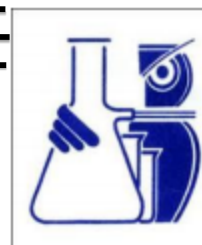




---

---

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA



FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

LICENCIATURA EN QUÍMICO FARMACOBIOLOGO

DEPARTAMENTO DE BIOQUÍMICA - ALIMENTOS

TESIS

ANÁLISIS DE LA TRANSFERENCIA DE COMPUESTOS

BIOACTIVOS CON CAPACIDAD ANTIOXIDANTE

ADICIONADOS A PELÍCULAS DE ALMIDÓN

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADO EN QUÍMICO FARMACOBIOLOGO

PRESENTA:

eQFB. LUIS FRANCISCO DE LA CRUZ BALCAZAR

DIRECTOR DE TESIS

DR. CARLOS ENRIQUE OCHOA VELASCO

CO-DIRECTOR DE TESIS

DR. IRVING ISRAEL RUIZ LÓPEZ

Agosto, 2021.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por la vida, por la fuerza y sabiduría que me ha otorgado para llegar hasta donde me encuentro hoy en día, ser mi guía en el camino de la vida y permitirme rodearme de gente que impulsan a ser mejor día con día.

A mis padres por motivarme a emprender este viaje, brindarme su apoyo incondicional y que son mi inspiración para salir adelante, hoy todo el esfuerzo rinde frutos al lograr esta carrera y que sin ellos nada de este lo hubiera logrado.

A mi familia por siempre motivarme a continuar hasta lograrlo, siempre buscando una forma de animarme, que a pesar de la distancia nunca me sentí solo y recibirme siempre con un caluroso abrazo.

Al Dr. Carlos Ochoa por recibirme hace dos años en su laboratorio y brindarme su amistad, por sus enseñanzas, consejos y sabiduría al guiarme a lo largo de todo este tiempo en la elaboración de este trabajo.

A la Dra. Paola Hernández por su amistad y apoyo en el laboratorio, por estar siempre pendiente del progreso de mi trabajo, por sus consejos y conocimientos transmitidos a largo de la carrera.

A mis sinodales por sus consejos, paciencia y por su tiempo brindado en ayudarme en la elaboración de este trabajo.

A mis amigos y compañeros de laboratorio por los buenos momentos vividos en la carrera y durante mi estancia en el laboratorio, gracias por su amistad y apoyo durante todos estos años.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS .....	3
ÍNDICE DE FIGURAS .....	4
RESUMEN .....	5
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	6
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	7
2.1    Compuestos bioactivos con capacidad antioxidante.....	7
2.1.1    Antioxidantes.....	9
2.2    Películas comestibles .....	10
2.3    Impregnación de compuestos bioactivos a matrices alimentarias .....	15
<b>3. JUSTIFICACIÓN</b> .....	18
<b>4. OBJETIVOS</b> .....	19
4.1    Objetivo general .....	19
4.2    Objetivos específicos .....	19
<b>5. PLAN DE TRABAJO</b> .....	20
<b>6. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	21
<b>7. METODOLOGÍA</b> .....	23
7.1    Primera etapa: Formulación de la película comestible .....	23
7.2    Segunda etapa: Formación de la película comestible .....	23
7.3    Tercera etapa: Formulación del gel modelo .....	23
7.4    Cuarta etapa: Análisis de película comestible.....	23
7.5    Quinta etapa: Impregnación de la película comestible. ....	24
7.6    Sexta etapa: Análisis de las muestras tomadas durante la impregnación de la película comestible. ....	24

<b>8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	27
8.1 Caracterización de película comestible en sus componentes antioxidantes. ....	27
8.2 Cinéticas de impregnación de compuestos antioxidantes y poder reductor de películas de almidón a geles de grenetina. ....	28
<b>9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	36
<b>10. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	37

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Equipos, marcas y modelos usados en este trabajo.....	21
Tabla 2.- Métodos, y referencias de técnicas utilizadas en este trabajo.....	22
Tabla 3. Parámetros del modelo de Azuara para la impregnación de compuestos fenólicos desde películas de almidón a geles de grenetina.....	29
Tabla 4. Parámetros del modelo de Azuara para la impregnación de ácido ascórbico desde películas de almidón a geles de grenetina.....	31
Tabla 5. Parámetros del modelo de Azuara para la impregnación de Flavonoides desde películas de almidón a geles de grenetina.....	32
Tabla 6. Parámetros del modelo de Azuara para la impregnación de poder reductor desde películas de almidón a geles de grenetina.....	35

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Porcentaje de compuestos antioxidantes retenidos tras la formación de película comestible.....	28
Figura 2. Impregnación de compuestos fenólicos a diferentes temperaturas 5 y 22 °C.....	30
Figura 3. Impregnación de ácido ascórbico a dos diferentes temperaturas 5 y 22 °C.....	31
Figura 4. Impregnación de Flavonoides a dos diferentes temperaturas 5 y 22 °C.....	33
Figura 5. Evaluación de poder reductor a dos diferentes temperaturas 5 y 22 °C.....	34

## RESUMEN

En la actualidad el estudio de empaques activos, biodegradables y comestibles ha ido incrementando. Las películas y recubrimientos comestibles pueden proteger al alimento de potenciales daños físicos, químicos y microbiológicos. Estas tienen la capacidad de poder ser formuladas incorporándoles compuestos antimicrobianos, antioxidantes, entre otros, que pueden llegar a la matriz alimentaria aplicada fortificándola. Hasta el momento existen pocos estudios que evalúen la transferencia de compuestos antioxidantes añadidos a películas comestibles hacia matrices modelo. Por lo que, en este trabajo se formularon películas comestibles de almidón adicionadas con ácido gálico, quercetina, catequina o ácido ascórbico y se evaluó su capacidad de transferencia desde las películas comestibles hacia una matriz alimentaria modelo de grenetina. Los resultados obtenidos indican que durante la formulación de las películas comestibles con agentes antioxidantes se pierde un gran porcentaje de estos, reduciéndose en un 65-80% los compuestos fenólicos y alrededor del 99% del ácido ascórbico, probablemente debido a la temperatura de la formulación de la película comestible. Por otra parte, la transferencia de estos compuestos antioxidantes desde las películas comestibles hacia el gel de grenetina fue adecuada, ya que al final del tiempo de contacto (2 h) los geles de grenetina presentaron valores de 0.505-0.540 mg equivalentes de ácido gálico/g, 0.25-0.51 mg de quercetina/g, 148- 157 mg de ácido ascórbico/g y un poder reductor de 0.24-0.45 mg ácido ascórbico/g de muestra. El modelo de Azuara fue utilizado para evaluar el efecto de la temperatura en el proceso de transferencia de compuestos antioxidantes desde las películas comestibles hacia los geles de grenetina. El modelo logró reproducir los datos de manera satisfactoria ( $R^2 > 0.60$ ) e indicó que la temperatura afecta de manera directa la velocidad de impregnación de compuestos antioxidantes debido a que disminuye a una baja temperatura (5°C).

## 1. INTRODUCCIÓN

Las formas en cómo se distribuye los alimentos, en donde encontramos diferentes tipos de empaques: los primarios que tienen contacto directo con los alimentos, el envase secundario es el que contiene varios envases primarios y el terciario que se usan de transporte en la cadena comercial. Las películas y recubrimientos comestibles se clasifican como un envase primario y son una opción para mejorar la calidad de los alimentos. Una película comestible se entiende como una capa fina o varias de un polímero comestible que pueden ser polisacáridos, proteínas o lípidos en combinación con plastificantes o emulsificantes que ayuda a mejorar las propiedades finales de la misma.

Hoy en día el consumidor demanda que los alimentos frescos contengan menos componentes químicos y adquieren aquellos con una mayor concentración de sustancias de origen natural con beneficios para la salud y sostenga las propiedades nutricionales y sensoriales buscadas en el producto.

Los compuestos bioactivos tales como los agentes antioxidantes pueden proteger contra las enfermedades a través de varios mecanismos, pero su actividad más importante radica en la protección contra las enfermedades asociadas al estrés oxidativo. La capacidad antioxidante de algunos compuestos bioactivos se da por la presencia de compuestos antioxidantes con distintos mecanismos de acción que lo vuelven capaz de unirse a polímeros biológicos, tal es el caso de enzimas y transportadores de hormonas, limpia los radicales libres así como quelar iones metálicos transitorios como por ejemplo: zinc, hierro, cobre y de estimular el transporte de electrones.

La capacidad de los recubrimientos y películas comestibles para impregnar compuestos bioactivos y agentes antioxidantes debe ser empleada para crear productos y mejorar los productos mínimamente procesados y frescos.. Por lo anterior, el presente estudio tiene como objetivo analizar la transferencia de compuestos bioactivos con capacidad antioxidante añadidos a películas comestibles base almidón a geles de grenetina.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Compuestos bioactivos con capacidad antioxidante

Los vegetales son fuentes ricas en fibra, nutrientes minerales y vitaminas, no obstante, hoy día se ha demostrado que los vegetales son ricos en compuestos bioactivos, mismos que coadyuvan significativamente la salud y nutrición humana al prevenir enfermedades degenerativas (Gámez-Villazana, 2020), son compuestos químicos presentes en las plantas el cual funge como protector de la planta ante estímulos externos como: insectos, microorganismos y deterioro físico, entre otros. Estos mismos compuestos están implicados en la captación de polinizadores o de propagadores de frutos, además de influir en sus características como: color, olor, sabor (Manchón Díez, 2015), de igual manera en los análisis epidemiológicos se concluye que al consumir frutos tiene un impacto positivo en la salud y ayuda a prevenir problemas de salud degenerativas. Esta protección se atribuye a la existencia de componentes bioactivos con actividad antioxidante, el cual impide la iniciación o priva de la propagación de las reacciones de oxidación con fin de eludir el daño oxidativo.

Debido a esto, el consumidor le da importancia a los productos de origen vegetal que suministran nutrientes necesarios para la vida como vitaminas, minerales, carbohidratos, entre otros, sino también estos componentes tienen un protector como los antioxidantes (Robles Sánchez et al, 2007).

Los compuestos bioactivos son considerados como nutraceuticos lo cual son componentes esenciales y no esenciales presentes en la naturaleza y que son parte de la cadena alimentaria. Estos compuestos químicos se localizan en bajas concentraciones en productos vegetales y ricos en lípidos. Sin embargo, cabe señalar que los péptidos se considera dentro de los compuestos bioactivos y que se origina de las proteínas de diferentes alimentos, por lo que se pueden distinguir cuatro grandes grupos de compuestos bioactivos: sustancias azufradas, terpénicas, fenólicas y alcaloides. Las primeras tres sustancias son las de interés en la industria agraria pues están presentes en los productos de origen natural y productos derivados de interés en el consumo humano (Gámez-Villazana, 2020).

