

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



Evaluación de la conservación de aceite de oliva en un envase activo Polisuccinimida-microcelulosa, contra el deterioro oxidativo

POR:

MARIA GUADALUPE CASTAÑEDA CASTILLO

TESIS

Presentada como requisito parcial para poder obtener el título de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

Saltillo, Coahuila, México
Diciembre 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Evaluación de la conservación de aceite de oliva en un envase activo Polisuccinimida-microcelulosa, contra el deterioro oxidativo

POR

María Guadalupe Castañeda Castillo

TESIS

Que se somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para obtener el título profesional de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

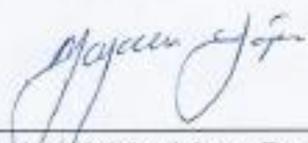
Aprobado por:



Dra. María Hernández González
Presidente



Dra. Ana Margarita Rodríguez Hernández
Vocal



MC. Haydee Yajaira López De la Peña
Vocal



MP. Francisco Hernández Centeno
Vocal Suplente



Dr. José Duñez Alarís
Coordinador de la División de Ciencia Animal

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"

COORDINACIÓN DE CIENCIA ANIMAL

Saltillo, Coahuila, México, Diciembre 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Evaluación de la conservación de aceite de oliva en un envase activo Polisuccinimida-microcelulosa, contra el deterioro oxidativo

POR

María Guadalupe Castañeda Castillo

TESIS

Que se somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para obtener el título profesional de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Fue dirigida por el siguiente comité

Dra. María Hernández González
Director

Dra. Ana Margarita Rodríguez Hernández
Co-director

MC. Haydee Yajaira López De la Peña
Co-director

MP. Francisco Hernández Centeno
Co-director

Saltillo, Coahuila, México, Diciembre 2021

Declaración de no plagio

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos.

Reproducción de fragmentos o textos sin citar las fuente o autor original, comprar, robar o pedir prestados los datos o tesis para presentarla como propia, omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas, utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo, utilizar material digital como imágenes, ilustraciones, gráficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante



María Guadalupe Castañeda Castillo

AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por permitirme llegar hasta este momento de poder concluir mi preparación profesional.

A mi familia por apoyarme siempre y confiar en mí.

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** por formarme profesionalmente.

A la **Dra. María Hernández González** por compartir conmigo sus conocimientos y por el apoyo brindado durante todo el proceso.

A **CIQA (Centro de Investigación en Química Aplicada)** por el acceso a sus instalaciones y autorizar el uso de sus equipos que permitieron desarrollar este proyecto de forma adecuada.

A la **Ing. Ana María Ángel Sánchez**, la **Ing. Ania Guadalupe Isidro Ruiz**, el **M.C. Francisco Centeno** por compartir sus conocimientos conmigo que fueron de gran ayuda para llevar a cabo este proyecto.

A mi hermano el **Q. José Guadalupe Castañeda Castillo** por el apoyo brindado y conocimientos compartidos.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a las personas más importantes en mi vida.

A mi hija **Sofía Guadalupe Mendoza Castañeda** quien alegra mis días desde su nacimiento.

A mi madre **María de Jesús Castañeda Castillo** quien día a día se esfuerza por darnos lo mejor a mí y mis hermanos, quien nos educó con su ejemplo y amor para ser las personas que somos hoy en día.

A mis hermanos **José Gpe. Castañeda Castillo** y **Carlos Alberto Soto Castañeda** por el apoyo incondicional de su parte.

A la persona con quien comparto mi vida **Angel Israel Mendoza Jiménez** por su amor y apoyo en los últimos años.

ÍNDICE GENERAL

Declaración de no plagio	4
AGRADECIMIENTOS	4
DEDICATORIA.....	6
ÍNDICE GENERAL	7
ÍNDICE TABLAS	10
ÍNDICE FIGURAS	11
ABREVIATURAS.....	12
RESUMEN	13
CAPÍTULO 1	15
1.1 INTRODUCCIÓN	15
1.2 JUSTIFICACIÓN	17
1.3 ANTECEDENTES	18
1.4 HIPÓTESIS	20
1.4.1 Hipótesis nula	20
1.5 OBJETIVOS	21
1.5.1 Objetivo general.....	21
1.5.2 Objetivos Específicos.....	21
CAPÍTULO 2	22
2.1 MARCO DE REFERENCIA	22
2.1.1 Envasado de alimentos.....	22
2.1.1.1 Envasado tradicional	23
2.1.1.2 Envases Inteligentes	23
2.1.1.3 Envases activos.....	24
2.1.2 Envases sintéticos y biodegradables	27
2.1.3 Materiales base.....	31
2.1.3.1 Microcelulosa.....	31
2.1.3.2 Polisuccinimida.....	32
2.1.4 Deterioro alimentario.....	33
2.1.4.1 Deterioro microbiano	34
2.1.4.2 Deterioro oxidativo.....	34

2.1.4.2.1 Deterioro oxidativo en lípidos	34
2.1.4.2.1.1.....Agentes para prevenir el deterioro oxidativo de lípidos	
36	
2.1.4.3 Procesos de oxidación enzimática- Mecanismo	37
2.1.4.3.1 Principales alimentos en la oxidación enzimática.....	38
2.1.4.3.2 Agentes comúnmente empleados para inhibir la oxidación	
enzimática	38
2.1.4.4 Metodologías para evaluación del deterioro en lípidos.....	40
2.1.4.4.1 Fenoles totales	40
2.1.4.4.2 Coeficientes de extinción K232 y K270	40
2.1.4.4.3 Análisis de espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier	
(FTIR).....	41
CAPÍTULO 3	41
3.1 MATERIALES Y MÉTODOS	41
3.1.1 LOCALIZACIÓN DEL EXPERIMENTO.....	41
3.1.2 METODOLOGÍA	41
3.1.2.1 ETAPA 1 ELABORACIÓN DE LOS ENVASES	41
3.1.2.1.1 Obtención de material base.....	41
3.1.2.1.2 Condiciones de extrusión	42
3.1.2.1.3 Moldeado.....	42
3.1.2.2 ETAPA 2 EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE EN	
LÍPIDOS	42
3.1.2.2.1 Coeficiente de extinción K 232 y K 270.....	43
3.1.2.2.2 Determinación de compuestos fenólicos por método FOLIN-	
CIOCALTEU.....	43
3.1.2.2.2.1 Extracción de fenoles.....	43
3.1.2.2.2.2 Método Folin- Ciocalteu	43
3.1.2.2.2.3 Espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR)	
.....	44
CAPÍTULO 4	45
4.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
4.1.1 ETAPA 1 ELABORACIÓN DE LOS ENVASES	45
4.1.1.1 Obtención de material base.....	45
4.1.1.1.1 PSI	45

4.1.1.1.2 Microcelulosa	46
4.1.1.1.3 AEO.....	46
4.1.1.2 Moldeado de envases.....	46
4.1.2 ETAPA 2 EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE EN LÍPIDOS.....	47
4.1.2.1 Coeficiente de extinción K 232 y K 270	47
4.1.2.2 Determinación de compuestos fenólicos por método FOLIN- CIOCALTEU	50
4.1.2.2.2 Método Folin- Ciocalteu	50
4.1.2.2.3 Espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR) .	52
CAPÍTULO 5	56
5.1 CONCLUSIONES	56
CAPÍTULO 6	57
6.1 ANEXOS	57
CAPÍTULO 7	58
7.1 BIBLIOGRAFÍA	58

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1 Polímeros biodegradables y no biodegradables: Ejemplos, usos y ventajas	29
Tabla 2 Composición del aceite esencial de orégano	42
Tabla 3 Formulaciones empleadas para elaboración del material	42
Tabla 4 Medias de los valores de coeficientes de extinción K232.....	57
Tabla 5 Medias de los valores de coeficientes de extinción K270.....	57
Tabla 6 Medias de los valores de contenido de fenoles.....	57

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1 Método sintético general de PSI mediante policondensación térmica de ácido aspártico	33
Figura 2 Reacciones del proceso de oxidación en lípidos.....	35
Figura 3 Pardeamiento enzimático.....	38
Figura 4 FTIR Materiales base	45
Figura 5 FTIR Probetas.....	47
Figura 6 Valores promedio de K232.....	48
Figura 7 Valores promedio de K270.....	49
Figura 8 Contenido de polifenoles.....	51
Figura 9 FTIR de aceite de oliva extra virgen.....	52
Figura 10 FTIR aceite contenido en probeta testigo.....	53
Figura 11 FTIR aceite contenido en M2	53
Figura 12 FTIR aceite contenido en M4	54
Figura 13 FTIR aceite contenido en M6	54
Figura 14 FTIR aceite contenido en probeta control (sin AEO).....	55

ABREVIATURAS

AEO: Aceite esencial de orégano	Amp: Amperes
BHA: Hidroxianisol butilado	H ₂ O ₂ : Peróxido de hidrógeno
BHT: Hidroxitolueno butilado	g: gramos
DHAA: Ácido deshidroascórbico	mg/L: miligramos por litro
EDTA: Ácido etilen-diamino-tetraacético	mL: miligramos
FCMs: Materiales en contacto con alimentos	mm: milímetro
MC: Microcelulosa	µg / mL: microgramos por mililitro
PBAT: Adipato-tereftalato de polibutileno	nm: nanómetros= 10 ⁻⁹ m
PCL: Policaprolactona	O ₂ : Oxígeno diatómico
PEBD: Polietileno de baja densidad	OH: Grupo hidroxilo
PET: Politereftalato	Rpm: revoluciones por minuto
PFO: Polifenoloxidasas	v/v: Volumen-volumen
pH: Potencial de hidrógeno	
PS: Poliestireno	
PSI: Polisuccinimida	
TBHQ: Hidroquinona terciaria-butílica	

RESUMEN

El envejecimiento oxidativo es responsable de la pérdida de gran cantidad de alimentos grasos. El deterioro de las grasas y aceites es un tema clave para la industria alimentaria porque no solo afecta los atributos como sabor y olor sino también el valor nutricional e inocuidad de los alimentos.

