38	$102.8 \pm 0.61^*$

Los resultados se expresan como la media \pm la desviación estándar

* significa diferencia significativa por la prueba de Tukey.

En cuanto a la opacidad, como era de esperarse se obtuvieron valores mayores al añadir AgNPs, debido al color original oscuro de las mismas.

Los valores de ΔE denotan una coloración intensa, sin diferencia significativa. Qin et al., (2019) y Nogueira et al., (2019), presentaron valores similares con poca luminosidad, colores predominantes en rojo-verde y con tendencia a los oscuros con bioplásticos producidos a partir de *Lycium ruthenicum murray* y mora azul. Estos

resultados pueden atribuirse a la similitud de residuos o frutos utilizados, con alto contenido de antocianinas y colores morados.

La incorporación de bagazo de uva, así como de AgNPs de acuerdo con diferentes autores, en matrices de películas poliméricas puede ser utilizada como una estrategia para prevenir la penetración de la luz visible y ultravioleta, protegiendo por otro lado los compuestos nutricionales y bioactivos contra el pH, el oxígeno, entre otros factores que pudieran llevar a su oxidación. Este tipo de empaques podrían ayudar a la retención de nutrientes, color y sabor (Shankar & Rhim, 2015; Nogueira et al., 2019; Properties et al., 2019).

6.3.3 Solubilidad en agua y contenido de humedad

La solubilidad en agua refleja el comportamiento de los materiales utilizados en entornos acuosos e indica la afinidad al agua que tiene. Los resultados obtenidos no muestran diferencias estadísticamente significativas entre ambos empaques, sin embargo estos datos son muy similares a los reportados por Kurek et al., (2019) y Nogueira et al., (2019), con valores de 40.56 y 33.89 % , respectivamente utilizando bagazo de uva y mora azul.

Los altos porcentajes de solubilidad obtenidos fueron menores a los mostrados por Kurek et al., (2019) y mayores a los presentados por Nogueira et al., (2019), y se atribuyeron al contenido de glicerol de un 30 %. Esta similitud en solubilidad, se debe a el uso de residuos agroindustriales semejantes, con una naturaleza hidrofílica (Bodini et al., 2020). Por consiguiente, al incrementar la cantidad del residuo en la formulación, incrementa la interacción con el agua, facilitando su solubilización. También puede deberse a que el residuo se comportó como plastificante, provocando así una disminución de la cohesividad de la matriz y por ello aumentando la movilidad de la cadena polimérica, lo que contribuyó a la transferencia de agua a su estructura y a su solubilización (Ortega et al., 2019)

Referente a los valores de contenido de humedad, el empaque adicionado con AgNPs tiene un valor mayor al del empaque sin AgNPs. Esta diferencia se atribuyó a que la adición de las AgNPs en la matriz polimérica aumentó su tortuosidad, lo que

dificulto la difusión de las moléculas de agua a través de la estructura de la película Sarwar et al., (2018).

Tabla 4 Valores de contenido de humedad y solubilidad en agua de empaques

Muestra de empaque	Solubilidad en agua (%)	Contenido de humedad (%)
Sin AgNPs	38.19 ± 1.38	5.53±1.2*
Con AgNPs	40.58±4.65	11.99±3.11

Los resultados se expresan como la media ± la desviación estándar * significa diferencia significativa por la prueba de Tukey.

6.3.4 Espesor, permeabilidad al vapor de agua y fuerza de tensión

El espesor es un parámetro importante que afecta directamente a la resistencia mecánica. Los datos mostrados en la Tabla 5 señalan que el empaque con un mayor espesor corresponde al bioplástico que no se le añadieron AgNPs. Nogueira et al., (2022) obtuvo un valor 5 veces menor (0.11 mm) utilizando almidón de arrurruz y bagazo de uva, similarmente Ji et al., (2016) al utilizar almidón de maíz modificado y adicionar AgNPs obtuvo valores de 0.16 mm. Las diferencias al comparar con otros autores pueden atribuirse a que la cantidad de sólidos añadidos fue mayor, y a la posible aglomeración del bagazo de uva así como de AgNPs (Nogueira et al., 2019).

Tabla 5 Valores de espesor, permeabilidad al vapor de agua y propiedades mecánicas de empaques

Muestra	Espesor (mm)	Permeabilidad al vapor de agua (g/día*m*Pa)	Fuerza de tensión (MPa)	Elongación a la ruptura (%)
Empaque sin AgNPs	0.54 ± 0.1*	4.353 ± 0.03 x10 ^{-10*}	18.99 ± 5.59*	36.33 ± 4.55
Empaque con AgNPs	0.32 ± 0.1	1.744 ± 0.08 x10 ⁻¹⁰	21.19 ± 1.88	42.51 ± 4.53

Los resultados se expresan como la media ± la desviación estándar * significa diferencia significativa por la prueba de Tukey

La permeabilidad al vapor de agua es un indicador vital para las películas y empaques utilizadas en alimentos, las cuales deben evitar la transferencia de humedad entre alimento y medio ambiente manteniendo sus propiedades organolépticas y mecánicas. La incorporación de AgNPs causó una disminución significativa en relación a este parámetro. Resultados parecidos utilizando almidón de arrurruz y bagazo de uva fueron obtenidos por Nogueira et al., (2022), Ortega et al., (2017) también reportó valores similares con almidón de maíz y AgNPs (3.9 y 1.6 g/día*m*Pa respectivamente). Este comportamiento se atribuyó al incremento de la tortuosidad en la matriz polimérica, ya que la presencia de nanopartículas metálicas reduce el espacio intermolecular, disminuyendo así la transmisión al vapor de agua (Srikhao et al., 2021).