Los componentes fenólicos se caracteriza por tener un anillo aromático con uno o más sustituyentes hidroxilo además de una cadena lateral. Tiene en su conformación anillos aromáticos y dobles enlaces y por ende su acción antioxidante. Estos compuestos provienen de la transformación secundaria de las plantas, a través vías metabólicas, teniendo como resultado moléculas como: ácidos fenólicos y flavonoides hasta componentes más desarrollados entre ellos melaninas, taninos y ligninas. (Morales Gómez, 2011).

Existe una amplia gama de fitoquímicos, donde destacan los polifenoles, sustancias azufradas, isoflavonas, entre otras, que son identificadas por proveer efectos benéficos al ser incluidos en la dieta diaria. A estos componentes se les ha atribuido ciertas características debido a su consumo, lo cual es respalda por investigaciones que evidencian que aquellas personas que incluyen en su dieta productos de origen natural en conjunto con leguminosas y algunos cereales presentaron un menor riesgo de padecer cáncer o alguna enfermedad vascular (Lutz, 2013).

Un beneficio notable de esto es que en diversos estudios *in vitro e in vivo* se logra impedir la carcinogénesis, y por otro lado en investigaciones con el flavonol y quercetina, coadyuva en los tratamientos contra diversos tipos de cáncer en el ser humano; los compuestos denominados isoflavonas resulta beneficioso contra cáncer de mama; además de que otros compuestos bioactivos identificados en el té se relacionan con cáncer de piel y algunas metástasis (Manchón Díez, 2015).

Algunas características antioxidantes presentes en los compuestos fenólicos han sido ya identificados, por lo que se vuelve sumamente importante en la seguridad de los productos alimenticios (Morales Gómez, 2011). Estos compuestos bioactivos presentes en estos alimentos son los responsables de su efecto beneficioso esto debido a la gran variedad de compuestos antioxidantes presentes en los productos de origen natural, tanto en su concentración como en la forma en cómo se distribuyen, por lo que presentan gran actividad metabólica y de manera diversa que contribuye a una buena salud en el ser humano (Gámez-Villazana, 2020).

### 2.1.1 Antioxidantes

Un compuesto antioxidante es encontrado de manera natural en diversos tipos de alimentos que son adquiridos y consumidos de forma ordinaria todos los días con lo que ayuda a prevenir un daño significativo en la salud del ser humano, es por ello que las características de estos compuestos debe investigarse con el fin de determinar cómo interacciona con otro tipo de especies reactivas y además de cómo es su actividad antioxidante en los diversos alimentos donde se encuentran presentes (Coronado et al. 2015).

Estos compuestos se dividen en dos en dos grupos los cuales son enzimáticos y los no enzimáticos; los cuales tienen la capacidad de actuar tanto dentro como fuera de la célula.

La primera línea de defensa del cuerpo humano son aquellas sustancias propias del sistema, como las enzimas que produce el ser humano, basado en un conjunto de diversas enzimas donde destacan las peroxidasa y catalasa, entre otras mientras que la defensa secundaria funciona de la misma manera que la primera y se activa cuando se ve superado la defensa del sistema interno. Funciona filtrando y eliminando aquellos componentes químicos como los radicales libres el cual inhibe su producción o retarda su presencia (Zamora, 2007).

la vitamina C y vitamina E son los compuestos antioxidantes de mayor importancia en los alimentos además de otros compuestos como los fenólicos, los cuales evitan la oxidación de lipoproteínas de baja densidad evitando así la aparición de enfermedades cardiovasculares además de proporcionar un efecto positivo al inhibir la aparición de sustancias cancerígenas que afecten al ser humano (Morales Gómez, 2011), además se ha logrado determinar que estos componentes logran detener la aparición de ciertas enzimas que intervienen en reacciones oxidativas, a la par que promueven la aparición de otros compuestos con características antioxidantes, por ende los flavonoides logra detener la aparición y transporte de los radicales libres (Pérez Trueba, 2003).

Tras comprobarse que los antioxidantes tienen la capacidad de detener la oxidación de sustancias se podría decir que se puede dividir en dos grupos según su funcionamiento donde el primero es capaz de detener las reacciones consecutivas permitiendo la estabilización de dichos compuestos.

El segundo grupo son aquellos que logran alentar el inicio de las reacciones que forman especies reactivas como lo son los hidroperóxidos.

Tanto en el ser humano como en los productos alimenticios están presentes los antioxidantes los cuales son capaces de detener el deterioro de los alimentos y además proporciona al cuerpo humano una protección contra especies dañinas que se originan por diversos factores (Morales Gómez, 2011).

El funcionamiento de los compuestos biológicamente activos en conjunto con otros nutrientes, contribuyen a que diversos productos o alimentos sean clasificados como productos funcionales. Existe un auge de este tipo de alimentos gracias a que los compradores optan por estos productos para mantener un buen estado de salud a través de su consumo frecuente. Hoy en día aún no hay una postura definida ante estos alimentos, sin embargo, se considera integrar a estos tipos de alimentos aquellos que aparte de proporcionar nutrientes, se logró demostrar que aporta beneficios a la salud del ser humano además de prevenir algunas enfermedades. Además de los compuestos antioxidantes entran o se consideran también otros nutrientes específicos como fibras, minerales, vitaminas y estos deben de estar en concentraciones adecuadas para brindar este efecto benéfico (Martínez-Navarrete, 2008).

## 2.2 Películas comestibles

El ritmo de vida de las personas ha cambiado a lo largo de la historia, por ende surge la preocupación y concientización sobre lo importante que es el consumir alimentos ya preparados y en especial frutas poco procesadas. Al comer este tipo de alimentos adecuadamente puede resultar en efectos benéficos por los diversos compuestos y nutrientes que contienen, por lo que al abrir el mercado a este tipo de alimentos mínimamente procesados tiene como resultado un incremento notable en la adquisición y por ende en el consumo de estos productos (Vázquez-Briones & Guerrero-Beltrán, 2013).

La demanda de estos productos, hacen necesarios la utilización de materiales plásticos que son comunes utilizar para la producción de empaques, esto con el fin de llevar el producto

de manera segura durante toda la cadena de distribución para que llegue de manera segura e integra al consumidor final, pero esto ha generado un grave problema de contaminación ya que los materiales de los empaques son pocos degradables (Ramos-García et al. 2018).

El poder conservar de manera adecuada los alimentos siempre ha sido un reto para las empresas productoras de alimentos, por lo que se han desarrollado diversos tipos de empaques como la película plástica, los cuales se han ido mejorando en cuanto a que materiales se utilizan, hasta llegar a ser producidos con materias primas de origen natural que le confieren mayor degradabilidad al empaque (Caamal-Herrera et al. 2011), por lo que hoy en día a aumentado el interés de las películas protectoras fabricadas con polímeros de origen natural, esto, para evitar utilizar materiales de origen plástico y eliminarlos del mercado (Oropeza González et al. 2016), con este objetivo establecido se propone desarrollar el quipo y las metodologías necesarias para utilizar películas biodegradables y adicionar la característica de poder ser comestible por el origen de sus componentes todo esto como respuesta a las exigencias del propio consumidor a la producción de empaques más ecológicos y con menor impacto negativo al medio ambiente (Regalado González et al. 2005).

Sea logrado desarrollar un método que ayuda a prolongar la vida en anaquel de alimentos mínimamente procesados sin comprometer la calidad del mismo, que es mediante la utilización de una solución a partir de componentes naturales y que crea una capa uniforme en el alimento (Reyes-Ávalos et al. 2017), actualmente se han desarrollado formulaciones a base de compuestos naturales, para prolongar la vida en anaquel y mantener la calidad de los frutos y hortalizas. Estas formulaciones son conocidas como recubrimientos comestibles (RC) (Ramos-García et al. 2018), a pesar de que el método de aplicar cubiertas a los alimentos para protegerlos de factores externos es nuevo, se ha utilizado durante mucho tiempo, pues en la historia se tiene datos de que en China se sumergían los frutos cítricos en cera con el fin de protegerlos de la deshidratación, en otros lugares como en Inglaterra se usaba sebo con el mismo objetivo. Hoy en día los productos como chocolates, frutas, verduras, semillas entre otros, son ya utilizados recubrimientos y películas comestibles (Vázquez-Briones & Guerrero-Beltrán, 2013).

Los RC pueden aplicarse a frutas y vegetales para aumentar su vida en anaquel, además pueden utilizarse como acarreadores de ingredientes potenciales activos tales como antioxidantes, antimicrobianos y nutraceuticos. La mayoría de RC, son elaborados a partir de polisacáridos por sus buenas propiedades de adherencia a los frutos, lo cual permite que sean más efectivos (Ramos-García et al. 2018).

Las propiedades por las que se caracteriza un RC es que una capa fina, incolora, se puede ser consumido, y su concepción se da tras sumergir al alimento en una solución formadora que funciona como empaque y que preserva de manera adecuada al producto. Ahora bien un PC es obtenida a través de un molde, con un grosor superior al de un RC (Fernández Valdés et al. 2015), por ende el usar películas o recubrimientos comestible en frutas frescas y alimentos mínimamente procesados ayuda a extender la vida en anaquel sin comprometer la calidad del mismo (Vázquez-Briones & Guerrero-Beltrán, 2013), además, provee una barrera a la humedad, al intercambio de oxígeno y al transporte de masa a través de alimentos frescos o manufacturados (Lovera et al. 2012), extendiendo así la durabilidad de los alimentos frescos al bajar la tasa de respiración, sin alterar la concentración de los nutrientes, manteniendo el peso del producto y características físicas del alimento (Ramos-García et al. 2018).

Los materiales comúnmente utilizados en la formulación RC y PC son de origen natural entre ellos, el almidón y celulosa, denominados como polisacáridos, proteínas como la caseína y las grasas, que pueden ser usadas de manera individual o mezcladas (Vázquez Luna et al. 2019).

El almidón es el polímero que más interés ha despertado en la formulación de estas películas debido a su origen y capacidad de poder degradarse, el bajo costo y la capacidad de poder ser consumido (Oropeza González et al. 2016), la sección de amilosa es la responsable de la capacidad de poder formar una película por parte del almidón, por ende adquiere un interés mayor por ser de bajo costo y con gran disponibilidad en el medio ambiente (Anchundia et al. 2016).

El precursor más utilizado para la elaboración de película comestible y coberturas es el almidón. Sus propiedades como polímero pueden variar dependiendo de la fuente botánica

a partir del cual se extraiga el almidón (cereales, tubérculos y frutos). En general, los almidones contienen 15–20% de amilosa y 80–85% de amilopectina. Sin embargo, estas relaciones son variables y pueden encontrarse almidones ricos en amilosa, así como también almidones compuestos principalmente por amilopectina (almidones waxy). Estas diferencias en la composición de los polímeros determinarán la capacidad del almidón de formar películas. Ahora bien, con la finalidad de manipular las propiedades mecánicas de las películas elaboradas con almidón, se hace necesario agregarle agentes plastificantes como, por ejemplo, glicerol. La acción sinérgica entre el agua y el glicerol (como también la de otros polioles), le confiere plasticidad al almidón. Estos agentes disminuyen las atracciones intermoleculares entre las cadenas del polímero, lo cual reduce los puentes de hidrógenos internos y produce regiones de alta movilidad, debido a la incorporación de humedad. Como consecuencia, aumenta la flexibilidad de las películas y se reduce la fuerza ténsil (Lovera et al. 2012).