El proceso de oxidación lipídica comienza con pequeñas cantidades de oxígeno que son difíciles de evitar, pero pueden controlarse mediante la aplicación de agentes antioxidantes al envase.

Los avances en el área de envasado de alimentos han dado como resultado los empaques activos, una técnica aplicada al sistema original de envase donde el objetivo es diseñar materiales funcionales que incluyan en su estructura agentes activos que además sean naturales con el fin de reducir el empleo de aditivos sintéticos.

Estos empaques brindan protección frente a factores tanto internos como externos logrando inhibir la contaminación microbiológica y la oxidación de los alimentos alargando la vida útil y garantizando la calidad de los productos.

La tendencia para el desarrollo de este tipo de empaques es hacia la aplicación de polímeros de base biológica, ya que representan la mejor opción para obtener materiales seguros para el consumidor y que al mismo tiempo son amigables con el medio ambiente. Sin embargo, las aplicaciones industriales de estos materiales son limitadas por eso requiere de mayor investigación.

Para este estudio fue incorporado aceite esencial de orégano (AEO) a un compuesto polisuccinimida (PSI)- almidón- microcelulosa (MC) para la conservación de aceite de oliva extra virgen a fin de evaluar el deterioro oxidativo mediante la determinación de fenoles totales, coeficientes de extinción K232 y K270, y espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR).

Los valores de K232 fueron incrementando en función al tiempo, con valores promedio iniciales de 1.8933 y 1.8937 para todas las muestras analizadas y niveles máximos al día 28 M2, M4 y la muestra testigo, con valores de 6.1294, 5.4159 y 4.5811 respectivamente. En la probeta libre de AEO y la M6 destacaron con valores de 4.1951 y 4.1519 respectivamente, que resultaron estadísticamente inferiores que el resto de los tratamientos.

Para la evaluación del coeficiente K270 los valores iniciales oscilaron entre 0.1221 y 0.1229, los máximos valores fueron de igual manera alcanzados al día 28 en el aceite almacenado en la probeta identificado como M2 con 1.2314 seguido por la M4 con 1.1688 y la muestra testigo, y finalmente las muestras M6 y sin AEO con valores de 0.7498 y 0.5993.

Los valores promedio iniciales son de 0.0208 mg de polifenoles / g aceite, presentado variabilidad a lo largo de los días.

En los espectros FTIR se aprecia la presencia del compuesto activo, en la banda en la región $1400-1500\text{ cm}^{-1}$ correspondiente a los grupos fenilo del AEO en las probetas que lo contienen y ausente en la testigo y probeta control. Otra banda que destaca alrededor de los 3600 cm^{-1} característica de los estiramientos del grupo OH, que conforme aumenta el tiempo de almacenamiento se van haciendo más pronunciados en los espectros del aceite contenido en las diferentes probetas debido a la migración del compuesto activo que contiene grupos hidroxilo, como en la M4 que se observa desde el día 7 por ser la que contiene mayor porcentaje de AEO al igual que en M6 pero a una menor intensidad que crece y se mantiene constante al día 28. Y decrece en M2 y M4 al día 28 debido al consumo de los compuestos fenólicos frente a los radicales libres.

Palabras clave: polisuccinimida, microcelulosa, aceite esencial de orégano, antioxidante, envase activo.

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUCCIÓN

El envasado ha pasado de ser una barrera pasiva que sólo cumplía con las funciones básicas de proteger los alimentos, asegurar su transporte y almacenamiento a ser un medio que interactúa con el producto que conserva, convirtiéndolo en un empaque activo (Sharma *et al* 2020).

El uso de envasado activo implementa propiedades antioxidantes y antimicrobianas ya que durante el almacenamiento existe una gran variedad de alimentos que son muy susceptibles a los microorganismos y oxidación lipídica lo que conlleva elevadas pérdidas en el mercado (Sharma *et al* 2020). Mucha investigación está centrada en el deterioro microbiano de los alimentos sin embargo el envejecimiento por procesos de oxidación también es un factor para tomar en cuenta, ya que el deterioro de las grasas y aceites es un tema clave para la industria alimentaria porque no solo afecta los atributos sensoriales (por ejemplo, sabor y olor) sino también valor nutricional e inocuidad de los alimentos a través de la producción de productos nocivos (Logan y Fagan, 2013).

En algunas frutas y vegetales el envejecimiento oxidativo se aprecia por el oscurecimiento enzimático que ocurre cuando el tejido es lastimado, cortado, pelado o expuesto a condiciones anormales. El tejido dañado rápidamente se oscurece debido a la conversión de los compuestos fenólicos a melaninas color café. En el caso del aguacate tiende a sufrir reacciones de oscurecimiento al ser expuesto al aire (Rueda-Lugo, González-Tenorio y Totosaus, 2006).

Otro producto propenso a la oxidación son los aceites vegetales que con el paso del tiempo experimentan un continuo deterioro, lo cual incrementa al ser sometido a procesos de calentamiento (Paz—Antolín y Molero-Meneses, 2000). Aunque estos procesos requieren varios factores, la presencia de oxígeno en el aire es una de las principales causas de su deterioro (Cordes-Cortés y Guerra-Jeraldo, 2009).

Por lo antes mencionado es indispensable evaluar la manera en que estos procesos ocurren ya que sólo con el conocimiento detallado del fenómeno degradativo se podrá evaluar si los procedimientos empleados para retardarlos han sido eficientes. El estudio termo-oxidativo de los aceites se lleva a cabo generalmente sometiendo a los mismos a oxidación acelerada, mediante calentamiento o burbujeo con oxígeno (Paz-Antolín y Molero-Meneses, 2000).

La estabilidad térmica es definida como la capacidad que presenta un compuesto de permanecer inalterado frente al calentamiento, es uno de los principales parámetros de calidad, debido a que determina las características de

almacenamiento, transformación, aplicación y comercialización para su uso en la industria (Elodio-Policarpo *et al.* 2019).

Para lograr la preservación de los alimentos adicionalmente se debe poner especial atención en el uso de material con el cual serán elaborados los empaques activos, ya que este debe ser adecuado (es decir, recubrimientos biodegradables y películas) con características térmicas, mecánicas y de barrera mejoradas para evitar pérdidas por el deterioro de los productos alimenticios conservados en ellas. Por citar un ejemplo, en el aceite de oliva extra virgen, que por su denominación es obtenido únicamente por procedimientos mecánicos sin la adición de agentes químicos para su conservación, fue estudiado en la reciente publicación de Esposto *et al* 2021 donde fue posible evidenciar que al comparar la vida media de estos aceites envasados en vidrio y empaques multicapa conformados por papel aluminio, cartón y plástico se pudo demostrar que el envasado y la composición antioxidante inicial influyen significativamente en la resistencia a la oxidación de los aceites contenidos, presentando las mejores propiedades conservadoras con el uso del material multicapa.

Para la elaboración de los envases la tendencia es al uso de recursos de polímeros de base biológica, debido a los problemas de contaminación ambiental causados por los envases a base de polímeros sintéticos (Zhang *et al* 2021), ya que son una opción viable de uso al poder generarse bioplásticos biodegradables que resultará en materiales económicos, renovables, disponibles en abundancia, seguros para el consumidor y amigables con el medio ambiente.

Estos materiales son capaces de sintetizar recubrimientos y películas con buenas propiedades de barrera, eficientes contra patógenos y adecuados para el transporte de gases. Además, se puede incorporar a ellos refuerzos también de base biológica, por ejemplo, aceites esenciales vegetales y aditivos naturales para las películas bioplásticas que mejoran la barrera al oxígeno, las propiedades antibacterianas y antimicrobianas (Asgher *et al* 2020).

El desarrollo de películas para envases de alimentos comestibles es inminente. Sin embargo, el rendimiento de la mayoría de las películas comestibles de envasado es insuficiente para cumplir con las aplicaciones prácticas (Zhang *et al* 2021). Por esta razón la investigación en el ámbito de producción de empaques activos biodegradables ha cobrado importancia, la propuesta es el desarrollo de un empaque activo basado en polímero de categoría 2, que son aquellos producidos por síntesis química clásica utilizando monómeros de base biológica renovables (Weber,2000), con adición de aceite esencial de orégano para probar su actividad antioxidante.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Uno de los desafíos de la industria alimentaria es la preservación de la seguridad y calidad de los alimentos a lo largo de toda la cadena de suministro. Una estrategia es el uso de envases activos, que es una tecnología donde el envase actúa de manera positiva con el producto preservándolo por un tiempo mayor al que proporciona un envase convencional. Esto gracias a que protege los alimentos de la contaminación o degradación creando una barrera a las condiciones externas, mientras interactúan con el ambiente interno para controlar la atmósfera dentro del empaque, absorbe productos químicos de los alimentos o libera sustancias, tales como conservantes, antioxidantes y aromas.

El envasado activo presenta dos mecanismos de actuación:

1. Adición del elemento activo dentro del envase junto al producto (almohadillas o etiquetas).
2. Incorporación del elemento activo en la formulación del material del envase en forma de aditivo.

La innovación en la elaboración de empaques aún está en auge y con gran potencial de desarrollo con la aplicación de tecnologías a partir de polímeros, ya que el empleo de él para empaquetado de alimentos es la opción que satisface mejor algunos factores de control, como lo son las barreras al medio ambiente.

Sin embargo, los polímeros utilizados principalmente en este campo provienen de fuentes no renovables y, por lo tanto, están asociados con problemas de contaminación. Por ello, se han considerado los polímeros naturales, que constituyen una alternativa real para disminuir el uso de materiales no degradables y no renovables en la industria del empaquetado (Contreras-Camacho, 2018).