En cuanto a las propiedades mecánicas, el empaque con AgNPs obtuvo mejores resultados relacionado con la fuerza de tensión, esto se atribuyó a la distribución de las AgNPs, incrementando contacto interfacial con la matriz polimérica provocando así un aumento de la tensión. Los valores de elongación a la ruptura no mostraron diferencias significativas entre ambos empaques. Dentro de los estudios que utilizan bagazo de uva dentro de su formulación, Ferreira et al., (2014) realizó una película con quitosano y extracto de bagazo de uva, obteniendo resultados menores para la fuerza de tensión (12.6 MPa); sin embargo, los valores para elongación a la ruptura (44.2 %) fueron similares a los de este estudio. Lo que indica que nanopartículas actuaron como agente inorgánico de refuerzo en la matriz polimérica, mejorando sus propiedades mecánicas (Ji et al., 2016).

6.3.5 Capacidad antioxidante y fenoles totales

La Tabla 6 resume los resultados obtenidos en las pruebas de capacidad antioxidante (ABTS y DPPH), así como de fenoles totales (Folin Ciocalteu) para extracto de bagazo de uva y empaques con y sin AgNPs. Los datos del bagazo de uva, como era esperado, mostraron una alta capacidad antioxidante y alto contenido de fenoles. El empaque sin AgNPs mostró una mayor capacidad antioxidante, así como de

contenido fenólico, en comparación con el empaque adicionado con AgNPs. A pesar de que existen antecedentes en los que las AgNPs (Srikhao et al., 2021) muestran tener capacidad antioxidante, los valores obtenidos pueden estar relacionados con el tipo de extracción utilizada (metanólica) debido a que el empaque con AgNPs es menos permeable y por consiguiente la extracción de compuestos antioxidantes se pudo ver disminuida a comparación del empaque sin nanopartículas, que mostro una mayor permeabilidad.

En conclusión, la adición de bagazo de uva a los empaques contribuyó a aumentar su capacidad de eliminación de radicales libres. Esto debido a la composición de la uva roja, la cual es rica en polifenoles, como taninos, ácidos fenólicos y flavanoles, así como en antioxidantes fenólicos extraíbles, como ácido fenólico, flavonoides, procianidinas y resveratrol (Deng & Zhao, 2011; Yu & Ahmedna, 2013).

Tabla 6 Valores de capacidad antioxidante (ABTS y DPPH) y fenoles totales en bagazo de uva, empaque con y sin AgNPs.

Composición nutracéutica	Bagazo de uva	Empaque con AgNPs	Empaque sin AgNPs
Fenoles totales (mg AG/g)	61.159 ± 0.001	2.266 ± 0.36*	2.769 ± 0.23
ABTS EQT (mg/g)	367.0 ± 0.01	8.184 ± 1.21*	10.463 ± 0.757
DPPH EQT (mg/g)	38.68 ± 3.00	3.779 ± 0.38*	6.115 ± 0.69

Los resultados se expresan como la media ± la desviación estándar * significa diferencia significativa por la prueba de Tukey

6.3.6 Evaluación de la actividad antifúngica

La actividad antifúngica de los empaques bioplásticos frente a patógenos alimentarios se investigó mediante el método de difusión en disco. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 10, estos comparan el crecimiento fúngico para el control positivo (PDA) contra el empaque con AgNPs y el empaque sin AgNPs. Tras incubación a 30 °C durante 6 días, ambos empaques obtuvieron porcentajes de inhibición muy parecidos de hasta un 91%, al día 6 del experimento, en cambio los

controles mostraron un crecimiento fúngico indicando la viabilidad de la cepa utilizada. Otros trabajos han probado tanto las nanopartículas de plata (Kim et al., 2012; Ortega et al., 2017) como agentes antifúngicos y antimicrobianos, sugiriendo que las AgNPs interactúan con los componentes de la membrana, causando daños y cambios estructurales que conducen a la muerte celular. Por otro lado, el residuo utilizado (bagazo de uva) tiene antecedentes de su actividad antifúngica, esto puede ser atribuido a su contenido de fenoles, los cuales participan directamente en los mecanismos de defensa, aumentando la permeabilidad celular y reduciendo el crecimiento fúngico (Mendoza et al., 2013).