Una PC o RC tiene la función de ser un empaque empleado en los alimentos y que puede ser consumida en conjunto con el alimento debido al origen natural de sus componentes, al ser inocuos y mejorando la calidad de los productos. Algunas de las características que deben presentar las RC y PC con el fin de proteger de cambios en el alimento, se presentan a continuación:

- Deben de ser inocuos
- Fácil elaboración en la industria alimentaria.
- Proteger contra daño físico y químicos.
- Deben de ser incoloros y no afectar el sabor del alimento
- Amplia la vida en anaquel controlando la contaminación microbiana.
- Pueden adicionarse antioxidantes, antimicrobianos naturales para controlar la zona exterior del alimento.

Las películas y recubrimientos comestibles tienen la capacidad de regular el paso de diversos componentes externos hacia el alimento y la salida de los mismos, favoreciendo así la calidad del mismo y extiende su vida útil (Fernández Valdés et al. 2015).

Los recubrimientos que se usan aíslan al alimento del medio ambiente, por lo que disminuye la pérdida de humedad y el intercambio gaseoso como lo es el CO<sub>2</sub> y oxígeno. Otra de las características que presentan los recubrimientos y películas es la protección que le confiere al alimento, ya sea por el transporte, agentes microbiológicos y deterioro originado por el oxígeno, por el cual mejora la calidad y presentación del producto final (Reyes-Ávalos et al. 2017) por lo que el uso de las películas comestibles será determinado por su capacidad de protección del medio exterior del alimento; dicha característica será determinada por los componentes de su formulación, la forma en cómo se genere dicho recubrimiento y en como será usado en el alimento.(García et al. 2018).

La aplicación de recubrimientos tanto en frutas como hortalizas ha ido evolucionando con el paso del tiempo y en la actualidad se puede encontrar una gran variedad de métodos para su aplicación. Los aspectos que hay que tener en cuenta en el momento de la aplicación de los recubrimientos son: rápido secado, no producir espuma y ser de fácil remoción, posterior a la aplicación, éste no se debe acidificar, coagular, desarrollar sabores desagradables, agrietarse, decolorarse o caerse durante la manipulación, no debe reaccionar de manera adversa con los alimentos ni poner en riesgo la calidad sensorial del producto, pero debe restringir el paso de gases como oxígeno y dióxido de carbono durante el almacenamiento de los productos (Fernández et al. 2017).

El emplear este tipo de películas comestibles a partir de componentes naturales biodegradables como lo pueden ser los almidones, grasas, caseínas ya sea de manera individual o en combinadas, estos deben de evitar la pérdida de agua del producto, disminuir el intercambio gaseoso alimento-medio ambiente así como preservar las características visuales del alimento. Esto último se logra gracias a que los recubrimientos comestibles son una barrera selectiva a los gases y al agua, además de funcionar también como vehículo para componentes nutricionales como antioxidantes y vitaminas. Hace ya algunos años que se usa este tipo recubrimientos y películas en alimentos por lo que representa una opción viable debido a la concientización en cuanto al consumo de

alimentos mínimamente procesados y libres de componentes químicos tóxicos (Vázquez-Briones & Guerrero-Beltrán, 2013).

### 2.3 Impregnación de compuestos bioactivos a matrices alimentarias

A lo largo de los últimos años, se ha investigado el uso de los recubrimientos comestibles, esto con el fin de poder extender la vida en anaquel de distintos productos alimenticios (González et al. 2016), gracias a estas investigaciones se ha logrado desarrollar una gran cantidad de productos funcionales disponibles para el consumidor, como por ejemplo: productos especializados para neonatos, materia prima para la industria panadera, bebidas especializadas para deportistas, alimentación suplementaria. Productos derivados de la leche, entre otros, por lo que nuevos estudios se enfocan en desarrollar nuevos productos alimenticios novedosos, incluyendo distintos compuestos bioactivos con el objetivo de ofrecer nuevas alternativas al consumidor. Existen diferentes métodos para adicionar los compuestos bioactivos a diversos alimentos, esto dependerá tanto de las características de la matriz alimentaria y de la viabilidad del método a utilizar (Aguirre-García, 2017).

Los vegetales son fundamentales puesto que contienen una gran cantidad de nutrientes como vitaminas, minerales, agua, que son muy importantes para un buen funcionamiento del cuerpo humano y que se vuelve imprescindible incorporar a la dieta humana, por lo que adicionar estos compuestos bioactivos a distintas matrices vegetales impactaría de manera positiva en la adquisición de estos productos a escala global, y más en aquellos países en desarrollo, según reportes de la OMS y la FAO, esto además generaría mayores beneficios para la industria agraria puesto que disminuiría la pérdida de productos durante y después de la cosecha de los alimentos (Bernal Castro et al. 2017).

En los últimos años hubo una gran competencia en distintas áreas de comercio entre ellos, la industria alimentaria, por lo que se ha vuelto necesario el estudiar y diseñar nuevos productos alimenticios así como mejorar los ya existentes, en cuanto a tipo de empaçado, estandarizar la producción del mismo, y sobre que sea seguro su consumo (Camacho Elizondo et al. 2011).

El empaque pasivo es el de mayor uso a lo largo de los años, pues su función es únicamente ofrecer una protección al alimento contra daños en la cadena de transporte y los punto de venta, sin embargo, en los últimos años se han ido modificando estos tipos de empaques ya que actualmente la idea de un empaque es ofrecer una alternativa para conservar de manera adecuada al alimento, por lo que ya no solo los contiene, si no que se ofrece una alternativa al empaque ordinario con beneficios al alimento y al medio ambiente lo cual se le conoce como empaque activo. Esta nueva modalidad de empaque abre las puertas a la utilización de nuevas materias primas para su fabricación que generan una relación positiva entre el empaque y el producto alimenticio.

Al usar compuestos antioxidantes y agentes antimicrobianos en recubrimientos y películas se permite prolongar la vida en anaquel de los productos empacados y dentro de este tipos de compuestos, tenemos agentes químicos aislados de vegetales y aceites esenciales, que le confieren estas propiedades al recubrimiento (Montes Hernández et al. 2017).

Según la Regulación Europea (No. 450/2009) un empaque o envase activos, se define como aquel empaque que tiene la capacidad de liberar o que ingresan a la superficie del alimento contenido en el empaque, con el objetivo de prolongar el tiempo de vida del alimento sin comprometer calidad del alimento, es por ello que la un empaque activo va más allá de proteger al alimento de factores externos como un empaque ordinario, si no que mejora las propiedades y beneficios del propio alimento y es aquí donde encontramos a las películas comestibles (León López et al. 2017).

El consumidor como parte de la concienciación que existe hoy en día, exige que el uso de aditivos alimentarios se dejen de emplear en los productos, por ende se han desarrollado las películas y recubrimientos con características biodegradables, con componentes de origen natural con el fin de satisfacer las necesidades y exigencias del consumidor (González Cuello et al. 2017).

Se ha integrado la idea de utilizar empaques activos como una herramienta tecnológica alimentaria que busca innovar los productos a través de los empaques. El hacer uso de los empaques activos como vehículos de compuestos bioactivos con capacidad antioxidante y

ciertos nutrientes capaces de mejorar los alimentos desde la forma en cómo se fabrican ayudando así la producción de nuevos y mejores alimentos funcionales.

Existen diversos mecanismos de como un empaque activo puede mejorar un alimento que se describen a continuación:

- a) Incorporar en los empaques los compuestos a impregnar y que se liberen de manera paulatina en el alimento, además de que sean fabricados con materiales biodegradables.
- b) Envoltorios alimenticios provistos con enzimas y que su actividad en el ser humano sean benéficos para la salud, mediante la modificación de elementos presentes en los alimentos.
- c) Elementos degradables, como el almidón, quitosano son los más ampliamente utilizados en la fabricación de empaques activos por su capacidad de poder servir como vehículo compuestos bioactivos (Camacho Elizondo et al. 2011).

Se busca que la utilización de películas y recubrimientos comestibles contengan elementos de origen natural, y que estos no afecten las características sensoriales del alimento y que no dejen elementos químicos que afecten al consumidor (Sánchez et al. 2020). Por ejemplo, las películas incorporadas con antioxidantes pueden ser utilizadas en la prevención del deterioro oxidativo de los aceites y grasas que llevan a la rancidez del producto. También pueden usarse para prevenir la formación de olores desagradables y sabores extraños en los alimentos. (Fernández-León et al. 2018).

Las cubiertas comestibles funcionan como vehículos capaces de llevar diversos compuestos integrados en su formulación, por lo que debe de ser aprovechado en la innovación de los productos funcionales además de sean biodegradables y contribuyan de manera positiva en la salud del ser humano (Morales Posada et al. 2015).

### **3. JUSTIFICACIÓN**

La vida en anaquel de diversos alimentos se ve afectado debido a múltiples factores tales como la manipulación humana, procesado, envasado, transporte, almacenaje, etc. Es por lo que hoy en día se buscan alternativas en la industria alimentaria que ayuden a prolongar la vida en anaquel de dichos productos, una de ellas es el empleo de películas y recubrimientos comestibles, las cuales crean una capa externa que evita la contaminación microbiana y previene el deterioro del alimento prolongando así la vida en anaquel del mismo. Una película comestible tiene la viabilidad de poder incorporar diversos compuestos como lo pueden ser antimicrobianos, antioxidantes, nutrientes, con dos propósitos principalmente, enriquecer a los alimentos con compuestos antioxidantes y detener el deterioro causado por agentes externos. Por lo que, el estudiar la transferencia de compuestos bioactivos con capacidad antioxidante de una película comestible a una matriz modelo como lo es el gel de grenetina es de suma importancia para poder conocer un poco más la interacción y liberación de estos compuestos hacía un alimento.