Además de cumplir el compromiso con el medio ambiente de reducir la contaminación, también se desea satisfacer a los consumidores y cuidar de su salud al aplicar conservadores naturales a los alimentos. Para ello el uso de aceites esenciales como conservantes naturales cobra especial importancia en la industria alimenticia, ya que estos compuestos son reconocidos como seguros (GRAS) para ser usados en forma intencionada en alimentos.

Los aceites esenciales de orégano constituyen una alternativa como potenciales agentes antioxidantes y antimicrobianos prolongando la vida útil de los alimentos, especialmente aquellos ricos en grasas insaturadas.

En relación con el orégano, en el Laboratorio de Química Biológica de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba han realizados estudios que han demostrado que los aceites esenciales del orégano son

antioxidantes muy efectivos que previenen el deterioro oxidativo de lípidos de algunos alimentos con alto contenido graso (Asensio, 2013).

El uso de recubrimientos de origen natural y la fumigación con vapores de aceites esenciales de orégano en aguacate ha mostrado mantener la calidad del fruto por mayor tiempo de almacenamiento (Rodríguez-Rivera, 2017). Además de que ha presentado buena aptitud para impedir el deterioro oxidativo en aceite de oliva al saborizarlo con el aceite esencial (Asensio, 2013).

Estas características son muy importantes para la industria alimentaria ya que pueden favorecer la inocuidad y estabilidad de los alimentos como también protegerlos contra alteraciones lipídicas. Sin embargo, sus aplicaciones industriales son limitadas por lo que se requiere de mayor investigación (Arcila-Lozano *et al*, 2004).

1.3 ANTECEDENTES

El comienzo de la modernidad del embalaje podría ubicarse en el periodo de 1880 a 1900, los materiales más utilizados fueron cajas de cartón plegables, estaño y vidrio, cuya mecanización permitió producir una gran cantidad de envases.

Posteriormente, se dio una escasez de materiales durante la Segunda Guerra Mundial (1939-1945) que llevó a fabricar productos relacionados con la guerra que se enviaban a los soldados en la batalla por lo que los paquetes estaban entonces hechos en gran parte de acero (contenedores de envío), hojalata (latas), vidrio (botellas), papel (contenedores), papel kraft (bolsas), tela (bolsas) o madera (cajas). En ese tiempo, la gente prefirió pagar unos centavos más por recipientes que mantenían una alta calidad de los productos y que además eran reutilizables, como las botellas de vidrio.

Durante la década de 1950 ocurrió un auge del marketing y la comunicación a través del embalaje; sin embargo, también comenzó la era llamada "obsolescencia programada", donde los ciclos de vida de los productos eran cada vez más cortos lo que generaba gran cantidad de desechos.

Las décadas de 1960 y 1970 se han considerado la edad de oro de los avances tecnológicos y viajes espaciales. Se lograron avances en la producción de nuevos materiales como plásticos impermeables al vapor y al agua, aluminio y adhesivos todo para satisfacer las necesidades que la industria requería de los envases.

Los primeros plásticos fueron descubiertos en el siglo XIX, pero poseían una alta combustibilidad y corta vida útil por esta razón no se habían utilizado para embalaje hasta después de 1960-1970, donde se convirtió en el material principal para todo

tipo de embalaje porque era fácilmente maleable, duradero, higiénico, flexible y económico (Escursell, Llorach y Roncero,2020).

Actualmente, la producción global de plásticos es de aproximadamente 320 millones de toneladas / año con una demanda creciente. Sin embargo, el uso de plásticos de origen fósil es limitado debido a su naturaleza no reciclable o no biodegradable (Asgher *et al* 2020).

Esto lleva a que en la última década el sector del embalaje acelere la investigación en materiales ecológicos y sostenibles (Sharma *et al* 2020) que tengan propiedades similares a la de los plásticos a base de petróleo pero que sean obtenidos de fuentes renovables.

Algunos materiales emergentes como sustitutos de los plásticos son las proteínas, polisacáridos, lípidos y resinas. Las proteínas de trigo, soja, leche y maíz se utilizan para mejorar la óptica y propiedades mecánicas, mientras que los polisacáridos como derivados de celulosa, almidón, quitina, pectina y el alginato están destinados a mejorar las propiedades mecánicas y de barrera a los gases (Escursell, Llorach y Roncero,2020).

Las películas resultantes de celulosa y hemicelulosas tienen buena tenacidad, resistencia a la tracción, alto brillo superficial y buena transparencia.

El almidón es el polisacárido vegetal más común para el desarrollo de películas bioplásticas debido a su rentabilidad, abundancia y propiedades significativas de formación de películas solos o en forma combinada con otros polímeros naturales como recubrimientos biodegradables o películas de empaque para extender la vida útil del producto (Asgher *et al* 2020).

En el caso de los lípidos, materiales como el glicerol, la cera y las resinas añadidas a los materiales compuestos actúan como películas protectoras de la humedad (Escursell, Llorach y Roncero,2020).

Los recursos de base biológica se pueden utilizar para el desarrollo de bioplásticos biodegradables, pero sólo un número limitado se aplica para el envasado de alimentos ya que es necesario considerar el cambio en las características de los bioplásticos durante el período de interacción con el alimento (Asgher *et al* 2020).

Los biopolímeros tienen propiedades de barrera, térmicas y mecánicas deficientes en comparación con sus contrapartes sintéticas (Ahankari *et al* 2020). Por esto, los esfuerzos se centran en el desarrollo de la mezcla correcta de materiales, debido a que un requisito esencial para un buen material de envasado de alimentos es tener una mecánica sólida, y la eficiencia depende de los polímeros y demás materiales utilizados como aditivos para mejorar las propiedades funcionales.

Las películas bioplásticas mejoran la barrera al oxígeno, las propiedades antibacterianas y antifúngicas mediante la utilización simultánea de diferentes

polímeros sintéticos y de base biológica en forma de compósitos para inducir la funcionalidad deseada, además del encapsulado de compuestos bioactivos dentro del biopolímero que amplíen la vida útil de los alimentos, lo que convierte al envase como portador de antioxidantes, antimicrobianos y compuestos antifúngicos.

La adición de los compuestos activos en el material de envasado mejora la estabilidad de los alimentos, debido a que cuando los ingredientes activos son aplicados directamente al alimento estos son degradados químicamente por el mismo producto, llevando a que la protección se detenga y su degradación ocurra a un ritmo mayor (Asgher *et al* 2020).

Una solución a este problema es el desarrollo del envasado activo, ya que con la aplicación de aditivos naturales se reduce el movimiento de partículas de los materiales de embalaje a los alimentos (Sharma *et al* 2020). Un ejemplo es el uso de aceites esenciales de plantas, que actúan como antioxidantes y antifúngicos. Además, se ha informado ampliamente que los aceites son refuerzos adecuados en recubrimientos y películas de base biológica y biodegradables. Se predice que ayudarán en la reducción de las propiedades de absorción acuosa, debido a sus propiedades lipídicas. Además, ayudan en la mejora de las propiedades mecánicas de películas poliméricas, como son la estructura óptica, la resistencia a la tracción, por mencionar algunas (Asgher *et al* 2020).

La aplicación de aceites esenciales en envases activos se puede utilizar en forma de películas y recubrimientos. Las películas suelen ser láminas delgadas que se hacen de antemano y se pueden utilizar como cubiertas, envoltorios, separación de capas o envasado para diversos alimentos. Por otro lado, los recubrimientos son definidos como películas que se pueden aplicar sobre la superficie de un producto comestible (Sharma *et al* 2020).

1.4 HIPÓTESIS

El compósito PSI-almidón-MC-AEO es un agente con propiedades antioxidantes, capaz de prolongar la vida de anaquel de productos ricos en lípidos.

1.4.1 Hipótesis nula

El compósito PSI-almidón-MC-AEO es un agente con propiedades antioxidantes limitadas.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo general

Evaluar la vida de anaquel de aceite contenido en un compósito PSI-MC en comparación con envases comerciales, en función a su deterioro oxidativo

1.5.2 Objetivos Específicos

- Elaborar contenedores a base del compósito PSI-MC
- Envasar aceite de oliva extra virgen con exposición al oxígeno ambiental
- Monitorear las variables de respuesta concernientes a la actividad oxidativa del aceite envasado en el compósito PSI-MC y materiales de empaque convencionales
- Evaluar y establecer relación deterioro-vida de anaquel.

CAPÍTULO 2

2.1 MARCO DE REFERENCIA

2.1.1 Envasado de alimentos

El envasado de alimentos es un área multidisciplinaria que abarca la ciencia, ingeniería de alimentos, microbiología y la química (Topuz y Uyar 2019) cuyo propósito es proteger el producto de daños físicos, químicos, o biológicos. Cuando los envases no cumplen con ello, el resultado puede ser un producto inseguro, especialmente cuando se produce una contaminación por microorganismos, provocando pérdida en la integridad del producto (Nettles, 2002) y por lo tanto ocasionando daños graves a la salud de los consumidores además de pérdidas económicas (Rodríguez-Sauceda *et al.* 2014).

Este envase desempeña un papel importante en la conservación de alimentos a lo largo de toda la cadena de distribución (Rydz *et al* 2018) ya que facilita el almacenamiento, la manipulación y el transporte (Geueke, Groh & Muncke 2018) logrando proteger el alimento contra daños mecánicos y contaminación durante su comercialización y mantener la vida útil de los alimentos perecederos.

El mercado de envasado de alimentos se ve impulsado por el aumento en el consumo de alimentos preparados, las nuevas exigencias del consumidor y las necesidades de comercialización que se generan, esto hace que el envasado de alimentos tenga que diversificarse y que hoy en día tenga que tomar en cuenta aspectos como el atractivo visual, conveniencia, características especiales: como apertura fácil, portabilidad, embalaje de un solo uso (Rydz *et al* 2018), que incorpore elementos sensoriales e incluso propiedades de barrera deseadas contra el oxígeno y el vapor de agua (Topuz y Uyar 2019).