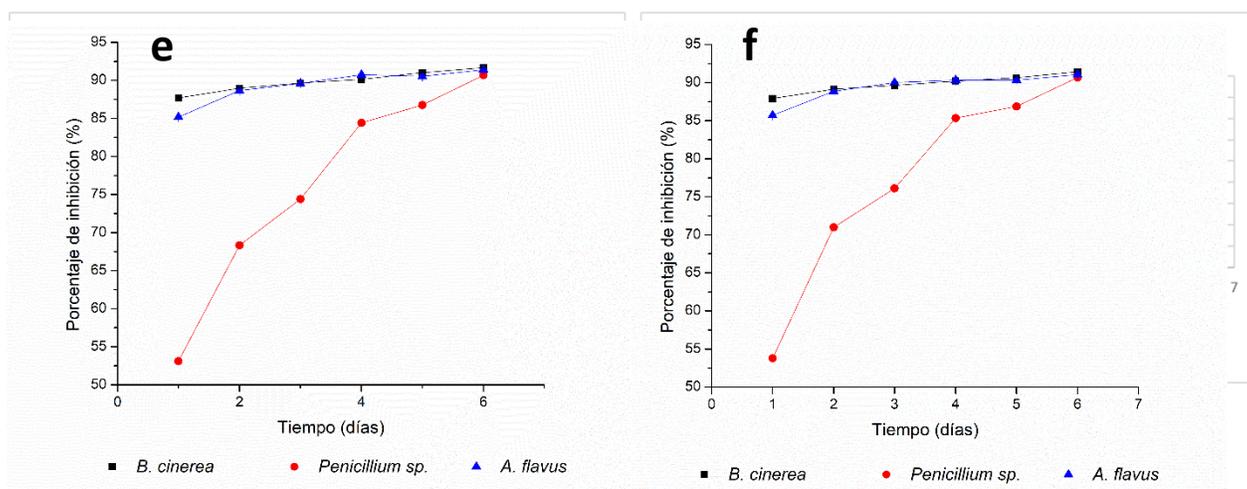


Figura 10 Inhibición del crecimiento de *Penicillium sp.*, *Aspergillus niger* y *Botrytis cinérea* en empaques sin AgNPs (e) y con AgNPs (f).

La Figura 10 contiene los resultados del porcentaje de la pérdida de peso en función del tiempo para los empaques con y sin AgNPs, para las muestras previo a ser enterradas en suelo fértil y posteriormente a ser enterradas. El empaque sin AgNPs tuvo una mayor pérdida de peso. Lo anterior puede atribuirse a que la adición de las nanopartículas reduce el espacio intermolecular, dificultando su descomposición. Como han reportado diferentes autores para pruebas de biodegradabilidad en empaques bioplásticos (Engel et al., 2019; Ferreira et al., 2020), durante los primeros 15 días las muestras enterradas tuvieron un aumento de peso debido a la absorción de agua (hasta llegar a la saturación), después su peso disminuyó progresivamente.

A partir de este punto se puede observar que se presenta una degradación más rápida por distintas razones, una de ellas es la acción del calor, que junto con la actividad enzimática de los microorganismos presentes en el suelo, acortan y debilitan las cadenas poliméricas del almidón, lo que les permite iniciar el proceso de descomposición (Cerruti et al., 2011). Otra razón puede ser la actividad antimicrobiana de las AgNPs, de la misma forma, la humedad natural del suelo, más la añadida al rociar con agua diariamente pudo haber reaccionado con los grupos hidroxilo de las moléculas de almidón, provocando el debilitamiento de las cadenas, por consiguiente, aumentando su biodegradación. (Medina Jaramillo et al., 2016)