## 4. OBJETIVOS

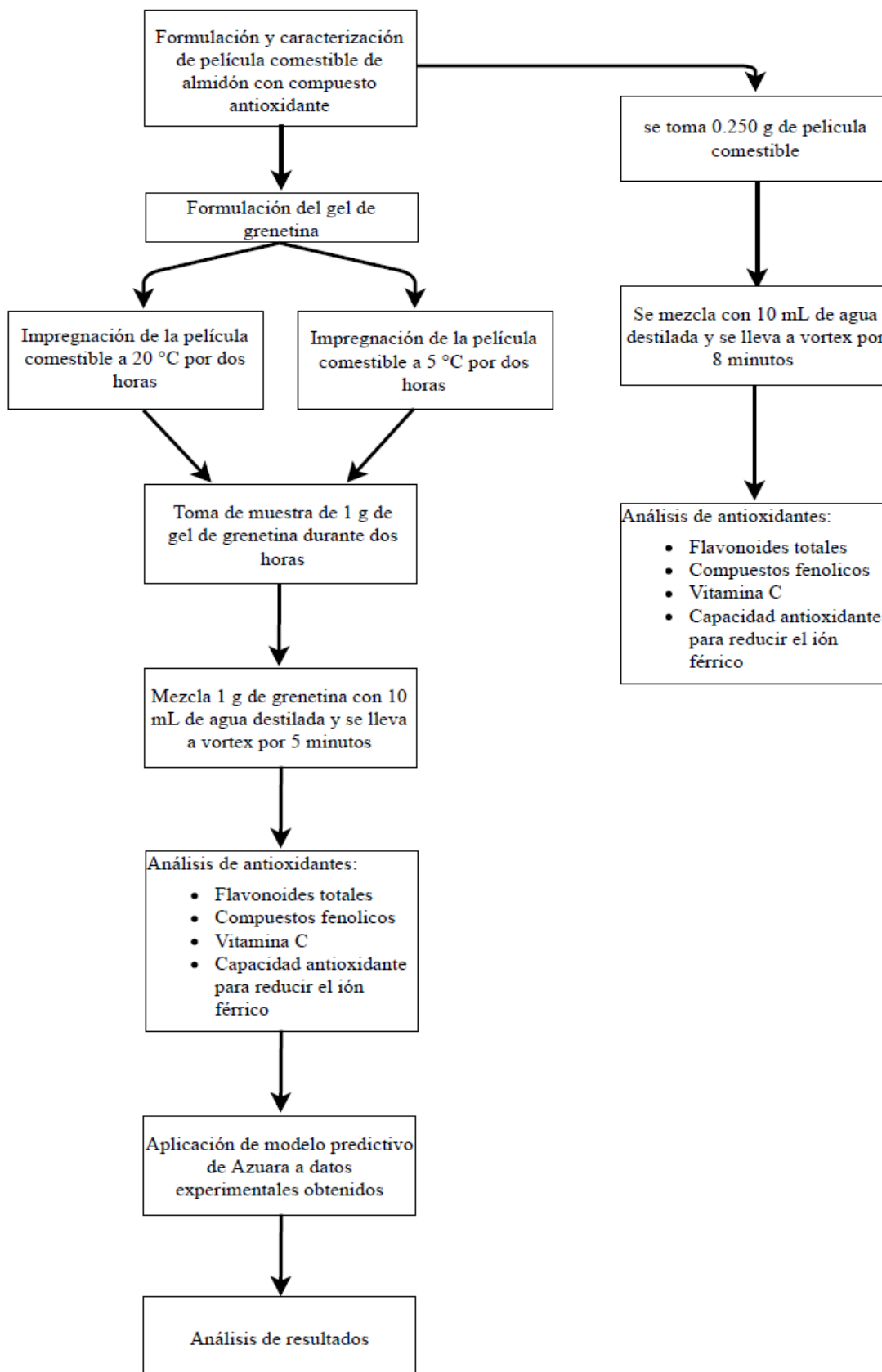
### 4.1 Objetivo general

- Evaluar la transferencia de compuestos bioactivos con capacidad antioxidante de películas comestibles a geles de grenetina

### 4.2 Objetivos específicos

- 1) Caracterizar películas comestibles con base almidón formuladas con compuestos antioxidantes (ácido gálico, quercetina, catequina y vitamina C) en sus características antioxidantes.
- 2) Evaluar la cinética de impregnación de compuestos antioxidantes a dos diferentes temperaturas (5 y 22 °C).

## 5. PLAN DE TRABAJO



## 6. MATERIALES Y MÉTODOS

- Materiales de vidrio necesarios para la formulación de película y determinaciones.
- Reactivos: grado analítico necesarios para la formulación de película y determinaciones.
- Equipos, marcas y modelos empleados en este trabajo de investigación se encuentran en la tabla 1.
- Métodos y su referencias de las técnicas utilizadas en este trabajo de investigación se presentan en la tabla 2.

Tabla 1.- Equipos, marcas y modelos usados en este trabajo.

Equipo	Marca	Modelo
Balanza analítica	Ohaus®	PA313
Baño maría	Yamato®	BM-100
Deshidratador de alimentos	Excalibur®	3926TB
Espectrofotómetro UV-visible	Spectronic 20 Genesys®	4001/4
Micropipeta (10-100 µL)	Brand	TP200H
Micropipeta (100-1000 µL)	Brand	TP342H
Parrilla de calentamiento-agitación	Fisher Scientific®	Isotep
Refrigerador	Mabe	RMA1130JMFS0
Vortex	IKAVortex 3®	140011124
Potenciómetro	Conductronic®	pH10

Tabla 2.- Métodos y técnicas utilizadas en este trabajo.

Procedimiento	Técnica	Referencia
Compuestos fenólicos totales	Reacción colorimétrica con el reactivo de Folin Ciocalteu y lectura espectrofotométrica a 765 nm.	Aparicio-Fernández et al. 2017.
Cuantificación de Flavonoides totales	Reacción colorimétrica y lectura espectrofotométrica a 490 nm	Pérez-Ambrocio et al. 2018.
Cuantificación de vitamina C	Reacción colorimétrica con 2,6-diclorofenolindofenol y lectura espectrofotométrica 515 nm	Ochoa-Velasco et al. 2016 con modificaciones.
Capacidad antioxidante para reducir el ion Férrico (FRAP)	Reacción colorimétrica y lectura espectrofotométrica 700 nm	Ochoa-Velasco et al. 2016 con modificaciones.

## **7. METODOLOGÍA**

### **7.1 Primera etapa: Formulación de la película comestible**

La película comestible se formuló a partir de una concentración de 5% de almidón (5 g) con 1000 ppm del compuesto antioxidante, el cual se incorporó de manera paulatina en 100 mL de una solución hidróxido de sodio (NaOH) 0.125N a una temperatura de 40 °C, posteriormente se agregó 2% de glicerol (2mL) como plastificante, una vez que se observó la incorporación completa de los componentes, se adicionó ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) concentrado necesario para alcanzar un pH de 4 en la solución de la película comestible.

### **7.2 Segunda etapa: Formación de la película comestible**

La película comestible se formó colocando 7.5 mL de solución formadora de la película en una caja Petri (60 \* 15 mm). La solución se dejó reposar por 5 minutos a temperatura ambiente para evitar la formación de burbujas de aire y posteriormente se colocó en un deshidratador de alimentos durante 2 horas a 50°C, rotando las placas para alcanzar un secado uniforme.

### **7.3 Tercera etapa: Formulación del gel modelo**

Se formuló el gel a partir de una concentración de 2% de grenetina que se disolvió en agua destilada a 50 °C, se tomó 12 mL de la solución para ser colocado en caja Petri (60 \* 15 mm). La solución se dejó enfriar hasta que se solidificó y se procedió a almacenar en refrigeración.

### **7.4 Cuarta etapa: Análisis de película comestible**

Se tomó de la película comestible 0.25 g de muestra depositándolo en un tubo de ensayo, posteriormente se le adicionó 10 mL de agua destilada y se homogenizó durante 5 minutos haciendo uso del vortex, después se procedió a realizar la caracterización de los compuestos bioactivos con capacidad antioxidante descritos en el paso 7.6.

### 7.5 Quinta etapa: Impregnación de la película comestible.

Para esta etapa se dividió el procedimiento en dos partes, esto debido a que se realizó a dos temperaturas diferentes.

#### ❖ Impregnación a 22 °C

Se tomaron tres moldes con gel de grenetina y se esperó a que se equilibrara con la temperatura de 22 °C, posteriormente se procedió a tomar una muestra inicial del gel de grenetina (tiempo 0) y a continuación se colocaron las películas comestibles sobre el gel de grenetina tomando muestras (1 g) del gel de grenetina durante 120 min (10, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100 y 120 minutos), para el análisis de los compuestos bioactivos y capacidad antioxidante.

#### ❖ Impregnación a 5 °C

Se tomaron tres moldes con gel de grenetina y se realizó la toma de muestra inicial posteriormente se procedió a tomar una muestra inicial del gel de grenetina (tiempo 0) y a continuación se colocaron las películas comestibles sobre el gel de grenetina tomando muestras (1 g) del gel de grenetina durante 120 min (10, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100 y 120 minutos), para el análisis de los compuestos bioactivos y capacidad antioxidante.

Se depositó todas las muestras en tubos de ensayo donde se procedió a realizar la caracterización de los compuestos bioactivos con capacidad antioxidante.

### 7.6 Sexta etapa: Análisis de las muestras tomadas durante la impregnación de la película comestible.

Caracterización de los compuestos bioactivos con capacidad antioxidante.

La muestra de gel de grenetina fue disuelta con 10 mL de agua destilada con ayuda de un equipo vortex, a esta solución se le realizaron las siguientes pruebas:

❖ **Compuestos fenólicos totales**

Tiene como fundamento en la reducción del reactivo de Folin-Ciocalteu. Se tomó 1 mL de la solución obtenida al que se le adicionó 1 ml de reactivo de Folin-Ciocalteu (0.1M) y se mezcló con el vórtex durante 15 minutos a baja velocidad, se dejó incubar la mezcla por 3 minutos a temperatura ambiente y en ausencia de luz. Posteriormente, a la mezcla anterior se adicionó 1 ml de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (0.05%) y se dejó incubar nuevamente por 30 minutos, se agitó por 15 segundos antes de leer en el espectrofotómetro. La absorbancia se leyó a 765 nm y para el blanco se sustituyó el reactivo de Folin-Ciocalteu por agua destilada. Se reportaron los resultados en mg GAE/100 g.

❖ **Flavonoides totales**

Se basa en la formación de un complejo de aluminio-flavonoide. Se tomó 0.5 mL de la solución obtenida y se le adicionó 0.5 ml de  $\text{NaNO}_2$  (1.5%) en un tubo de ensayo, en ausencia de luz. Se agitó la mezcla durante unos segundos en un vórtex a temperatura ambiente, después se agregó 1 mL de  $\text{AlCl}_3$  al 3% y se agitó durante 1 minuto a temperatura ambiente. Por último, se adicionó a la mezcla 1 mL de  $\text{NaOH}$  (1 N) y se agitó durante 1 minuto a temperatura ambiente, velocidad media y se midió la absorbancia a 490 nm. Para el blanco se sustituyó el  $\text{AlCl}_3$  (3%) por agua destilada. Se reportaron los resultados en mg quercetina/100 g.