Existen varias clasificaciones de envases según la función que realice:

- I. Pasivos o tradicionales
 - Barrera inerte
- II. Funcional
 - Inteligentes (información y registro)
 - Activos (neutraliza deterioro)
 - Atmósfera modificada
 - Películas y recubrimientos comestibles (Rodríguez-Sauceda *et al.* 2014)

2.1.1.1 Envasado tradicional

El envasado tradicional lo único que pretendía era evitar contaminaciones cruzadas con otros alimentos; protegerlos de agentes ambientales dañinos como el agua, el aire o la luz además de facilitar su transporte y almacenamiento.

Desde hace miles de años los alimentos han sido envasados de diversas maneras. Los primeros envases se caracterizaban por ser rígidos y se fabricaban utilizando materiales como el acero, vidrio, madera (barriles, frascos, latas, etc.), ya con el paso del tiempo se introdujeron los plásticos y materiales flexibles (Gimferrer, 2009).

El envasado de alimentos se mantiene en evolución constante debido a que los consumidores exigen cada vez más debido a los cambios en la forma de vida, sin dejar de lado aspectos esenciales como caducidad, conservación de sus propiedades, frescura y apariencia (Rodríguez-Sauceda *et al.* 2014). Esto obliga a la industria del envasado a mantenerse día a día trabajando para que los envases se encuentren en transformación constante, y que además de cumplir sus funciones básicas, logren generar un impacto visual que los diferencie de productos similares para lograr la preferencia de los consumidores a quienes va dirigido el producto (Cruz, 2006). Por lo tanto, se incorporan materiales o sistemas activos de control de parámetros tales como humedad, contenidos de gases o sustancias bacteriostáticas que impiden el crecimiento de microorganismos (Gimferrer, 2009). Esto hace que el envase común se convierta en un medio de sofisticadas interacciones con su contenido, proporcionando información de interés tanto para los consumidores finales como para los intermediarios de la cadena de valor, así es como nace el concepto de envase activo o inteligente (Rodríguez-Sauceda *et al.* 2014).

2.1.1.2 Envases Inteligentes

Con la intención de mejorar la calidad y valor de los alimentos, el sector de alimentos presta atención al concepto de envasado inteligente, y para ello busca incorporar funciones que proporcionen información sobre la calidad, seguridad e historial de un producto durante el transporte y almacenamiento; y con ello se tomen decisiones que aumenten vida útil, se logren evitar daños y el deterioro de los alimentos.

Para conseguir esto se utilizan dispositivos inteligentes con soportes de datos como códigos de barras y radiofrecuencia, etiquetas de identificación y sensores (Kalpana *et al.* 2019) que son capaces de monitorizar los mecanismos de alteración del alimento debidos a procesos fisiológicos (p. ej., respiración de frutas), químicos (p. ej., oxidación de lípidos) y biológicos (bacterias, mohos, levaduras y parásitos) Y que a su vez, están relacionados con: cambios de pH, actividad del agua, concentración de gases y temperatura (Bravo, 2006).

La información que proporciona un envase inteligente se puede dividir en dos tipos: activa y pasiva.

Pasiva: es aquella información incorporada de forma escrita o a través de símbolos en el envase, es la base informativa mínima que el envase deberá entregar al consumidor y que es sabida al momento de que el contenido es envasado: fecha de vencimiento, contenido nutricional, máximo apilamiento, peligro y precauciones, etc.

Activa: es la que se incorpora o “registra” en el envase en etapas posteriores al envasado, al ir recorriendo las distintas etapas de la distribución, transporte, acopio y/o manipulación (Rodríguez-Sauceda *et al.* 2014).

Con ello el envasado inteligente se puede definir como un sistema que involucra 5 funciones: monitoreo, detección, grabación, seguimiento y comunicación. (Kalpana *et al* 2019) y que debe caracterizarse por ser confiable, sensible, fácil de interpretar además de ser rentable (Yucel, 2016).

Este tipo de productos son consecuencia del desarrollo de nuevas tecnologías aplicadas a los envases ya existentes en busca de satisfacer las necesidades del consumidor actual que se preocupa cada día más por la seguridad y trazabilidad de los productos que consume (Rodríguez-Sauceda *et al.* 2014). Y no sólo es beneficioso para él, también lo es para la industria ya que proporciona a los productos un valor añadido, mejora la gestión de la cadena de producción o consigue un sistema eficaz anti-fraude/anti-piratería (Bravo, 2006).

Estos envases despiertan un gran interés en la industria alimentaria, y la prueba de ello radica en que se está produciendo actualmente un gran esfuerzo en el desarrollo e investigación de este tipo de envases. Los envases inteligentes se pueden considerar como un caso específico dentro de los envases activos, y son motivo de una amplia discusión a nivel mundial (Hernández, 2006).

Es importante destacar la diferencia que existe entre envase activo y envase inteligente, mientras que el envase inteligente es capaz de registrar y suministrar información relativa al estado del envase y/o producto, el envase activo interacciona con el producto o con su entorno para mejorar uno o más aspectos de su calidad o seguridad (Bravo, 2006).

Los envases activos e inteligentes pueden ser vistos como la próxima generación en el envasado de alimentos (Hernández, 2006).

2.1.1.3 Envases activos

El empaque activo es una nueva técnica resultado de los avances de la ciencia e ingeniería de materiales. Se refiere a la tecnología aplicada al sistema original del envasado donde se agregan agentes activos que brindan protección frente a

factores tanto internos como externos, por ejemplo, inhibir la contaminación y oxidación de los alimentos con el fin de alargar la vida útil, así como garantizar la calidad e inocuidad (Ju *et al* 2019).

Este es un envase que además de cumplir funciones básicas desarrolla alguna otra función dependiendo del componente funcional que le haya sido integrado en la matriz, el material de embalaje puede ofrecer actividad antioxidante, antimicrobiana y antifúngica. Esto debido a que en su sistema incluyen absorbedores, eliminadores o reguladores de compuestos que afectan la vida comercial de un producto alimenticio, tales como el oxígeno, etileno, humedad o aquellos que ocasionan olores o sabores desagradables. Otros sistemas liberan sustancias químicas como conservadores, antioxidantes, colorantes, aromas, etc (Paseiro *et al.* 2011).

Estas sustancias que son responsables de la función activa pueden estar incorporadas directamente en el material de envase, por lo tanto, un objetivo importante en el desarrollo de este tipo de productos es el diseño de materiales funcionales que incluyan el agente activo en su estructura y que esta sustancia activa pueda actuar o ser liberada de una manera controlada (Barbosa, 2013).

Un ejemplo de la aplicación de sustancias al envase activo es el uso de antioxidantes para la protección del alimento y del material empleado en el envase, como por ejemplo los polímeros que presentan degradación oxidativa. Para ello se ha pensado en el uso de antioxidantes naturales (Castro-López, 2013) que han sido material de estudio recientemente, ya que generan interés por su uso, esto debido a que con ello se lograría reducir el empleo de aditivos sintéticos que causan temor en el consumidor por una posible toxicidad alimentaria. Algunos antioxidantes de origen natural son la vitamina E, o extractos naturales ricos en compuestos fenólicos y/ o terpénicos (Barbosa, 2013).

Un antioxidante es una sustancia que en concentración normal posee una mayor afinidad que cualquier otra molécula para interaccionar con un radical libre de oxígeno. Este le cede un electrón que se oxida a su vez y se transforma en un radical libre de oxígeno débil no tóxico (vitamina E). No todos interaccionan de esta forma, por ejemplo, además de sustancias se pueden emplear enzimas que catalizan o aceleran reacciones químicas reaccionando con los radicales libres.

Existe una primera línea de defensa antioxidante constituida por enzimas y scavengers o eliminadores de radicales.

Enzimas:

- La citocromo oxidasa está encargada de evitar la reducción univalente del oxígeno.
- La superóxido dismutasa está especializada en captar el radical anión superóxido y convertirlo en peróxido de hidrógeno.
- Catalasa y peroxidasa, glutatión peroxidasa y glutatión reductasa neutralizan al peróxido de hidrógeno (H₂O₂) y lo convierten en agua.

Scavengers o eliminadores

- La vitamina E o tocoferol neutraliza al radical OH por su ubicación en las membranas donde su protección es particularmente importante.
- La vitamina C, por su carácter reductor, reacciona rápidamente en el O₂ y con el OH, también es captor del oxígeno y del ion hipoclorito.
- El glutatión, además de captar el H₂O₂ como sustrato del glutatión peroxidasa, también capta al O₂ y al OH.
- La transferrina y la ceruloplasmina son transportadoras de metales de transición, hierro y cobre respectivamente, que son generadores de radicales libres de oxígeno (Pérez-Gastell y Pérez-de-Alejo, 2000).

Así como hay enzimas que evitan o retardan las reacciones de oxidación también existen aquellas que las catalizan, como lo es la PFO que produce cambios importantes tanto en apariencia (colores oscuros) como en las propiedades organolépticas (sabor, textura) que reducen el valor comercial de los productos, o incluso los hacen inaceptables para el consumidor (Sellés- Marchart, 2007).

Retardar estos procesos de oxidación es importante, no solamente para el productor del alimento, sino también para todas las personas implicadas en la cadena de producción industrial y para el consumidor final. Ya que, durante el procesado y almacenamiento, tanto refrigerado como congelado, a largo plazo, ocurren reacciones de oxidación que resultan en una disminución del valor nutritivo de los alimentos y su calidad sensorial (Barbosa, 2013).

Algunos tipos de envases activos permiten la liberación controlada de sustancias bioactivas (antimicrobianos o antioxidantes que se han añadido previamente al empaque), evitando así la adición directa de los agentes activos al producto alimenticio. Por ejemplo, las películas incorporadas con antioxidantes pueden ser utilizadas para prevenir la oxidación de grasas y aceites que conducen a la rancidez (Fernández- León *et al* 2018).