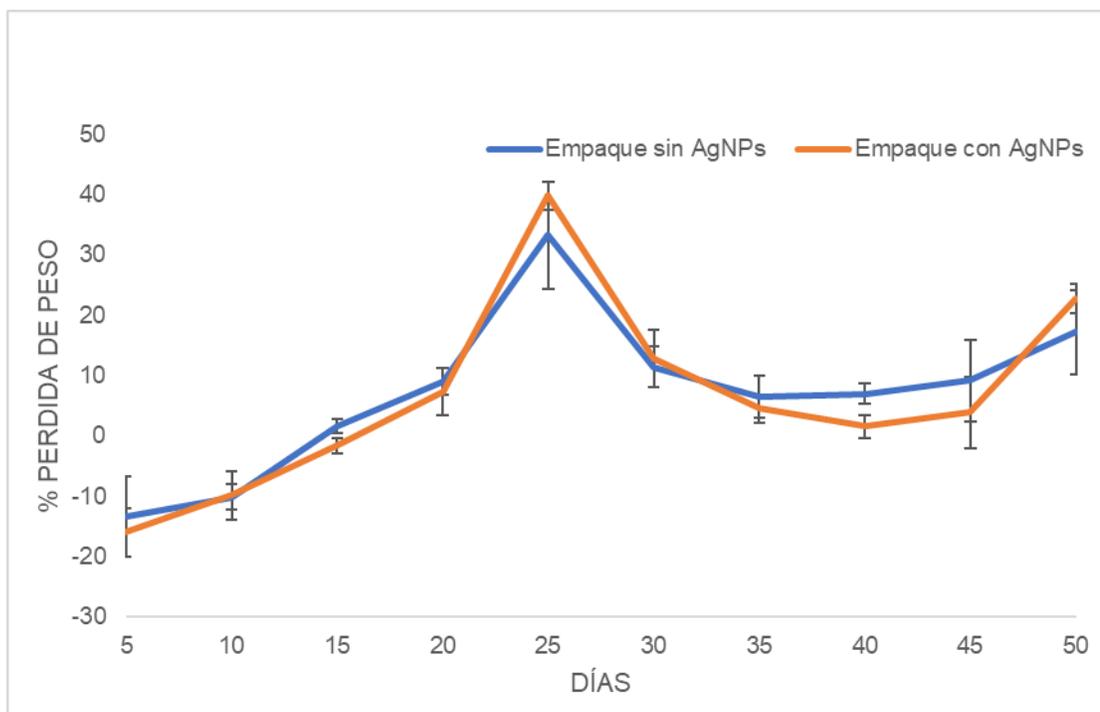


Figura 11 Porcentaje de pérdida de peso en empaques con y sin AgNPs

7 CONCLUSIONES

Se sintetizaron nanopartículas de plata (AgNPs) mediante una vía verde, utilizando un extracto de albahaca y solución de AgNO_3 . La cantidad adicionada de material vegetal y de AgNO_3 mostraron un efecto no lineal sobre la concentración de AgNPs sintetizadas, encontrando una inhibición en la síntesis de AgNPs a partir de los 100 mM de AgNO_3 .

Los empaques con bagazo de uva (sin AgNPs) mostraron una mejor capacidad antioxidante y mayor contenido fenólico, menor contenido de humedad, menor opacidad y por último un porcentaje de pérdida de peso mayor relacionado al ensayo de biodegradabilidad en comparación que los empaques sin nanopartículas de plata. La adición de nanopartículas de plata al empaque de bagazo de uva proporcionó mayores propiedades mecánicas de fuerza de tensión y de elongación a la ruptura, un menor espesor y menor permeabilidad al vapor de agua que el empaque sin las nanopartículas.

Los empaques bioplásticos formulados a partir de bagazo de uva pueden ser utilizados para empacar alimentos protegiéndolos contra daños mecánicos, de la luz y alargando su vida de anaquel debido a sus propiedades antifúngicas y antioxidantes. Sin embargo, todavía se requieren realizar pruebas con diferentes tipos de alimentos evaluando su vida útil, así como evaluar la migración y toxicidad de las AgNPs. Por otro lado, realizar pruebas de microscopia electrónica de transmisión en ambos tipos de empaques, podría ayudar a reafirmar las conclusiones realizadas en algunas de las pruebas.

8 REFERENCIAS

- Aguirre-Joya, J. A., De Leon-Zapata, M. A., Alvarez-Perez, O. B., Torres-León, C., Nieto-Oropeza, D. E., Ventura-Sobrevilla, J. M., Aguilar, M. A., Ruelas-Chacón, X., Rojas, R., Ramos-Aguiñaga, M. E., & Aguilar, C. N. (2018). Basic and Applied Concepts of Edible Packaging for Foods. In *Food Packaging and Preservation*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811516-9.00001-4>
- Ardjoum, N., Shankar, S., Chibani, N., Salmieri, S., & Lacroix, M. (2021). In situ synthesis of silver nanoparticles in pectin matrix using gamma irradiation for the preparation of antibacterial pectin/silver nanoparticles composite films. *Food Hydrocolloids*, 121(June), 107000. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107000>
- Asociación Nacional de Industrias del Plástico, A. C. (ANIPAC). (2018). *No Title*. Anuario Estadístico México 2018.
- Babu, R. P., O'Connor, K., & Seeram, R. (2013). Current progress on bio-based polymers and their future trends. *Progress in Biomaterials*, 2(1), 8. <https://doi.org/10.1186/2194-0517-2-8>
- Battaner, E. (2012). *Biomoléculas: Una introducción estructural a la Bioquímica*. CDC; NIOSH. (2009). Approaches to safe nanotechnology. *Prospects*, 35(3), 331–342. <https://doi.org/10.1007/s11125-005-4273-1>
- Centeno, D. (2021). Entrecruzamiento de nanopartículas de plata con lecitina recombinante por genipino. *Universidad Autónoma de Queretaro*.
- Cerruti, P., Santagata, G., Gomez D'Ayala, G., Ambroggi, V., Carfagna, C., Malinconico, M., & Persico, P. (2011). Effect of a natural polyphenolic extract on the properties of a biodegradable starch-based polymer. *Polymer Degradation and Stability*, 96(5), 839–846. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2011.02.003>
- Charles, A. L., Cato, K., Huang, T. C., Chang, Y. H., Ciou, J. Y., Chang, J. S., & Lin, H. H. (2016). Functional properties of arrowroot starch in cassava and sweet potato composite starches. *Food Hydrocolloids*, 53, 187–191. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.01.024>