❖ **Prueba de vitamina C**

Este método se fundamenta en la reducción de la sal de sodio 2,6-dicloroindofenol (DCIP), 0.7 mL de la solución obtenida fueron mezclados con 0.7 mL de buffer de acetato y 0.7 mL de indicador DCIP. La mezcla se homogenizó utilizando el vórtex por 30 segundos a velocidad media y se midió los resultados a 515 nm. El blanco en esta reacción se sustituyó el DCIP por agua. Se reportaron los resultados en mg de AA/g.

❖ **Poder reductivo (FRAP)**

El método FRAP se fundamenta en la reducción del hierro férrico ( $\text{Fe}^{+3}$ ) presente en el reactivo, por lo que se tomó 0.75 mL de extracto obtenido y se adicionó 1 mL de buffer de fosfatos, 1 mL de hexacianoferrato de potasio ( $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ). Se homogenizó por 15 segundos en el vórtex a baja velocidad y se colocó en una

gradilla, se llevó a baño maría para su incubación por 20 minutos. Después de la incubación se procedió de manera inmediata a un baño frío por 5 minutos, al término del baño frío se adicionó 1 mL de ácido tricloroacético ( $\text{CCl}_3\text{COOH}$ ) mezclando nuevamente 15 segundos en el vórtex y por último se agregó 0.250 mL de cloruro férrico ( $\text{FeCl}_3$ ) y se mezcló por 15 segundos nuevamente, se midió la absorbancia de esta prueba a 700 nm. Para el blanco se sustituyó el cloruro férrico ( $\text{FeCl}_3$ ) por agua destilada. Se reportaron los resultados en mg ácido ascórbico/100 g.

#### 7.7 Séptima etapa: Modelo de Azuara

Se aplicó el modelo predictivo de Azuara a los datos experimentales obtenidos durante la cinética de impregnación de los compuestos antioxidantes de las películas comestibles a geles de grenetina.

#### 7.8 Octava etapa: Análisis de resultados

Se realizó un análisis estadístico a los datos experimentales, así como su interpretación de los resultados.

## 8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 8.1 Caracterización de película comestible en sus componentes antioxidantes.

En la Figura 1 se presenta la pérdida de compuestos antioxidantes y capacidad antioxidante tras la formulación y formación de la película comestible (ácido gálico, quercetina, catequina, ácido ascórbico y poder reductor), esta disminución se ve reflejado en las diferentes pruebas que se realizaron. En la prueba de compuestos fenólicos totales se observó una disminución en la concentración de ácido gálico, quercetina y catequina con una reducción en la concentración de entre 65-80% de la concentración de antioxidantes incorporados al inicio de la formulación, mientras que en la prueba de flavonoides se logró observar que los compuestos de quercetina y catequina tuvieron una retención de 9 y 13%, respectivamente. Esta disminución en la concentración puede ser debido a la exposición al calor, puesto que los compuestos fenólicos son compuestos termolábiles y al exponerlos a temperaturas mayores a 60°C se facilita su degradación (Flores Casamayor, 2009; Zapata et al. 2015).

El ácido ascórbico es el compuesto que se ve mayormente afectado por la formulación de la película comestible, ya que se retiene únicamente el 1% de la concentración inicial, esto debido a que el ácido ascórbico es un antioxidante termolábil y que presenta una sensibilidad al oxígeno por lo que las pérdidas por tratamientos térmicos son importantes Robles Condori (2016). En la prueba correspondiente a poder reductor se observó que se conserva entre el 10 y 13% de la concentración inicial, esta disminución se da tras el tratamiento térmico efectuado en la formulación de las películas comestibles, la disminución de la capacidad antioxidante también fue observado por Agostini et al. (2004), esto debido a la degradación de los compuestos antioxidantes ante la exposición de elevadas temperaturas.

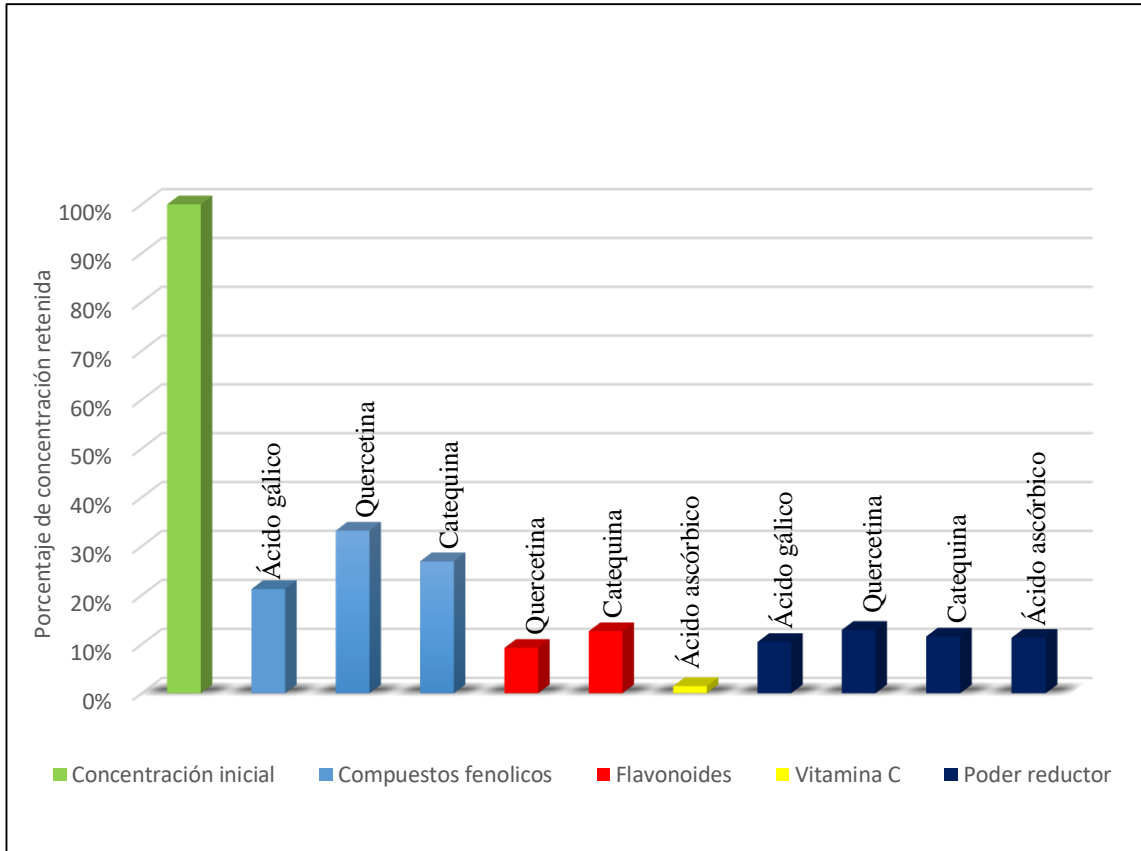


Figura 1. Porcentaje de compuestos antioxidantes retenidos tras la formación de película comestible.

## 8.2 Cinéticas de impregnación de compuestos antioxidantes y poder reductor de películas de almidón a geles de grenetina.

En la Figura 2 se presenta la cuantificación de compuestos fenólicos de geles de grenetina en contacto con películas de almidón adicionadas con ácido gálico (A), quercetina (B) o catequina (C) a dos diferentes temperaturas (5 y 22°C). Se observa que, al incrementar el tiempo de contacto entre la película de almidón adicionadas con cualquiera de los compuestos fenólicos y el gel de grenetina, la transferencia de masa se incrementa rápidamente durante los primeros minutos (40 min aproximadamente), posteriormente la ganancia de compuestos antioxidantes disminuye, posiblemente indicando un equilibrio entre el contenido de antioxidantes de la película comestible y el gel de grenetina. Después de 2 horas de impregnación, la ganancia máxima de ácido gálico, quercetina y catequina fue de 0.505-0.540 mg equivalentes de ácido/g, 0.199-0.394 mg equivalentes de ácido

gálico/g y 0.258-0.279 mg equivalentes de ácido gálico/g, respectivamente, siempre siendo más alta a la mayor temperatura evaluada (22°C). Desde un punto de vista termodinámico, al incrementar la temperatura de un proceso de transferencia de masa se incrementa el proceso de difusión del soluto en la matriz del gel, así como el punto de equilibrio (Silva Paz et al. 2014a). Lo anterior se puede observar en la Tabla 3 en donde utilizando el modelo de Azuara, el cual reproduce de manera satisfactoria los datos experimentales ( $R^2 > 0.80$ ), se obtiene el valor de equilibrio ( $Y_e$ ) y en donde se puede observar que en todos los casos el punto de equilibrio es mayor al incrementar la temperatura. Lo anterior ha sido también observado por Silva Paz et al. (2014a), quien al evaluar el efecto de la temperatura en la ganancia de sólidos durante un proceso indicó que los valores de ganancia de sólidos en el equilibrio son mayores al incrementar la temperatura.

Tabla 3. Parámetros del modelo de Azuara para la impregnación de compuestos fenólicos desde películas de almidón a geles de grenetina.

Compuesto	Temperatura	$Y_e$	K	R2
Ácido gálico	5°C	0.65±0.01b	0.06±0.00a	0.89
	22°C	0.80±0.07a	0.07±0.05a	0.87
Quercetina	5°C	0.19±0.00d	0.06±0.00a	0.82
	22°C	0.43±0.01c	0.08±0.00a	0.81
Catequina	5°C	0.26±0.01d	0.06±0.01a	0.88
	22°C	0.29±0.01d	0.06±0.00a	0.89

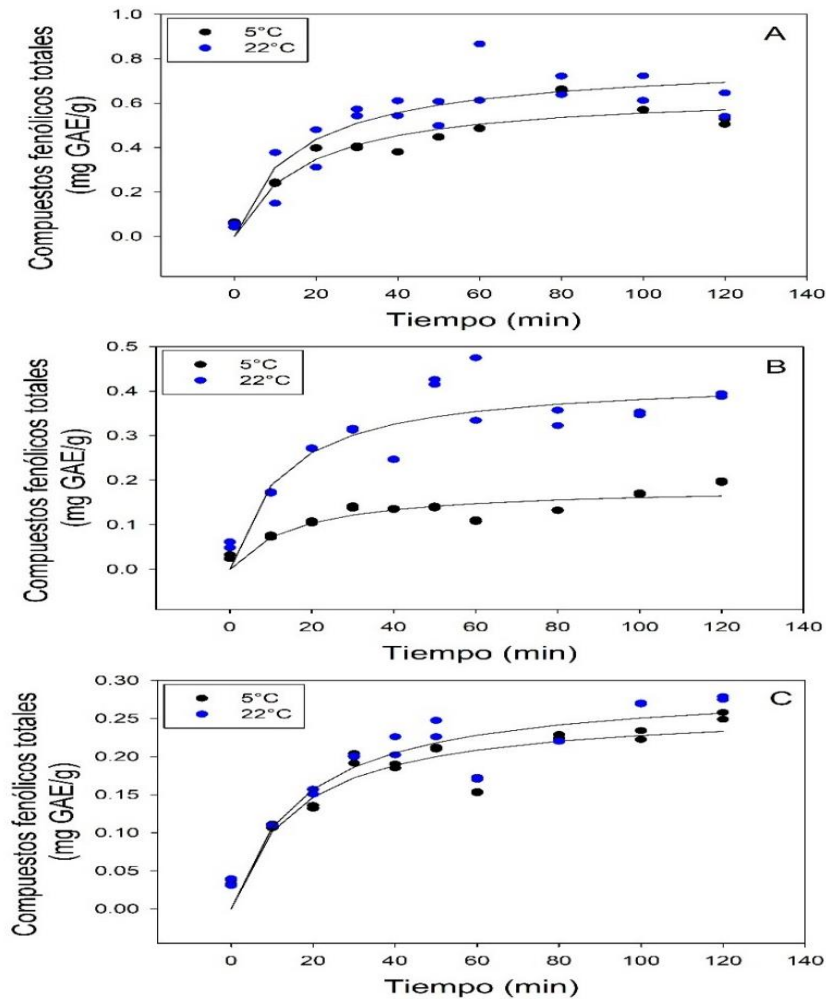


Figura 2. Impregnación de compuestos fenólicos de películas de almidón a geles de grenetina a diferentes temperaturas (5 y 22 °C).