La tarea de hoy en día es buscar nuevas fuentes de antioxidantes que puedan aplicarse en la industria alimentaria, una buena opción es el orégano, al contar con compuestos que poseen la capacidad de proteger a las células del daño oxidativo llegando incluso a tener una actividad antioxidante mayor a la de la vitamina E (Patiño-Rincón, Moreno-Cristancho y Chaparro-González, 2012).

Por ello, el aceite esencial de orégano ha sido utilizado en películas que protejan alimentos, ya que se ha reportado que el uso de ceras de origen natural y de aceites esenciales puede contribuir en gran medida en el mantenimiento de calidad además de alargar la vida de anaquel en diversos frutos. Un ejemplo de ello fue realizado por Rodríguez-Rivera

en el 2017, quien combinó un recubrimiento orgánico con aceite esencial de orégano para aguacate (*Persea americana mill. "hass"*) orgánico que fue

almacenado a 6°C durante 21 días con 95% de humedad relativa, encontrando que los niveles de actividad antioxidante no presentaron pérdidas nominales a lo largo de la maduración en esas condiciones. La actividad más alta del tratamiento con orégano (3 mL/L) fue a los 7 y 11 días, y la caída en su valor fue después del día 21 (orégano 5 mL/L). Además, no se observaron cambios a lo largo del periodo de almacenamiento en el color de la pulpa.

Otro recubrimiento, en este caso comestible, fue aplicado a lechuga mínimamente procesada y almacenada en refrigeración por Patiño-Rincón, Moreno-Cristancho y Chaparro-González en el 2010, donde el aceite esencial de orégano al 1% fue combinado con agua destilada 88%, gelatina 5% y pectina 6%; dando como resultado una percepción muy baja de la especia en el producto. En cuanto al color y apariencia representó la actividad antioxidante del aceite hasta el final del experimento, lo cual fueron 20 días.

Por otro lado, en el 2018 se realizó un bioempaque a base de fibra de cítricos y extracto de orégano con capacidad antioxidante y antimicrobiana aplicado a carpa común (*Cyprinus carpio*). En este experimento Valdez-Valdez pudo observar que se disminuyen los niveles de oxidación lipídica, y que la actividad antioxidante reflejada por el ensayo de captación de radicales ABTS•+ fue similar en agua y en el extracto etanólico, no existiendo diferencias, a pesar de que el contenido fenólico total en ambos extractos fue diferente. De las muestras evaluadas, el extracto etanólico de orégano exhibió un mayor efecto de inhibición con el 98.70% a una concentración de 243.57 µg/mL. En cambio, el extracto acuoso fue menor con un 98.21% de inhibición a una concentración de 242.3 µg/mL. Considerando que el antioxidante sintético de referencia utilizado Trolox, presentó un valor del 98.93% de efecto de inhibición contra el radical ABTS•+ a una concentración de 250.29 µg / mL, se puede suponer que el orégano fue tan eficaz como él.

Estos estudios comprueban la factibilidad de aplicar sustancias al envase convirtiéndolo en activo y así poder garantizar la seguridad y calidad de los alimentos

Sin embargo, esta tecnología debe estar en equilibrio con los demás aspectos distintos a sólo la protección de alimento, como lo son costos de energía y de materiales utilizados en su elaboración, así como de la eliminación de residuos y regular la contaminación (Rydz *et al* 2018).

2.1.2 Envases sintéticos y biodegradables

La contaminación provocada por el envasado sintético de alimentos, debido a envases plásticos derivados del petróleo hace que la industria se preocupe por la

generación de materiales de origen natural (Medina-Jaramillo, Ochoa-Yepes, Bernal y Famá, 2017).

De esa idea nacen los bioplásticos, una alternativa a los plásticos convencionales derivados de combustibles fósiles y que se utilizan cada vez más en materiales en contacto con alimentos (FCMs). Por ejemplo, la compañía Coca Cola ha lanzado recientemente su botella Plant, que está fabricada en parte con plásticos de base biológica, y Danone está utilizando poliláctida para sus vasos de yogur.

Existen dos tipos diferentes de bioplásticos: biopolímeros y plásticos biodegradables.

Los biopolímeros son fabricados a partir de recursos biológicos como las plantas (almidón, celulosa), o bien ser producidos por microorganismos mediante procesos fermentativos (por ejemplo, polihidroxialcanoatos) Algunos ejemplos se describen en la Tabla 1. El material utilizado puede ser tanto de materia prima de primera generación (por ejemplo, maíz, caña de azúcar) o de cultivos no alimentarios (materia prima de segunda generación, por ejemplo, material lignocelulósico). Y tienen como característica que no son necesariamente biodegradables.

En cambio, los plásticos biodegradables pueden estar hechos de recursos tanto naturales como fósiles, pero su material sufre una degradación por acción de microorganismos hasta llegar a convertirse en dióxido de carbono, agua, metano y biomasa en un tiempo razonable (Wagner, 2014).

Esto ocurre en 2 pasos: depolimerización (división de la cadena) y mineralización hacia dióxido de carbono, sales, agua, etc.

Pero para que esto ocurra se debe contar con los elementos claves para ello: el microorganismo adecuado, condiciones ambientales favorables y que el sustrato de polímeros esté vulnerable a la degradación (Pardo, Menéndez y Giraudó, 2011).

El sector del embalaje biodegradable es pequeño pero el compromiso con el medio ambiente va en crecimiento, esto hace que el mercado se interese por la introducción cada vez mayor de productos biodegradables (Rydz *et al* 2018).

Aunque estos plásticos biodegradables puros no dan tan buenos resultados como los materiales convencionales se ha buscado mejorar sus propiedades (Wagner, 2014) añadiendo productos químicos que lleguen a cumplir las exigencias de los consumidores. Para ello se han realizado investigaciones en la incorporación de agentes antioxidantes y antimicrobianos en matrices de polímeros (Medina-Jaramillo, Ochoa-Yepes, Bernal y Famá, 2017).

Los polímeros son macromoléculas formadas por unidades estructurales repetitivas unidas por enlaces covalentes. Según su origen se clasifican en naturales y sintéticos, los polímeros naturales son resultado de la evolución del ADN, lignina o

tejidos animales o vegetales, mientras que los sintéticos han sido manufacturados por el ser humano.

Existen polímeros derivados de monómeros naturales que por su biodegradabilidad ofrecen grandes oportunidades de aplicación. Ejemplo de ellos son materiales derivados de la celulosa (por ejemplo, el celofán); polímeros derivados de microorganismos (por ejemplo, polihidroxibutirato); polímeros sintéticos biodegradables (por ejemplo, el polímero de ácido láctico producido por fermentación de este) y combinación de almidones con polímeros sintéticos biodegradables (por ejemplo, alcohol polivinílico) (Pardo, Menéndez y Girauo, 2011).

Tabla 1 Polímeros biodegradables y no biodegradables: Ejemplos, usos y ventajas

Polímeros a base de almidón	<ul style="list-style-type: none"> • Polisacárido biodegradable • Alternativa al poliestireno (PS) • Se utiliza en el envasado de alimentos, vajillas y cubiertos desechables, cápsulas de la máquina de café, botellas
Polímeros a base de celulosa	<ul style="list-style-type: none"> • Polisacárido biodegradable • Barrera vapor de agua baja, malas propiedades mecánicas, mala procesabilidad, fragilidad (polímero de celulosa pura) • Recubrimientos de películas de celulosa compostable • Se utiliza en el envasado de pan, frutas, carne, productos secos, etc.
Polilactida	<ul style="list-style-type: none"> • Biodegradable, poliéster termoplástico • Posible alternativa de polietileno de baja (PEBD) y alta densidad, PS, y politereftalato (PET) • Transparente, contenedores rígidos, bolsas, tarros, películas
Polihidroxialcanoatos	<ul style="list-style-type: none"> • Poliéster biodegradable • Familia de muchos polímeros químicamente diferentes • Fragilidad, rigidez, inestabilidad térmica
Biopolipropileno y biopolietileno	<ul style="list-style-type: none"> • Polímero de vinilo no biodegradable • Principalmente basado en la caña de azúcar • Propiedades físico-químicas idénticas
Parcialmente biobasado	<ul style="list-style-type: none"> • Alternativa al PET convencional

	<ul style="list-style-type: none"> • Hasta un 30% de materias primas de base biológica • Utilizado en botellas
Furanoato de Polietileno de base biológica	<ul style="list-style-type: none"> • Poliéster aromático no biodegradable • Mejor función de barrera que PET • Hasta el 100% de materias primas de base biológica • Puede utilizarse en el futuro en botellas, fibras, películas
Poliésteres alifáticos	<ul style="list-style-type: none"> • Polímeros biodegradables • incluye, por ejemplo, succinato de polibutileno, succinato de polietileno, y adipato de polietileno <p>Se utiliza en los cubiertos desechables</p>
Poliésteres alifáticos – aromáticos	<ul style="list-style-type: none"> • Polímeros biodegradables • incluyen, por ejemplo, adipato-tereftalato de polibutileno (PBAT), tereftalato-succinato de polibutileno. • Se utiliza como envases desechables de comida rápida, PBAT para películas de plástico
Policaprolactona (PCL)	<ul style="list-style-type: none"> • Poliéster biodegradable • Temperatura de fusión baja, fácilmente biodegradable • Se utiliza en aplicaciones médicas, como mezclas de PCL en FCMs
Alcohol polivinílico	<ul style="list-style-type: none"> • Polímero de vinilo biodegradable • Se utiliza para revestimientos, adhesivos, y como aditivo en la producción de papel y cartón
Poliamidas	<ul style="list-style-type: none"> • Polímero no biodegradable • Utilizado en polímeros de alto rendimiento, generalmente no en FCMs
Otros	<ul style="list-style-type: none"> • Bioplásticos de origen animal (chitosan) y proteínico (proteína aislada de soja, gluten y zeína)

Fuente: Wagner, 2014

El presente trabajo se basa en un material obtenido directamente de la naturaleza como es la MC, que tiene que ser tratada mediante procesos químicos para su aplicación; así como de la PSI que es un producto obtenido a partir de la polimerización del ácido aspártico. Ambos compuestos materiales base son descritos a continuación.