- Clayton, K., Bush, D., & Keener, K. (2010). Emprendimientos alimentarios - Métodos para la conservación de alimentos. *Purdue Extensión*, 6.
<https://www.extension.purdue.edu/extmedia/FS/FS-15-S-W.pdf>
- Coma, V. (2013). Polysaccharide-based biomaterials with antimicrobial and antioxidant properties. *Polimeros*, 23(3), 287–297.
<https://doi.org/10.4322/polimeros020ov002>
- Cornejo Garcia, F. (2012). *Recuperación de compuestos fenólicos de bagazo de uva roja (Vitis vinifera) por microondas y métodos convencionales.*
- da Silva, A. C., & Jorge, N. (2014). Bioactive compounds of the lipid fractions of agro-industrial waste. *Food Research International*, 66, 493–500.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.10.025>
- Debeaufort, F., & Voilley, A. (2009). Edible Films and Coatings for Food Applications. In *Edible Films and Coatings for Food Applications*.
<https://doi.org/10.1007/978-0-387-92824-1>
- Deng, Q., & Zhao, Y. (2011). *Antimicrobial Properties of Wine Grape (cv . Merlot) Pomace Extract-Based Films*. 76(3), 309–317. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02090.x>
- Dong, X., Zhu, C., Huang, G., & Xiao, J. (2021). Fractionation and structural characterization of polysaccharides derived from red grape pomace. *Process Biochemistry*, 109(July), 37–45. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2021.06.022>
- Duncan, T. V. (2011). Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: Barrier materials, antimicrobials and sensors. *Journal of Colloid and Interface Science*, 363(1), 1–24. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2011.07.017>
- Elumalai, D., Sathiyaraj, M., ... E. V.-A. J. of, & 2019, undefined. (2019). Bio fabricated of silver nanoparticles using *Ocimum basilicum* and its efficacy of antimicrobial and antioxidant activity. *Iranjournals.Nlai.Ir*, 3, 103–124.
<https://doi.org/10.22034/ajgc.2018.6729>
- Engel, J. B., Ambrosi, A., & Tessaro, I. C. (2019). Development of biodegradable starch-based foams incorporated with grape stalks for food packaging. *Carbohydrate Polymers*, 225(May), 115234.

- <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115234>
- Escamilla-García, M., Calderón-Domínguez, G., Chanona-Pérez, J. J., Mendoza-Madrigal, A. G., Di Pierro, P., García-Almendárez, B. E., Amaro-Reyes, A., & Regalado-González, C. (2017). Physical, structural, barrier, and antifungal characterization of chitosan-zein edible films with added essential oils. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(11).
<https://doi.org/10.3390/ijms18112370>
- Escobar, D. et. al. (2011). Películas biodegradables y comestibles desarrolladas en base a aislado de proteínas de suero lácteo : estudio de dos métodos de elaboración y del uso de sorbato de potasio como conservador. *Innotec*, 0(4), 33–36.
- Espitia, P. J. P., Du, W. X., Avena-Bustillos, R. de J., Soares, N. de F. F., & McHugh, T. H. (2014). Edible films from pectin: Physical-mechanical and antimicrobial properties - A review. *Food Hydrocolloids*, 35, 287–296.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.06.005>
- FAO. (2018). *Grapes crops*. FAOSTAT.
<https://www.fao.org/faostat/en/#search/grapes>
- Ferreira, A. S., Nunes, C., Castro, A., Ferreira, P., & Coimbra, M. A. (2014). Influence of grape pomace extract incorporation on chitosan films properties. *Carbohydrate Polymers*, 113, 490–499.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.07.032>
- Ferreira, D. C. M., Molina, G., & Pelissari, F. M. (2020). Biodegradable trays based on cassava starch blended with agroindustrial residues. *Composites Part B: Engineering*, 183, 107682. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107682>
- Flores, A. G. (2020). Nombre del proyecto : Caracterización de nanopartículas de plata sintetizadas con infusión de hoja de *Ocimum basilicum*. Universidad Autónoma de Querétaro.
- Fontana, A. R., Antonioli, A., & Bottini, R. (2013). Grape pomace as a sustainable source of bioactive compounds: Extraction, characterization, and biotechnological applications of phenolics. *Journal of Agricultural and Food*

- Chemistry*, 61(38), 8987–9003. <https://doi.org/10.1021/jf402586f>
- Greulich, C., Diendorf, J., Simon, T., Eggeler, G., Epple, M., & Köller, M. (2011). Uptake and intracellular distribution of silver nanoparticles in human mesenchymal stem cells. *Acta Biomaterialia*, 7(1), 347–354. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2010.08.003>
- Gurunathan, S., Park, J. H., Han, J. W., & Kim, J. H. (2015). Comparative assessment of the apoptotic potential of silver nanoparticles synthesized by *Bacillus tequilensis* and *Calocybe indica* in MDA-MB-231 human breast cancer cells: Targeting p53 for anticancer therapy. *International Journal of Nanomedicine*, 10, 4203–4223. <https://doi.org/10.2147/IJN.S83953>
- Han, J. H., Ho, C. H. L., & Rodrigues, E. T. (2005). Intelligent packaging. In *Innovations in Food Packaging*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-012311632-1/50041-3>
- Ingale, A. G., & Chaudhari, A. N. (2013). Biogenic synthesis of nanoparticles and potential applications: An eco-friendly approach. *Journal of Nanomedicine and Nanotechnology*, 4(2), 7. <https://doi.org/10.4172/2157-7439.1000165>
- Jain, D., Kumar Daima, H., Kachhwaha, S., & Kothari, S. L. (2009). Synthesis of plant-mediated silver nanoparticles using papaya fruit extract and evaluation of their anti microbial activities. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 4(3), 557–563.
- Jeevahan, J., & Chandrasekaran, M. (2019). Nanoedible films for food packaging: a review. *Journal of Materials Science*, 54(19), 12290–12318. <https://doi.org/10.1007/s10853-019-03742-y>
- Jeya Jeevahan, J., Chandrasekaran, M., Venkatesan, S. P., Sriram, V., Britto Joseph, G., Mageshwaran, G., & Durairaj, R. B. (2020). Scaling up difficulties and commercial aspects of edible films for food packaging: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 100(December 2019), 210–222. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.04.014>
- Ji, N., Liu, C., Zhang, S., Xiong, L., & Sun, Q. (2016). Elaboration and characterization of corn starch films incorporating silver nanoparticles obtained