En la Figura 3 se presenta la cuantificación de vitamina C de geles de grenetina en contacto con películas de almidón adicionadas con ácido ascórbico (A) a dos diferentes temperaturas (5 y 22°C). Se observa una migración muy rápida los primeros 10 minutos de impregnación, posteriormente no existe ganancia significativa en vitamina C por parte del gel de grenetina, lo que puede indicar que la transferencia de ácido ascórbico entre la película de almidón y el gel de grenetina ha alcanzado el equilibrio, teniendo una concentración al término de las 2 horas de impregnación de 148- 157 mg de ácido ascórbico/g, siendo la de mayor temperatura la que presenta una mayor concentración, aunque no significativa ( $p > 0.05$ ). La rápida transferencia del ácido ascórbico al gel de grenetina para ambas temperaturas puede deberse a la naturaleza hidrofílica del compuesto

Silva Paz et al. (2014b), el cual tiende a desplazarse de manera rápida para alcanzar el equilibrio. En la Tabla 4 se puede observar que tanto la constante de Azuara como el punto de equilibrio presentan valores similares, por lo que se puede concluir que la temperatura no afecta significativamente el proceso de impregnación del ácido ascórbico.

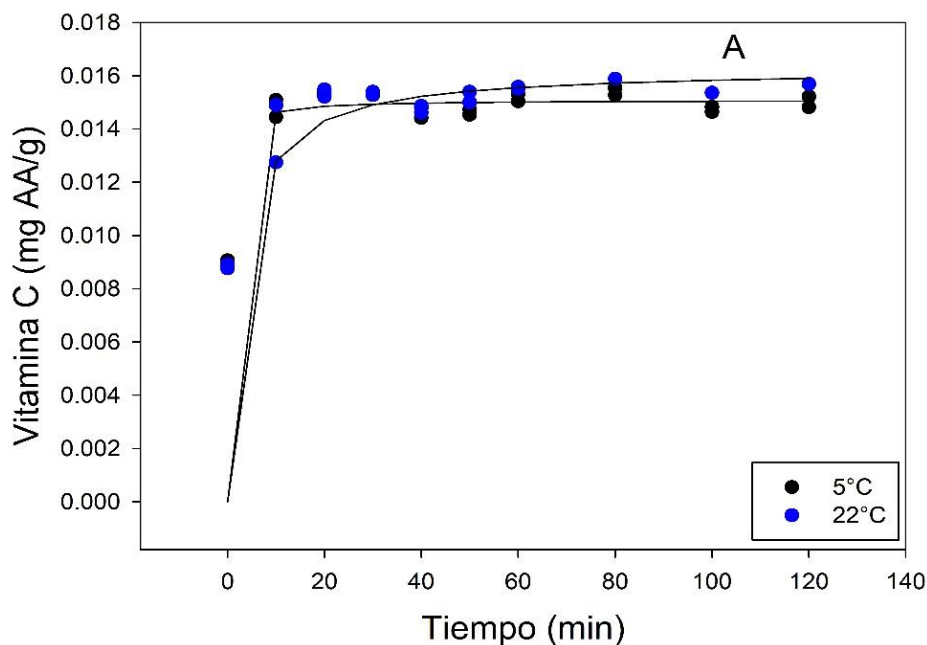


Figura 3. Impregnación de ácido ascórbico de películas de almidón a geles de grenetina a dos diferentes temperaturas 5 y 22 °C

Tabla 4. Parámetros del modelo de Azuara para la impregnación de ácido ascórbico desde películas de almidón a geles de grenetina.

Compuesto	Temperatura	Ye	K	R2
Vitamina C	5°C	0.02±0.00a	4.10±2.79a	0.97
	22°C	0.02±0.00a	2.19±0.02a	0.92

En la Figura 4 se presenta la cuantificación de flavonoides de geles de grenetina en contacto con películas de almidón adicionadas con catequina (A) y quercetina (B) a dos diferentes temperaturas (5 y 22°C). Se observó una impregnación rápida los primeros minutos (30 minutos), que posteriormente se ve disminuida para llegar al equilibrio. Al

término de las 2 horas de impregnación se obtiene una concentración final de 0.25-0.51 mg de quercetina/g para quercetina y de 0.57-0.67 mg de quercetina/g para catequina. La quercetina presentó una concentración de impregnación levemente mayor a 22 °C; sin embargo, al observar la Tabla 5 se obtuvo a través del modelo de Azuara valores similares al llegar al equilibrio. Por otra parte, el compuesto de catequina presenta una diferencia en la concentración final obtenida siendo favorecida a los 5 °C. Esto puede deberse a la degradación del compuesto y/o oxidación como menciona Huanca Melgarejo (2010) y Duque Acevedo et al. (2020).

Tabla 5. Parámetros del modelo de Azuara para la impregnación de flavonoides desde películas de almidón a geles de grenetina.

Compuesto	Temperatura	Ye	K	R2
Catequina	5°C	0.26±0.02b	0.74±0.47a	0.62
	22°C	0.52±0.03a	0.15±0.06a	0.67
Quercetina	5°C	0.58±0.05a	0.08±0.02a	0.60
	22°C	0.59±0.00a	0.09±0.01a	0.83

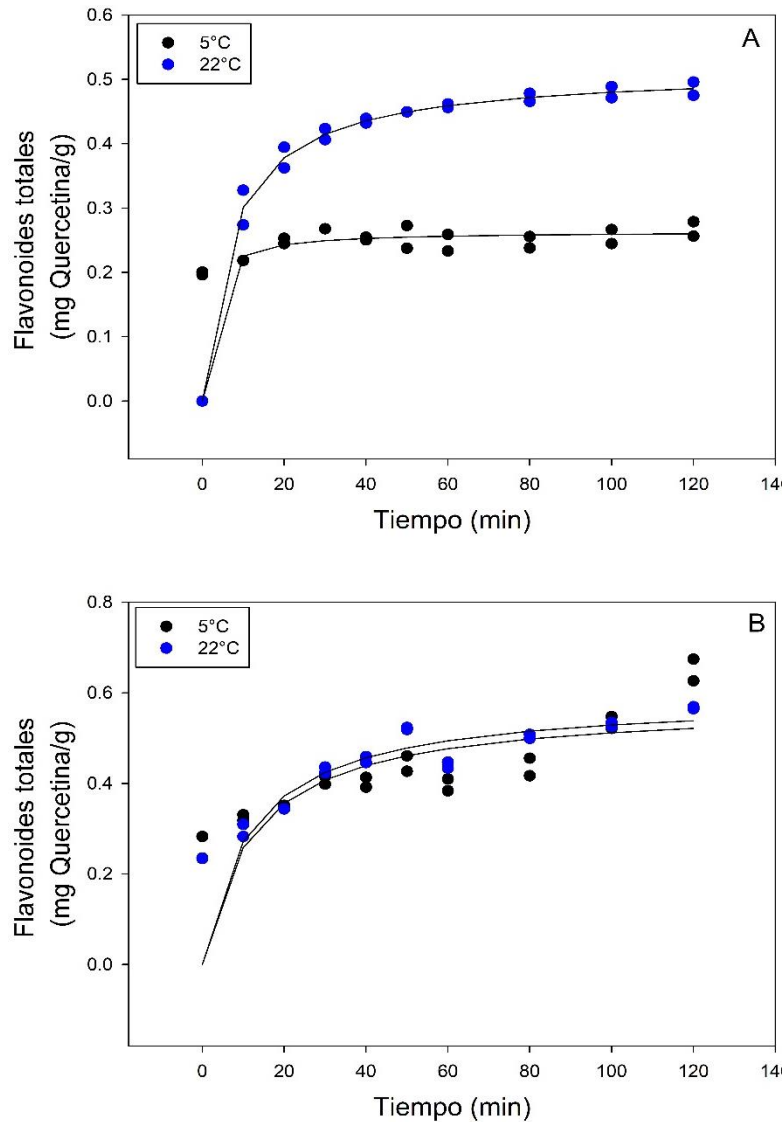


Figura 4. Impregnación de flavonoides de películas de almidón a geles de grenetina a dos diferentes temperaturas 5 y 22 °C

En la Figura 5 se presenta la cuantificación del poder reductor de geles de grenetina en contacto con películas de almidón adicionadas con ácido gálico (A), quercetina (B), catequina (C) y vitamina C (D) a dos diferentes temperaturas (5 y 22°C). Donde encontramos diversos comportamientos del ácido gálico (A) y quercetina (B) pues alcanzaron el equilibrio dentro de los primeros 40 minutos, teniendo al termino de las 2 horas de impregnación una concentración final de 0.24-0.45 mg ácido ascórbico/g y 0.21-0.46 mg ácido ascórbico/g correspondiente a ácido gálico y quercetina. La impregnación a 5°C favorece al ácido gálico mientras que quercetina tiene una mejor migración a 22°C.

En el caso de catequina alcanza el equilibrio dentro de los primeros 30 minutos, teniendo una concentración final de 0.36-0.47 mg ácido ascórbico/g donde la mayor concentración es a 5°C, esto puede ser producto de la oxidación y solubilidad del compuesto como menciona Duque Acevedo et al. (2020) y Martínez Flores et al. (2002). En tanto la vitamina C, se observó que llega al equilibrio en los primeros 20 minutos de impregnación con una concentración final de 0.12-0.26 mg ácido ascórbico/g, siendo más alta la de mayor temperatura evaluada, estas bajas concentraciones pueden deberse a una rápida oxidación de la vitamina C como refiere Borsini (2019). Si observamos los datos obtenidos a través del modelo de Azuara contenidos en la tabla 6, se evidencia que la capacidad reductora alcanzada por quercetina, catequina y vitamina C es mayor a 22°C al llegar al valor de equilibrio.