2.1.3 Materiales base

2.1.3.1 Microcelulosa

La celulosa es el compuesto orgánico más abundante en la naturaleza, formando parte de la biomasa lignocelulósica presente en hojas, raíces, tallos y otras partes de las plantas. Además de ser considerado importante a nivel biológico también lo es a nivel industrial ya que los residuos agrícolas generalmente desechados pueden ser aprovechados, con ello se elimina una fuente de contaminación y se da un valor agregado al material.

El aprovechamiento de residuos permite obtener fibras naturales útiles para la producción de materiales poliméricos biodegradables (Romero-Viloria *et al*, 2014) que además sean seguros, ya que los polímeros a partir de monómeros de celulosa se consideran no perjudiciales para la salud (Wagner, 2014).

Un derivado de la α -celulosa despolimerizada, es la celulosa microcristalina, donde la pared celular de la fibra ha sido descompuesta en partículas que varían en tamaño de decenas a centenas de micras. Obtenida de fibras naturales mediante tratamientos químicos que involucran una hidrólisis ácida controlada y el uso de álcalis y/o bisulfitos para separar lignina y extraer la celulosa.

Según el método utilizado se obtiene diferente cantidad y pureza de celulosa; sin embargo, el tipo de ácido no afecta propiedades como grado de polimerización, índice de cristalinidad, tamaño de cristal y estabilidad térmica. Lo que sí afecta el rendimiento de la celulosa es el pH en la etapa de cloración y la concentración de álcali en la hidrólisis alcalina. Otro factor que afecta las propiedades de cristalinidad, humedad, peso molecular y superficie porosa es la materia prima empleada para su obtención. La celulosa microcristalina a escala industrial se ha obtenido de la madera y el arroz, aunque otras fuentes potenciales son: cáscaras de coco, bagazo de caña de azúcar, paja de trigo, fibras de lino y cáscara de soja.

Este material tiene amplio uso en la elaboración de comprimidos, aglutinantes, lubricantes, coadyuvantes de recubrimientos para comprimidos, dispersantes en preparaciones líquidas, vehículo para colorantes y pigmentos, mejorador de fluidez en polvos y granulados, y de estabilidad de los principios activos en diversas formulaciones. Puede sustituir al almidón, lactosa y otros azúcares en la preparación de alimentos, mejorando la compresibilidad de los ingredientes y haciendo posible su aplicación por vía húmeda o seca (Romero-Viloria *et al*, 2014).

El acetato de celulosa cuenta con propiedades de barrera que no son buenas respecto del vapor de agua y los gases, lo que lo habilita para el envasado de alimentos de alta humedad, permitiendo la eliminación de agua sin condensación

en el interior del envase. Por otro lado, también puede ser utilizado para el envasado de alimentos grasos, debido a que no se ve afectado por ellos. La utilidad de la celulosa como un material base para envases comestibles o biodegradables se puede ampliar por modificación química a la celulosa, como metilcelulosa, hidroxipropilcelulosa y carboximetilcelulosa (Pardo, Menéndez y Giraudó, 2011).

Esta materia prima puede utilizarse para el mejoramiento de la calidad de los polímeros que comúnmente se utilizan en la industria, en el 2017, en el 9° Congreso Internacional de Investigación Científica Multidisciplinaria se reportó una investigación donde se recuperó celulosa de vaina de trigo para mezclarla con una matriz polimérica como el polipropileno, y se moldearon probetas en una prensa térmica, encontrando que del 5% a 20% en peso de celulosa mejoró las propiedades mecánicas de este material (Barrón *et al* 2017).

Años atrás en el 2013 se elaboró un nanocompuesto de celulosa y ácido poliláctico para estudiar sus propiedades mecánicas, concluyendo que el agregado de celulosa (0.5%) mejoró la elasticidad y resistencia a la tensión del material, además de que la cristalinidad se vió favorecida en cuanto a unión a las cadenas de ácido poliláctico, pero para ello se debe garantizar la dispersión uniforme del nanocompuesto en la matriz polimérica que no fue muy bueno a mayor concentración de celulosa (1 y 2%) (Riva-Reyes *et al* 2013).

Morales-Cepeda *et al* en el 2011 estudiaron el comportamiento de las propiedades mecánicas del polipropileno (PP) y el PEBD reciclado después de que ambos fueron reforzados con nanofibra celulósica. Los resultados muestran una disminución de la resistencia al impacto del compósito en comparación con la muestra original. Además, los materiales reforzados con 5% de nanofibra presentaron un aumento en las propiedades relacionadas con la tracción, mientras que los reforzados con 10% una disminución, esto último podría deberse a que la concentración de nanofibra fue excesiva lo que propició una baja interacción entre la nanofibra y la matriz.

Los materiales reforzados con fibras son el principal tipo de materiales compuestos comerciales. Las propiedades de las fibras de celulosa son muy buenas en comparación con las artificiales, particularmente en relación con la densidad. Aunque la producción de compuestos a base de tales fibras actualmente está muy limitada, puede aumentar en el futuro, ya que recientemente la atención se ha puesto en el uso para el reforzamiento de materiales termoplásticos (Morales-Cepeda *et al* en el 2011).

2.1.3.2 Polisuccinimida

Es un polímero del ácido Aspártico, incorporado a la industria de alimentos, cosmética y médica por ser un producto no tóxico y amigable con el medio ambiente

(Hernández-Gonzales *et al* 2019) al ser biodegradable, además de que se trata de un material homogéneo que proviene del ácido aspártico como monómero de partida.

Los primeros experimentos con la poli (2,5-dioxo-1,3-pirrolidinediilo), también conocida como polisuccinimida, se llevaron a cabo en 1850 al calentar sales de amonio de ácidos maleicos o asparagina que provocó la separación un material insoluble en agua, PSI. Un siglo después se sugirió que el calentamiento de ácido aspártico formaba un anhídrido interno reactivo que se condensa en una poliamida. (Fig. 1) (Jalalvandi y Shavandi, 2018).

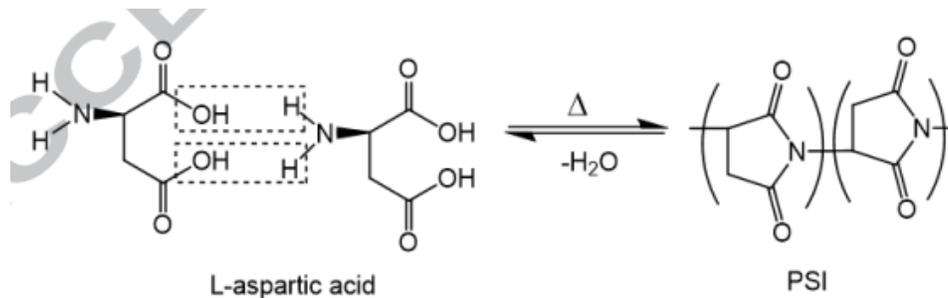


Figura 1 Método sintético general de PSI mediante policondensación térmica de ácido aspártico

2.1.4 Deterioro alimentario

Es un proceso metabólico en los alimentos que genera cambios en las características sensoriales de un producto: olor, sabor, color, textura (Delgado, Hernández y Ortiz, 2014) provocados por la oxidación de lípidos o pigmentos, pérdida de O_2 o vitaminas sensibles como la A, C y E, que lleva a que el alimento sea indeseado e inaceptable por los consumidores (Topuz y Uyar 2019).

Existen métodos que han sido utilizados desde tiempo atrás para evitar y retrasar el deterioro de los alimentos, como el uso de sustancias que ayuden a preservar apariencia y características como el olor y sabor.

Estas sustancias pueden ser llamadas preservativos que pueden ser naturales o artificiales. Ejemplo de preservativos naturales son el azúcar, sal y vinagre. Los artificiales, que son sustancias químicas que preservan por tiempo prolongado sin alterar características naturales del alimento; hay 2 grupos: agentes antimicrobianos y agentes antioxidantes (Delgado, Hernández y Ortiz, 2014).

Los agentes antioxidantes se encargan de prevenir la oxidación mientras que los antimicrobianos tratan de detener daños provocados por microorganismos.

2.1.4.1 Deterioro microbiano

En el ambiente se encuentran organismos que provocan el deterioro de un alimento, como los mohos, bacterias y levaduras presentes en aire, suelo y en el agua. Estos actúan según la composición del alimento. Cuando el alimento es rico en carbohidratos se propicia el crecimiento de hongos que dan como resultado malos olores. Pero si el alimento contiene proteína o grasa, las bacterias se hacen presentes. Otro factor importante es el pH, si es bajo es adecuado para el crecimiento de hongos y levaduras, mientras que si es neutro o alcalino es ideal para las bacterias.

Los elementos nutritivos, el pH, además de la humedad son factores intrínsecos del alimento que dependiendo su nivel promueven o limitan el crecimiento de microorganismos. Pero la alteración de alimentos también se da por factores extrínsecos, como la temperatura y humedad del ambiente en el que se encuentren almacenados (Delgado, Hernández y Ortiz, 2014).

2.1.4.2 Deterioro oxidativo

Los alimentos durante su producción, procesamiento, distribución y almacenamiento además de sufrir deterioro microbiano sufren daño en sus procesos químicos, un ejemplo de ello es la oxidación (Sahraee, Milani, Regenstein y Kafil 2019).