- using short glucan chains. *LWT - Food Science and Technology*, 74, 311–318.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.07.065>
- Kammerer, D., Claus, A., Carle, R., & Schieber, A. (2004). Polyphenol screening of pomace from red and white grape varieties (*Vitis vinifera* L.) by HPLC-DAD-MS/MS. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(14), 4360–4367.
<https://doi.org/10.1021/jf049613b>
- Katiyar, S. K. (2008). Grape seed proanthocyanidines and skin cancer prevention: Inhibition of oxidative stress and protection of immune system. *Molecular Nutrition and Food Research*, 52(SUPPL. 1), 71–76.
<https://doi.org/10.1002/mnfr.200700198>
- Kim, S. W., Jung, J. H., Lamsal, K., Kim, Y. S., Min, J. S., & Lee, Y. S. (2012). Antifungal effects of silver nanoparticles (AgNPs) against various plant pathogenic fungi. *Mycobiology*, 40(1), 53–58.
<https://doi.org/10.5941/MYCO.2012.40.1.053>
- Kittler, S., Greulich, C., Diendorf, J., Köller, M., & Epple, M. (2010). Toxicity of silver nanoparticles increases during storage because of slow dissolution under release of silver ions. *Chemistry of Materials*, 22(16), 4548–4554.
<https://doi.org/10.1021/cm100023p>
- Kraśniewska, K., Galus, S., & Gniewosz, M. (2020). Biopolymers-based materials containing silver nanoparticles as active packaging for food applications—A review. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(3).
<https://doi.org/10.3390/ijms21030698>
- Kumar, S., Shukla, A., Baul, P. P., Mitra, A., & Halder, D. (2018). Biodegradable hybrid nanocomposites of chitosan/gelatin and silver nanoparticles for active food packaging applications. *Food Packaging and Shelf Life*, 16(November 2017), 178–184. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.03.008>
- Kurek, M., Hlupić, L., Elez Garofulić, I., Descours, E., Ščetar, M., & Galić, K. (2019). Comparison of protective supports and antioxidative capacity of two bio-based films with revalorised fruit pomaces extracted from blueberry and red grape skin. *Food Packaging and Shelf Life*, 20(October 2018).

<https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100315>

- Lagarón, J. M., López-Rubio, A., & José Fabra, M. (2016). Bio-based packaging. *Journal of Applied Polymer Science*, 133(2). <https://doi.org/10.1002/app.42971>
- López De la Peña, H. Y., López Badillo, C. M., Múzquiz Ramos, E. M., Hernández Centeno, F., & Hernández González, M. (2016). Nanopartículas : aplicaciones actuales y futuras en la industria alimentaria López De la Peña, H. Y., López Badillo, C. M., Múzquiz Ramos, E. M., Hernández Centeno, F., & Hernández González, M. (2016). Nanopartículas : aplicaciones actuales y futuras en la. *Ciencia Cierta*, 48, 1–9.
- Malapermal, V., Botha, I., Krishna, S. B. N., & Mbatha, J. N. (2017). Enhancing antidiabetic and antimicrobial performance of *Ocimum basilicum*, and *Ocimum sanctum* (L.) using silver nanoparticles. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 24(6), 1294–1305. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2015.06.026>
- Maldonado-muñiz, M., Guadalupe, N. M., & Cruz-suárez, L. E. (2019). *Nanopartículas de plata como aditivo en alimentos para control de enfermedades causadas por Vibrio en L . vannamei*. November, 31.
- Martínez-Flórez, S., González-Gallego, J., Culebras, J. M., & Tuñón, M. J. (2002). Los flavonoides: Propiedades y acciones antioxidantes. *Nutricion Hospitalaria*, 17(6), 271–278.
- Medina Jaramillo, C., Gutiérrez, T. J., Goyanes, S., Bernal, C., & Famá, L. (2016). Biodegradability and plasticizing effect of yerba mate extract on cassava starch edible films. *Carbohydrate Polymers*, 151, 150–159. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.05.025>
- Mejías, N., Orozco, E., & Galáan, H. (2016). Aprovechamiento de los residuos agroindustriales y su contribución al desarrollo sostenible de México Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*, 2(6), 27–41.
- Mendoza, L., Yañez, K., Vivanco, M., Melo, R., & Cotoras, M. (2013). Characterization of extracts from winery by-products with antifungal activity against *Botrytis cinerea*. *Industrial Crops and Products*, 43(1), 360–364.