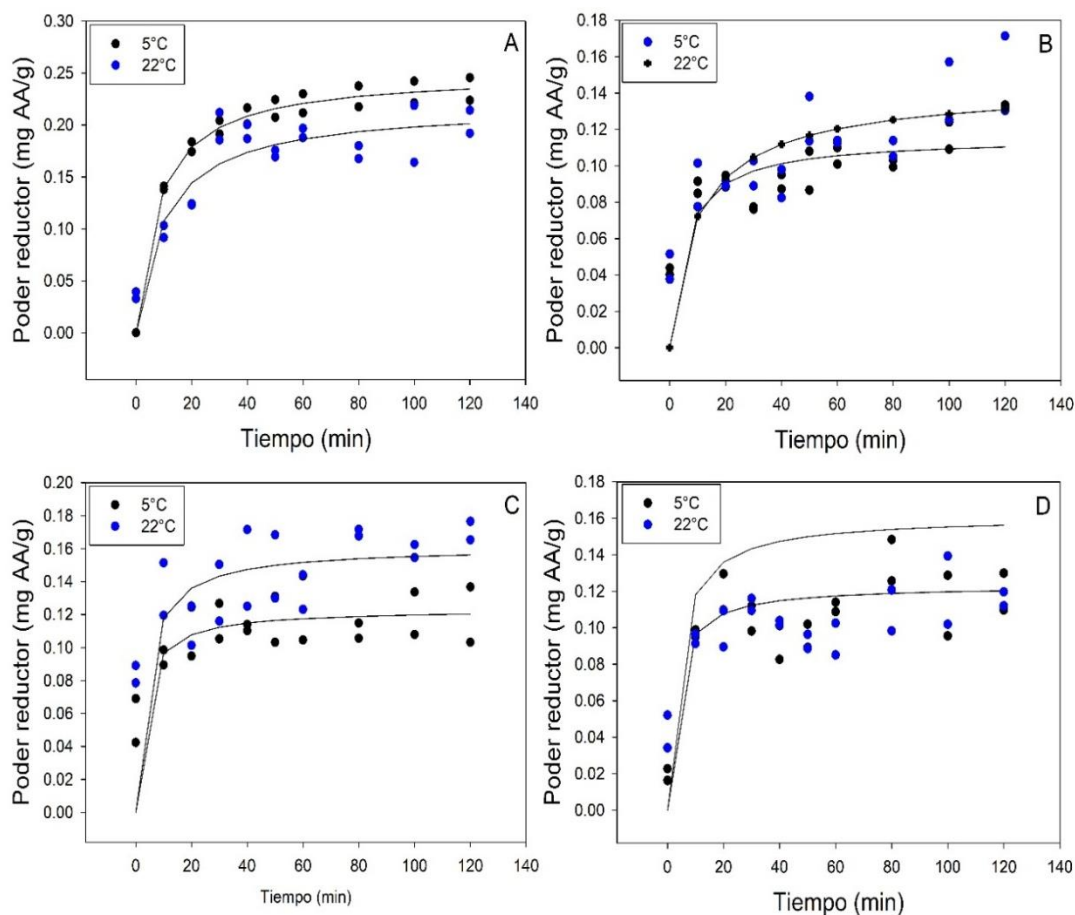


Figura 5. Evaluación del poder reductor en geles de grenetina impregnados con películas de almidón a dos diferentes temperaturas 5 y 22 °C

Tabla 6. Parámetros del modelo de Azuara para la impregnación de poder reductor desde películas de almidón a geles de grenetina.

Compuesto	Temperatura	Ye	K	R2
Ácido gálico	5°C	0.25±0.02a	0.13±0.02a	0.85
	22°C	0.22±0.01ab	0.10±0.01a	0.85
Quercetina	5°C	0.12±0.01c	0.19±0.08a	0.71
	22°C	0.14±0.04bc	0.15±0.14a	0.75
Catequina	5°C	0.12±0.02c	0.58±0.51a	0.81
	22°C	0.16±0.02bc	0.31±0.16a	0.57
Vitamina C	5°C	0.26±0.01a	0.06±0.01a	0.75
	22°C	0.29±0.00a	0.06±0.00a	0.75

## 9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se logró formular y generar una película comestible a base de almidón adicionados con compuestos antioxidantes tales como ácido gálico, quercetina, catequina y ácido ascórbico. Sin embargo, existe una gran pérdida de estos compuestos debido a la temperatura de formulación de las películas

El gel de grenetina y la película de almidón permitieron evaluar la transferencia de compuestos antioxidantes, lo que nos puede ayudar a simular la transferencia de compuestos antioxidantes de películas de almidón a un alimento.

El modelo de Azuara logró reproducir los datos experimentales de manera satisfactoria.

Se comprobó que la temperatura afectó el proceso de impregnación de los compuestos antioxidantes, el ácido gálico fue el que presentó mayor concentración impregnada mientras que la vitamina C registró la menor concentración, esto por la rápida degradación del compuesto, por lo que se recomienda desarrollar una formulación que compense la disminución de la concentración a impregnar.

Someter la solución formadora de la película comestible con compuestos antioxidantes a un tratamiento térmico para su formación, afecta de manera directa la concentración de dichos compuestos antioxidantes, por lo que se recomienda plantear una metodología para disminuir esta pérdida de compuestos antioxidantes.

Se recomienda evaluar la película de almidón en sus propiedades físicas, así como una evaluación sensorial.

Se sugiere evaluar la transferencia de compuestos antioxidantes en un alimento.

Se recomienda evaluar diferentes concentraciones de los compuestos antioxidantes.

Se recomienda evaluar una película con base de almidón adicionado con una mezcla de estos antioxidantes.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

- Agostini, L. R., Morón Jiménez, M. J., Ramón, A. N., & Ayala Gómez, A. (2004). Determination of the antioxidant capacity of flavonoids in fruits and fresh and thermally treated vegetables. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 54(1), 89-92. Disponible en: [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0004-06222004000100013&lng=es&tlng=en](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222004000100013&lng=es&tlng=en)
- Aguirre García, M. (2017). Estudio de la transferencia de masa de capacidad antioxidante durante la impregnación de una matriz de manzana (*Malus domestica* L.) con jugo de betabel (Tesis de Maestría). Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México. Disponible en: <https://repositorioinstitucional.buap.mx/handle/20.500.12371/627?show=full>
- Anchundia, K., Santacruz, S., & Coloma, J. (2016). Caracterización física de películas comestibles a base de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*). *Revista chilena de nutrición*, 43(4), 9. Disponible en: <https://doi.org/10.4067/s0717-75182016000400009>
- Aparicio-Fernández, X., Vega-Ahuatzin, A., Ochoa-Velasco, C. E., Cid-Pérez, S., Hernández-Carranza, P., & Ávila-Sosa, R. (2017). Physical and Antioxidant Characterization of Edible Films Added with Red Prickly Pear (*Opuntia ficus-indica* L.) cv. San Martín Peel and/or Its Aqueous Extracts. *Food and Bioprocess Technology*, 11(2), 368-379. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11947-017-2017-x>
- Bernal Castro, C. A., Díaz Moreno, C., & Gutiérrez Cortés., C. (2017). Probióticos y prebióticos en matrices de origen vegetal: avances en el desarrollo de bebidas de frutas. *Revista chilena de nutrición*, 44(4), 383-392. Disponible en: <https://doi.org/10.4067/s0717-75182017000400383>
- Borsini, A. A. (2019). Influencia de la temperatura de secado en las características antioxidantes de subproductos de alcachofa. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10251/127928>
- Caamal-Herrera, I. O., Pereira-Pacheco, F. E. & Madera-Santana, T. J. (2011). Caracterización óptica y mecánica de películas comestibles a base de mezclas

binarias de almidones de *Phaseolus lunatus L*, *Manihot esculenta Crantz* y *Zea mays L*. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, 12(1),101-109. ISSN: 1665-0204. Disponible en:

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=813/81318808016>

- Camacho Elizondo, M., Vega Baudrit, J., & Campos Gallo, A. (2011). Uso de nanomateriales en polímeros para la obtención de bioempaques en aplicaciones alimentarias. Revista de la Sociedad Química del Perú, 77(4), 292-306. Disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2011000400007&lng=es&tlng=](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2011000400007&lng=es&tlng=)
- Cárdenas Baquero, G. D., Arrazola Paternina, G., & Villalba Cadavid, M. (2016). Frutas tropicales: fuente de compuestos bioactivos naturales en la industria de alimentos. Ingenium Revista de la facultad de ingeniería, 17(33), 29-17. Disponible en: <https://doi.org/10.21500/01247492.2152>
- Coronado H, M., Vega y León, S., Gutiérrez T, R., Vázquez F, M., & Radilla V, C. (2015). Antioxidantes: perspectiva actual para la salud humana. Revista chilena de nutrición, 42(2), 206-212. Disponible en: <https://doi.org/10.4067/s0717-75182015000200014>
- De Ancos, B., González-Peña, D., Colina-Coca, C., & Sánchez-Moreno, C. (2015). Uso de películas/recubrimientos comestibles en los productos de IV y V gama. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, 16(1), 8-17. ISSN: 1665-0204. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=813/81339864002>
- Duque Acevedo, C., Caballero Pérez, L., & Rivera, M. E. (2020). Efecto de la temperatura en las etapas de refinado y mezclado sobre el contenido de polifenoles de un chocolate blanco. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, 2(36), 44–51. Disponible en: [http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs\\_viceinves/index.php/RCTA/article/view/3711/2272](http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/RCTA/article/view/3711/2272)
- Fernández- León, D. E., Hernández- Uribe, J. P., Campos- Montiel, R. G., & Jiménez-Alvarado, R. (2018). Empaques activos en la industria de los alimentos.