La oxidación se define como la reacción de cualquier material con el oxígeno, donde participan los radicales libres y dan como resultado otras sustancias (Donoso, 2014).

Es una serie de cambios fisicoquímicos que afectan el valor nutricional del alimento, además de la aparición de rancidez e incluso producción de algún compuesto nocivo (Cordes-Cortés y Guerra-Jeraldo, 2009).

La velocidad del deterioro oxidativo depende de factores como la temperatura de almacenamiento, presencia de prooxidantes, características químicas de la grasa o aceite y la forma en que este está disperso en el alimento (Logan y Fagan, 2013).

2.1.4.2.1 Deterioro oxidativo en lípidos

Los lípidos son parte importante en la dieta humana ya que son consumidos de forma diaria como fuente de energía. Estos compuestos son alterados por procesos como la rancidez hidrolítica (lipólisis) y la rancidez oxidativa (oxidación) provocando deterioro en los alimentos que los contienen generando pérdida de su calidad ya

que sufren cambios en su composición, sabor y aroma, además de que disminuye su valor nutricional.

La rancidez hidrolítica se produce por liberación de ácidos grasos libres de los glicéridos, estos son detectados por las papilas gustativas y pueden llegar a alterar el sabor de un alimento, pero en algunos casos es deseable siempre y cuando sea en pequeñas cantidades para no estropear el alimento.

A diferencia de la rancidez oxidativa, que lleva a la formación de compuestos no comestibles e incluso tóxicos. Al oxidarse un lípido forma hidroperóxidos, si estos se oxidan a su vez o descomponen generando productos como aldehídos, cetonas, ácidos de cadena corta y alcoholes (Cordes-Cortés y Guerra-Jeraldo, 2009).

La rancidez es un problema que puede presentarse durante el procesamiento, transporte o en el almacenamiento de productos grasos, debido a que factores físicos y químicos lo desencadenan o aceleran:

- Exposición directa a la luz solar
- Sobrecalentamiento en presencia de oxígeno
- Presencia de iones metálicos
- Acidez
- Alto contenido de clorofila proveniente de frutos inmaduros o contaminación con otro material vegetal (Delgado, 2004).

El proceso de oxidación de los lípidos en los alimentos ocurre a través de una serie de reacciones en cadena de radicales libres que se puede observar en la figura 2. La ruta clásica de auto oxidación incluye reacciones de iniciación (producción de radicales libres de lípidos), propagación y terminación (producción de productos no radicales) (Guerberoff y Camusso, 2019).

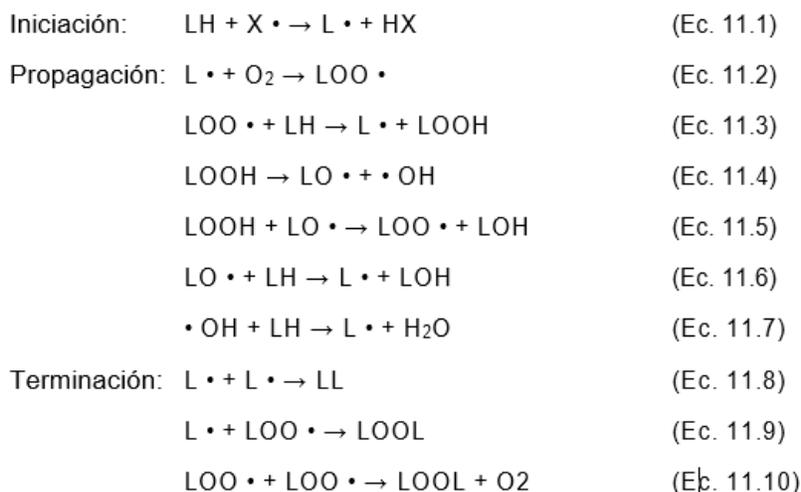


Figura 2 Reacciones del proceso de oxidación en lípidos

En la etapa de iniciación se forma el radical alquilo ($L \bullet$), que pasa a ser radical peroxilo ($LOO \bullet$) mediante la combinación con oxígeno coexistente. Para después extraer un átomo de hidrógeno de otro ácido graso para formar un hidrolipéptido (molécula de peróxido $LOOH$) que al descomponerse va generando radicales alquilo durante la propagación. Al haber gran cantidad de radicales dos de ellos se combinan para terminar el proceso de radicales libres (Duy-Bao y Ohshima, 2013).

2.1.4.2.1.1. Agentes para prevenir el deterioro oxidativo de lípidos

El deterioro oxidativo es uno de los procesos degradativos más vigilados y controlados debido al impacto que tiene en la calidad de un alimento graso (Delgado, 2004).

Este proceso comienza con pequeñas cantidades de oxígeno, que es difícil de evitar; sin embargo, puede controlarse o retrasarse utilizando las diferentes técnicas de conservación, combinadas con el uso de antioxidantes. En la industria alimentaria se han utilizado antioxidantes sintéticos como el BHA (hidroxianisol butilado), BHT (hidroxitolueno butilado) y TBHQ (hidroquinona terciaria-butílica), pero se le atribuyen efectos negativos a la salud (Guerberoff y Camusso, 2019).

Por ello se ha pensado que la estabilidad de los lípidos y los alimentos que los contienen puede ser mejorada con la adición de antioxidantes naturales provenientes de extractos vegetales (Sahraee *et al* 2019) en forma de compuestos fenólicos, que actúan como terminadores de radicales libres debido a la capacidad de sus grupos hidroxilo de captarlos y con ello retardar la degradación oxidativa mejorando por lo tanto la calidad y valor nutricional de los alimentos.

Los antioxidantes naturales que estabilizan la oxidación de lípidos son los tocoferoles, la vitamina C y polifenoles (Calsin—Cutimbo, Aro-Aro y Tipacti-Vivanco, 2016).

Los componentes antioxidantes han sido extraídos de frutas como la ciruela, uva, arándano morado y rojo, granada, cítricos, manzana, pera, además de frutas exóticas; vegetales como la cebolla, ajo, brócoli y alcachofa; además de la pimienta, té verde, café, maní, jengibre, cúrcuma, piel de granada, canela y aceites provenientes del romero, tomillo, clavo de olor, orégano, palma, soya, sésamo y lino. De todos ellos los que destacan por presentar los mejores resultados son los aceites esenciales de hierbas como el orégano y el romero, y de subproductos de la uva en el caso de las frutas (Valenzuela y Pérez, 2016).

Incluso se ha encontrado que los extractos de orégano han mostrado ser efectivos, en algunos casos a niveles superiores a los exhibidos por el propil galato, BHT y

BHA (Arcila-Lozano *et al* 2004). El aceite esencial de orégano aplicado al 0,1% presentó una actividad antioxidante similar a la del BHT al 0,02% al ser aplicado como antioxidante en aceite de maní (Olmedo, 2009) esto debido a la presencia dominante de carvacrol y timol (Arcila-Lozano *et al* 2004).

El componente carvacrol es mayoritario en *Origanum scabrum* (74,86%) y en *Origanum syriacum* (26,97%). Estos resultados inducen a estudios posteriores, sobre un potencial empleo como antioxidante en alimentos que se conservan a bajas temperaturas, pues se ha demostrado que el timol, a temperatura ambiente, actúa mejor que el carvacrol como antioxidante de lípidos (Amadio *et al* 2011).

Cuando se utiliza en un extracto de aceite esencial, se espera que los componentes antioxidantes más eficientes dominen y sean los que se encuentren en mayor concentración y que la protección general se deba a tales componentes. Si bien esto es cierto, hay excepciones donde el rendimiento global como antioxidante se debe al resultado de la interacción entre los componentes y el material oxidable a proteger y no tanto por la concentración general de un compuesto específico. Por lo tanto, de forma general se observa que dependiendo de la composición exacta del extracto del aceite esencial y las condiciones experimentales se puede esperar un comportamiento sinérgico o antagónico entre todos los compuestos presentes y por ende esperar resultados variables (Acón, 2016).

Los principales compuestos químicos del aceite de orégano son responsables de su poder como antioxidante porque poseen la capacidad de proteger a las células contra el daño oxidativo (Patiño-Rincón, Moreno-Cristancho y Chaparro-González, 2012).

2.1.4.3 Procesos de oxidación enzimática- Mecanismo

El deterioro oxidativo es un proceso que puede seguir rutas enzimáticas y/o químicas (Cordes-Cortés y Guerra-Jeraldo, 2009).

Las reacciones de oxidación de origen enzimático que provocan el pardeamiento de frutos y vegetales con altos contenidos de compuestos fenólicos al contacto con el aire; los llevan a presentar pigmentos, alteración en su sabor y textura además de desprendimiento de olores que dan un aspecto desagradable al consumidor, pérdidas económicas considerables (Sellés- Marchart, 2007).

Este proceso ocurre por acción de enzimas como la PFO, también llamada fenolasa o tirosinasa que actúa en sustratos como compuestos fenólicos (monofenoles, difenoles, polifenoles) y la tirosina que en su mayoría son incoloros, ocasionando la producción de quinonas que se polimerizan y dan como resultado polímeros coloreados (melaninas) que generan un color marrón en frutas, hortalizas e incluso

crustáceos como puede observarse en la figura 3 (Orrego- Vásquez, Tellez y Bastidas, 2014).