- <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.07.048>
- Mihindukulasuriya, S. D. F., & Lim, L. T. (2014). Nanotechnology development in food packaging: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 40(2), 149–167. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.09.009>
- Moghaddam, A. B., Namvar, F., Moniri, M., Tahir, P. M., Azizi, S., & Mohamad, R. (2015). Nanoparticles biosynthesized by fungi and yeast: A review of their preparation, properties, and medical applications. *Molecules*, 20(9), 16540–16565. <https://doi.org/10.3390/molecules200916540>
- Mohamed, S. A. A., El-Sakhawy, M., & El-Sakhawy, M. A. M. (2020). Polysaccharides, Protein and Lipid -Based Natural Edible Films in Food Packaging: A Review. *Carbohydrate Polymers*, 238, 116178. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116178>
- Monge, M. (Real S. E. de Q. (2009). Nanopartículas de plata: métodos de síntesis en disolución y propiedades bactericidas. *Real Sociedad Española de Química*, ISSN 1575-3417, Nº. 1, 2009, Págs. 33-41, 1, 33–41.
- Muñoz de la Cruz, Fabiola; Cornejo Garcia, F. (2018). Grape Bagasse: A Potential Source of Phenolic Compounds. *Wiley*.
- Nogueira, G. F., Fakhouri, F. M., Velasco, J. I., & de Oliveira, R. A. (2019). Active edible films based on arrowroot starch with microparticles of blackberry pulp obtained by freeze-drying for food packaging. *Polymers*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/polym11091382>
- Nogueira, G. F., Soares, I. H. B. T., Soares, C. T., Fakhouri, F. M., & de Oliveira, R. A. (2022). Development and Characterization of Arrowroot Starch Films Incorporated with Grape Pomace Extract. *Polysaccharides*, 3(1), 250–263. <https://doi.org/10.3390/polysaccharides3010014>
- OIV. (2021). *El sector vitivinícola a nivel mundial*.
- Ortega, F., García, M. A., & Arce, V. B. (2019). Nanocomposite films with silver nanoparticles synthesized in situ: Effect of corn starch content. *Food Hydrocolloids*, 97(March). <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105200>
- Ortega, F., Giannuzzi, L., Arce, V. B., & García, M. A. (2017). Active composite

- starch films containing green synthesized silver nanoparticles. *Food Hydrocolloids*, 70, 152–162. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.03.036>
- Otoni, C. G., Avena-Bustillos, R. J., Azeredo, H. M. C., Lorevice, M. V., Moura, M. R., Mattoso, L. H. C., & McHugh, T. H. (2017). Recent Advances on Edible Films Based on Fruits and Vegetables—A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(5), 1151–1169. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12281>
- Pérez-Nájera, V., Lugo-Cervantes, E., Gutiérrez-Lomelí, M., & Del-Toro-Sánchez, C. L. (2013). EXTRACCIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS DE LA CÁSCARA DE LIMA (*Citrus limetta* Risso) Y DETERMINACIÓN DE SU ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE. *BIOtecnia*, 15(3), 18. <https://doi.org/10.18633/bt.v15i3.153>
- Pizzi, A. (2012). Journal of Adhesion Science and Recent developments in eco-efficient bio-based adhesives for wood bonding : opportunities and issues. *Journal of Adhesion Science and Technology*, December, 37–41.
- PROFEPA. (2016). Residuos Residuos. *Informe Anual Profepa*, 380. www.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/pdf/Cap7_residuos.pdf
- Properties, T., Content, A. A., & Analysis, S. (2019). *Bioactive Edible Films Based on Arrowroot Starch Incorporated with Cranberry Powder : Microstructure , Thermal Properties , Ascorbic Acid Content and.*
- Qin, Y., Liu, Y., Yong, H., Liu, J., Zhang, X., & Liu, J. (2019). Preparation and characterization of active and intelligent packaging films based on cassava starch and anthocyanins from *Lycium ruthenicum* Murr. *International Journal of Biological Macromolecules*, 134, 80–90. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.05.029>
- Ray, S. S., & Bousmina, M. (2005). Biodegradable polymers and their layered silicate nanocomposites: In greening the 21st century materials world. *Progress in Materials Science*, 50(8), 962–1079. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2005.05.002>
- Rodríguez Saucedo, R., Rojo-Martínez, G., Martínez Ruiz, R., Piña-Ruiz, H. H., Ramírez-Valverde, B., Vaquera Huerta, H., & Cong Hermida, M. (2014).