- Boletín de Ciencias Agropecuarias del ICAP, 4(8). Disponible en: <https://doi.org/10.29057/icap.v4i8.3341>
- Fernández Valdés, D., Bautista Baños, S., Fernández Valdés, D., Ocampo Ramírez, A., García Pereira, A., & Falcón Rodríguez, A. (2015). Películas y recubrimientos comestibles: una alternativa favorable en la conservación poscosecha de frutas y hortalizas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(3), 52-56. ISSN: 1010-2760. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=932/93241559008>
  - Fernández, N. M., Echeverría, D. C., Mosquera, S. A., & Paz, S. P. (2017). Estado actual del uso de recubrimientos comestibles en frutas y hortalizas. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 15(2), 134. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(15\)134-141](https://doi.org/10.18684/bsaa(15)134-141)
  - Flores Casamayor, V. (2009). Identificación del perfil de flavonoides en subproductos de procesamiento de limón persa y volkameriano (Tesis de Maestría). Universidad Veracruzana, Veracruz, México. Disponible en: <http://cdigital.uv.mx/handle/123456789/2885>
  - Gámez-Villazana, J. (2020). Avances en la determinación de compuestos bioactivos en alimentos. *La Revista de Ciencia y Tecnología Agrollania*, 19, 7-17. Disponible en: <http://revistas.unellez.edu.ve/index.php/agrollania/issue/view/84>
  - García, M., Delgado, F., Escamilla, M., García, B., & Regalado, C. (2018). Métodos modernos para la caracterización de películas y recubrimientos comestibles. *Revista de la Sociedad Mexicana de Biotechnología y Bioingeniería A.C.*, 22(1), 37-54. Disponible en: <https://smbb.mx/wp-content/uploads/2018/06/BioTecnologia-2018Vol22-No1.pdf>
  - González Cuello, R., Pérez Mendoza, J., & Gelvez Ordóñez, V. (2017). Incremento en la vida útil post cosecha del aguacate (*Persea americana*) utilizando recubrimientos a base de goma gelana. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 20(1), 101-110. Disponible en: <https://doi.org/10.31910/rudca.v20.n1.2017.67>

- González, R., Cervantes, Y., & Caraballo, L. (2016). Conservación de la guayaba (*Psidium guajava L.*) en postcosecha mediante un recubrimiento comestible binario. *Temas Agrarios*, 21(1), 54-64. Disponible en: <https://doi.org/10.21897/rta.v21i1.891>  
<http://revistas.ut.edu.co/index.php/tumbaga/article/view/59>
- Huanca Melgarejo, J.A. (2010). Polifenoles totales, catequina y actividad antioxidante en granos de cacao (*Theobroma cacao L.*) criollo v ccn-51 en las etapas de beneficio y tostado (tesis de pregrado, universidad nacional agraria de la selva). Disponible en: <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/246>
- León López, A., Álvarez, A., Jiménez Alvarado, R., Campos Montiel, R. G., & Reyes Munguía, A. (2017). Películas a base de gelatina adicionadas con compuestos bioactivos. *Boletín de Ciencias Agropecuarias del ICAP*, 3(5). Disponible en: <https://doi.org/10.29057/icap.v3i5.2062>
- Lovera, M., Hernández, O., Tapia, M. S., Pérez, E., Emaldi, U., Laurentin, A., & Tovar, J. (2012). Digestibilidad in vitro de películas comestibles a base de diferentes almidones. *Memorias del Instituto de Biología Experimental*, 6, 113-116. Disponible en: <http://saber.ucv.ve/>
- Lutz, M. (2013). Biodisponibilidad de compuestos bioactivos en alimentos. *Perspectivas en Nutrición Humana*. 15, 217-226 disponible en <http://www.scielo.org.co/pdf/penh/v15n2/v15n2a8.pdf>
- Manchón Díez, N. (2015). Métodos avanzados para el análisis, conservación y extracción de compuestos fenólicos en alimentos (Tesis de doctorado). Universidad de Valladolid, Valladolid, España. Disponible en: <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/16714>
- Martínez Flóres, S., González Gallego, J., Culeras, J. M., & Tuñón, M. J. (2002). Los flavonoides: propiedades y acciones antioxidantes. *Nutrición hospitalaria*, 17(6), 271–278. <http://www.nutricionhospitalaria.com/pdf/3338.pdf>
- Martínez-Navarrete, N., del Mar Camacho V. M., & Martínez Lahuerta, J. (2008). Los compuestos bioactivos de las frutas y sus efectos en la salud. *Actividad*

Dietética, 12(2), 64-68. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/s1138-0322\(08\)75623-2](https://doi.org/10.1016/s1138-0322(08)75623-2)

- Montes Hernández, A. I., Oropeza González, R. A., Padrón Pereira, C. A., Araya Quesada, Y., Wexler Goering, L., & Cubero Castillo, E. (2017). Películas biodegradables con propiedades bioactivas. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 8(1), 57-89. Disponible en: <https://sites.google.com/site/2rvcta/v8-n1-2017?authuser=0>
- Morales Gómez, P. (2011). Vegetales silvestres de uso alimentario: Determinación de compuestos bioactivos y valoración de la capacidad antioxidante (Tesis de doctorado). Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España. Disponible en: <https://eprints.ucm.es/14444/1/T33233.pdf>
- Morales Posada, N., & Robayo Rodríguez, A. (2015). Recubrimiento para frutas. *Alimentos Hoy*, 23(35), 20-32. Disponible en: [https://acta.org.co/acta\\_sites/alimentoshoy/index.php/hoy/article/view/312/280](https://acta.org.co/acta_sites/alimentoshoy/index.php/hoy/article/view/312/280)
- Ochoa-Velasco, C. E., Valadez-Blanco, R., Salas-Coronado, R., Sustaita-Rivera, F., Hernández-Carlos, B., García-Ortega, S., & Santos-Sánchez, N. F. (2016). Effect of nitrogen fertilization and *Bacillus licheniformis* biofertilizer addition on the antioxidants compounds and antioxidant activity of greenhouse cultivated tomato fruits (*Solanum lycopersicum L. var. Sheva*). *Scientia Horticulturae*, 201, 338-345. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.02.015>
- Oropeza González, R. A., Montes Hernández, A. I., & Padrón Pereira, C. A. (2016). Películas biodegradables a base de almidón: propiedades mecánicas, funcionales y biodegradación. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 7(1), 065-093. Disponible en: <https://sites.google.com/site/2rvcta/home?authuser=0>
- Pérez-Ambrocio, A., Guerrero-Beltrán, J. A., Aparicio-Fernández, X., Ávila-Sosa, R., Hernández-Carranza, P., Cid-Pérez, S., & Ochoa-Velasco, C. E. (2018). Effect of blue and ultraviolet-C light irradiation on bioactive compounds and antioxidant capacity of habanero pepper (*Capsicum chinense*) during refrigeration storage.

- Postharvest Biology and Technology, 135, 19-26. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.08.023>
- Pérez Trueba, Gilberto. (2003). Los flavonoides: antioxidantes o prooxidantes. Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas, 22(1). Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-03002003000100007&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03002003000100007&lng=es&tlng=es).
  - Quintero Cerón, J. P., Falguera Pascual, V., & Muñoz Hernández, J. A. (2010). Películas y recubrimientos comestibles: importancia y tendencias recientes en la cadena hortofrutícola. Revista Tumbaga, 5, 93-118. Disponible en: <http://revistas.ut.edu.co/index.php/tumbaga/article/view/59>
  - Ramos-García, M. L, Romero-Bastida, C., & Bautista-Baños, S. (2018). Almidón modificado: Propiedades y usos como recubrimientos comestibles para la conservación de frutas y hortalizas frescas. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, 19(1), ISSN: 1665-0204. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=813/81355612003>
  - Regalado González, C., Magaña Alemán, F., & Guzmán Martínez, C. (2005). Diseño de la Formulación de un Material de Empaque Flexible y Comestible a Base de Aislado Proteínico de Suero. Conciencia Tecnológica, (27-30), ISSN: 1405-5597. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=944/94403003>
  - Reyes-Avalos, M. C., Minjares-Fuentes, J. R., Esparza-Rivera, J. R., Contreras-Esquivel, J. C., Montañez-Sáenz, J. C., & Meza-Velázquez, J. A. (2017). Calidad de melón cantaloupe (*Cucumis melo*) cubierto con una película comestible de alginato-hpmc-parafina. Nova Scientia, 9(18), 222-238. Disponible en: <https://doi.org/10.21640/ns.v9i18.797>
  - Robles Condori, N. (2016). Efecto del tiempo y temperatura de pasteurización en el contenido de vitamina c y capacidad antioxidante en zumo de oca (*Oxalis tuberosa Mol*) (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional Del Altiplano, Puno, Perú. Disponible en: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/3592>

- Robles Sánchez, R. M., Gorinstein, S., Martín Belloso, O., Astiazarán García, H., González Aguilar, G., & Cruz Valenzuela, R. (2007). Frutos tropicales mínimamente procesados: potencial antioxidante y su impacto en la salud. *Interciencia*, 32(4),227-232. ISSN: 0378-1844. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=339/33932403>
- Sánchez, J., Acuña, A., & Hernández, J. (2019). Poscosecha en Colombia: Tendencias y expansión global. *Competencia e innovación*, 1(1), 7-18. Disponible en: <http://revistas.sena.edu.co/index.php/competitividad/issue/view/357>
- Silva Paz, R. J., Della rocca, P. A., Tisocco, O. D., & Mascheroni, R. H. (2014a). Efecto de la temperatura sobre la transferencia de agua durante la deshidratación osmótica de papa (*Solanum tuberosum L.*). *Proyecciones*, 12(2), 37–44. Disponible en: <https://www.frba.utn.edu.ar/wp-content/uploads/2016/05/octubre-pdf.pdf>
- Silva Paz, R., Roche, L., Della Rocca, P., Mascheroni, R. (2014b). Deshidratación e impregnación con L (+) ácido ascórbico de papas por tratamiento osmótico.
- Solano-Doblado, L. G., Alamilla-Beltrán, L., & Jiménez-Martínez, C. (2018). Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 21, 30. Disponible en: <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2018.0.153>
- Vargas y Vargas, M. de L., Figueroa Brito, H., Tamayo Cortez, J. A., Toledo López, V. M. & Moo Huchin, V. M. (2019). Aprovechamiento de cáscaras de frutas: análisis nutricional y compuestos bioactivos. *Ciencia ergo-sum*, 26(2). Disponible en: <https://doi.org/10.30878/ces.v26n2a6>
- Vázquez-Briones, M. C., & Guerrero-Beltrán, J. A. (2013). Recubrimiento de frutas con biopelículas. *TSIA*, 7(2), 5-14. [https://issuu.com/webudlap/docs/tsia\\_vol7\\_no2](https://issuu.com/webudlap/docs/tsia_vol7_no2)
- Vázquez Luna, A., Santiago, M., Rivadeneyra Domínguez, E., & Díaz Sobac, R. (2019). Películas comestibles a base de almidón nanoestructurado como material de barrera a la humedad. *CienciaUAT*, 13(2), 152-164. Disponible en: <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v13i2.1105>

- Zamora S, J. D. (2007). Antioxidantes: micronutrientes en lucha por la salud. Revista chilena de nutrición, 34(1), 17-26. <https://doi.org/10.4067/s0717-75182007000100002>
- Zapata, K., Rojano, B. A., & Cortes, F. B. (2015). Efecto Térmico del Secado por Aspersión sobre los Metabolitos Antioxidantes de la Curuba Larga (*Passiflora mollissima baley*). Información tecnológica, 26(1), 77–84. Disponible en: <https://doi.org/10.4067/s0718-07642015000100009>