- Envases Inteligentes Para La Conservación De Alimentos Smart Packaging for Food Preservation. *Ra Ximhai*, 10(10), 151–173.
<http://www.redalyc.org/pdf/461/46132135012.pdf>
- Rónavári, A., Kovács, D., Igaz, N., Vágvölgyi, C., Boros, I. M., Kónya, Z., Pfeiffer, I., & Kiricsi, M. (2017). Biological activity of green-synthesized silver nanoparticles depends on the applied natural extracts: A comprehensive study. *International Journal of Nanomedicine*, 12, 871–883. <https://doi.org/10.2147/IJN.S122842>
- Rosas, D., Ortiz, H., Herrera, J. ., & Leyva, O. (2016). Revalorización De Algunos Residuos Agroindustriales Y Su Potencial De Aplicación a Suelos Agrícolas. *Agroproductividad*, 9(8), 18–23. <http://www.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/download/796/661/>
- Roy, S., Shankar, S., & Rhim, J. W. (2019). Melanin-mediated synthesis of silver nanoparticle and its use for the preparation of carrageenan-based antibacterial films. *Food Hydrocolloids*, 88, 237–246.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.10.013>
- Sarwar, M. S., Niazi, M. B. K., Jahan, Z., Ahmad, T., & Hussain, A. (2018). Preparation and characterization of PVA/nanocellulose/Ag nanocomposite films for antimicrobial food packaging. *Carbohydrate Polymers*, 184, 453–464.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.12.068>
- Shankar, S., & Rhim, J. (2015). Ac ce p te d cr t. *Carbohydrate Polymers*.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.05.018>
- Silva, W., Romero, J., Morales, E., Melo, R., Mendoza, L., & Cotoras, M. (2017). Red wine extract obtained by membranebased supercritical fluid extraction: Preliminary characterization of chemical properties. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 34(2), 567–581. <https://doi.org/10.1590/0104-6632.20170342s20150631>
- Sohail, M., Sun, D. W., & Zhu, Z. (2018). Recent developments in intelligent packaging for enhancing food quality and safety. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(15), 2650–2662.
<https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1449731>

- Soto, K. M., Quezada-Cervantes, C. T., Hernández-Iturriaga, M., Luna-Bárceñas, G., Vazquez-Duhalt, R., & Mendoza, S. (2019). Fruit peels waste for the green synthesis of silver nanoparticles with antimicrobial activity against foodborne pathogens. *Lwt*, *103*(March 2018), 293–300.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.01.023>
- Srikhao, N., Kasemsiri, P., Ounkaew, A., Lorwanishpaisarn, N., Okhawilai, M., Pongsa, U., Hiziroglu, S., & Chindapasirt, P. (2021). Bioactive Nanocomposite Film Based on Cassava Starch/Polyvinyl Alcohol Containing Green Synthesized Silver Nanoparticles. *Journal of Polymers and the Environment*, *29*(2), 672–684.
<https://doi.org/10.1007/s10924-020-01909-2>
- Sulaiman, G. M., Mohammed, W. H., Marzoog, T. R., Al-Amiery, A. A. A., Kadhum, A. A. H., & Mohamad, A. B. (2013). Green synthesis, antimicrobial and cytotoxic effects of silver nanoparticles using Eucalyptus chapmaniana leaves extract. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, *3*(1), 58–63.
[https://doi.org/10.1016/S2221-1691\(13\)60024-6](https://doi.org/10.1016/S2221-1691(13)60024-6)
- Tang, X. Z., Kumar, P., Alavi, S., & Sandeep, K. P. (2012). Recent Advances in Biopolymers and Biopolymer-Based Nanocomposites for Food Packaging Materials. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *52*(5), 426–442.
<https://doi.org/10.1080/10408398.2010.500508>
- Tavares, L. B., Ito, N. M., Salvadori, M. C., dos Santos, D. J., & Rosa, D. S. (2018). PBAT/kraft lignin blend in flexible laminated food packaging: Peeling resistance and thermal degradability. *Polymer Testing*, *67*(November 2017), 169–176.
<https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2018.03.004>
- Tharanathan, R. N. (2003). Biodegradable films and composite coatings: Past, present and future. *Trends in Food Science and Technology*, *14*(3), 71–78.
[https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(02\)00280-7](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(02)00280-7)
- Tournas, V. H., & Katsoudas, E. (2005). Mould and yeast flora in fresh berries, grapes and citrus fruits. *International Journal of Food Microbiology*, *105*(1), 11–17. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2005.05.002>
- Valdez, B. (2018). *Efecto de un bioempaque eco-friendly con características*

antimicrobianas y antioxidantes a base de fibra de cítricos y extracto de orégano, sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas de Cyprinus carpio. 156. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/68343>

Veerasamy, R., Xin, T. Z., Gunasagaran, S., Xiang, T. F. W., Yang, E. F. C., Jeyakumar, N., & Dhanaraj, S. A. (2011). Biosynthesis of silver nanoparticles using mangosteen leaf extract and evaluation of their antimicrobial activities. *Journal of Saudi Chemical Society*, 15(2), 113–120.

<https://doi.org/10.1016/j.jscs.2010.06.004>

Wang, Y., Zhang, R., Ahmed, S., Qin, W., & Liu, Y. (2019). Preparation and characterization of corn starch bio-active edible packaging films based on zein incorporated with orange-peel oil. *Antioxidants*, 8(9).

<https://doi.org/10.3390/antiox8090391>

Yam, K. L. (2012). Intelligent packaging to enhance food safety and quality. In *Emerging Food Packaging Technologies* (Issue 2005). Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1533/9780857095664.2.137>

Yu, J., & Ahmedna, M. (2013). Functional components of grape pomace: Their composition, biological properties and potential applications. *International Journal of Food Science and Technology*, 48(2), 221–237.

<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.03197.x>