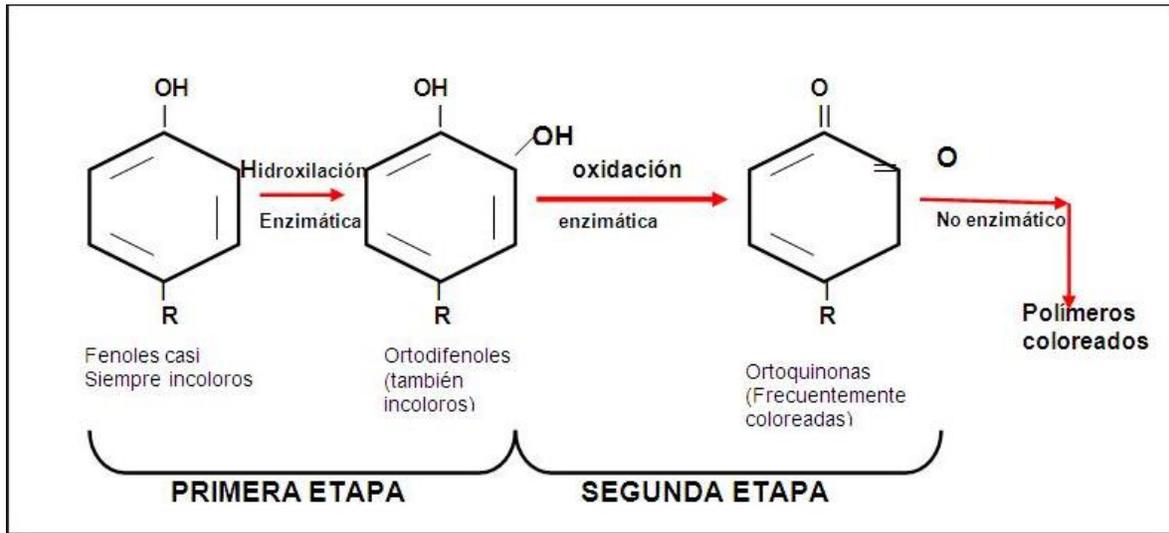


Figura 3 Pardeamiento enzimático

2.1.4.3.1 Principales alimentos en la oxidación enzimática

El pardeamiento enzimático es un problema importante en la industria alimentaria ya que es la causa de pérdida en la calidad y valor comercial de gran cantidad de productos con alto contenido de compuestos fenólicos (Sellés- Marchart, 2007) como frutas, champiñones, papas y otros vegetales, en algunos crustáceos, e incluso la industria del vino (Orrego- Vásquez, Tellez y Bastidas, 2014).

Otro producto afectado es el aguacate, al ser un fruto rico en grasa (10-30%) y estar en contacto con el aire tiende a sufrir reacciones de oscurecimiento (Rueda-Lugo, González-Tenorio y Totosaus, 2006).

2.1.4.3.2 Agentes comúnmente empleados para inhibir la oxidación enzimática

La industria alimentaria tiene como objetivo prevenir el pardeamiento enzimático antes o durante el procesado de frutas o verduras a manera de asegurar su calidad. Para ello se debe tener conocimiento químico de los sustratos fenólicos, nivel de acceso del O₂, de la polimerización y degradación de las quinonas, así como conocer el nivel de la enzima presente en el alimento (Sellés- Marchart, 2007).

Para que ocurra el proceso de pardeamiento enzimático deben existir 3 componentes: enzima, sustrato y oxígeno.

Como se puede hacer muy poco con el sustrato susceptible a oxidación, los métodos para contrarrestar este proceso tienden a inhibir la enzima o a eliminar el oxígeno (Orrego- Vásquez, Tellez y Bastidas, 2014).

El pardeamiento enzimático puede ser controlado a través de métodos físicos y químicos, o en combinación de ambos. Los métodos físicos involucran temperatura, el oxígeno y el uso de atmósferas modificadas o películas de recubrimiento; y los métodos químicos dependen de lo que se desee inhibir, ya sea la enzima, el sustrato (oxígeno o compuestos fenólicos) o los productos (Guerrero, 2009).

Algunos de los métodos utilizados son:

-Escaldado: Sumergir el alimento en un baño de agua hirviendo por 1 minuto

-Disminución de pH: Inhibir acción de la enzima

-Adición de sustancias químicas (Orrego- Vásquez, Tellez y Bastidas, 2014)

La aplicación de inhibidores químicos implica una interacción directa con la enzima o con los productos. Existen 4 grupos en los que se pueden clasificar: sulfitos, agentes antioxidantes o reductores, acidulantes y compuestos quelantes.

- Sulfitos. - Son los compuestos más efectivos pero su mecanismo de acción no está claro, pueden provocar la inhibición de la enzima, interaccionar con los intermedios para que no formen los pigmentos o actúan como agentes reductores convirtiendo a las quinonas en difenoles. Además, de que provocan efectos adversos a la salud.
- Antioxidantes. – Se han utilizado compuestos sintéticos como el BHT y BHA, estos protegen el sabor y color en los alimentos, además de compuestos fenólicos como el tocoferol y flavonoides.

En cuanto a compuestos con habilidad de reducción está el ácido ascórbico, que reduce las quinonas a fenoles antes de que se llegue a la etapa de formación de pigmentos. Sin embargo, es propenso a oxidarse a ácido deshidroascórbico (DHAA) y reaccionar con otros compuestos que alteran la calidad del alimento. (Sellés- Marchart, 2007) Dentro de esta clasificación encontramos también al ácido ascórbico (Vitamina C) con acción temporal y la cisteína, que provoca efecto negativo en el sabor.

- Acidulantes. – Aplicados a mantener pH por debajo del punto óptimo de actividad catalítica de la enzima, como ácido cítrico, málico y fosfórico que inhiben la PFO (Guerrero, 2009).

El más utilizado es el ácido cítrico debido a su presencia natural en tejidos. (Sellés- Marchart, 2007) Otro compuesto utilizado es el ácido eritórbico o eritorbato de sodio, que realiza la misma función del ácido ascórbico (Vitamina C) pero sin valor vitamínico (Rueda-Lugo, González-Tenorio y Totosaus, 2006).

- Quelantes. – En su sitio activo las enzimas generalmente poseen iones de metales, así que los agentes quelantes los remueven para inactivar la enzima (Guerrero, 2009).

Los ácidos policarboxílicos, polifosfatos y ácido etilen-diamino-tetraacético (EDTA), si bien son bastante efectivos como quelantes, su uso en la industria alimentaria está limitado debido a que genera efectos adversos a la salud (Sellés- Marchart, 2007).

Si bien los agentes antioxidantes son efectivos, es necesario cuantificar que tan efectiva es su acción, y para ello se debe medir el nivel de oxidación en los alimentos. Para ello se emplean diversas técnicas que se describirán a continuación.

2.1.4.4 Metodologías para evaluación del deterioro en lípidos

2.1.4.4.1 Fenoles totales

Los compuestos fenólicos se consideran los antioxidantes más importantes en las plantas. El método Folin Ciocalteu es una técnica analítica colorimétrica utilizada en materiales biológicos (Chen, Cheng y Liang,2015) siendo el mejor para determinación del contenido de fenoles totales de muestras como todo tipo de vinos secos, extractos de plantas, brandies y productos similares (Rover y Brown, 2013).

Los compuestos fenólicos son determinados en función de la reducción química del reactivo Folin-Ciocalteu que es una mezcla de tungsteno (incoloros) y óxidos de molibdeno (amarillos). Los productos de reducción tienen un color azul con una amplia luz absorción con un máximo a 765 nm (Rover y Brown, 2013).

2.1.4.4.2 Coeficientes de extinción K232 y K270

La oxidación de los lípidos puede evaluarse por alteraciones después de la fase primaria de oxidación, el reordenamiento de los enlaces dobles y triples de los ácidos grasos origina dienos y trienos conjugados (Guerberoff y Camusso, 2019).

A partir de los hidroperóxidos derivados de los ácidos grasos insaturados presentes en el aceite, se forman los dienos conjugados compuestos de oxidación primaria, representados por el valor de K232. El valor de K270 representa los compuestos de oxidación secundaria (Elodio-Policarpo *et al.*2019).

2.1.4.4.3 Análisis de espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)

Es una técnica utilizada para medir la estabilidad oxidativa de un aceite durante el calentamiento. Las principales bandas de interés son los picos de reflectancia de 3600 a 3400 y 1800 a 1700 cm^{-1} , que corresponden a la presencia de hidroperóxidos y carbonilos, respectivamente (Elodio-Policarpo *et al.*2019).

CAPÍTULO 3

3.1 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.1 LOCALIZACIÓN DEL EXPERIMENTO

El trabajo experimental se llevó a cabo en varias fases: el proceso de formación de los envases se realizó en la Planta Piloto 1 del Centro de Investigación en Química Aplicada. Los procesos de síntesis y caracterización de las propiedades de los materiales se llevaron a cabo en el Laboratorio de Inocuidad y empaques y en el Laboratorio de Ensayos Físicoquímicos del Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila.

3.1.2 METODOLOGÍA

3.1.2.1 ETAPA 1 ELABORACIÓN DE LOS ENVASES

3.1.2.1.1 Obtención de material base

Para la obtención de PSI se utilizó la metodología descrita por (Hernández-González, 2017).

La MC fue obtenida mediante el procedimiento descrito por (Isidro-Ruiz, 2019).

AEO proporcionado por el Centro de Investigación de los Recursos Naturales de Jiménez Chihuahua, mismo que fue caracterizado por cromatografía de gases masas y cuyos compuestos constituyentes se describen en la Tabla 2

Tabla 2 Composición del aceite esencial de orégano

Compuesto	%
<i>p</i> -Cimeno	0.20
Limoneno	1.40
Timol	67.30
Carvacrol	23.30

3.1.2.1.2 Condiciones de extrusión

Se emplearon 3 mezclas diferentes con variación en el porcentaje de AEO: M2, M4 y M6 las cuales se describen en la Tabla 3.

Tabla 3 Formulaciones empleadas para elaboración del material

MATERIALES	M2	M4	M6
PSI	22.22	22.03	22.22
MC	22.22	22.03	22.22
Almidón	22.22	22.03	22.22
AEO	3.11	3.44	2.22
Glicerol	30.22	30.48	31.11

Para la extrusión del material se empleó un equipo extruder micro compounder Xplore IM 15, Serial 15-14-20, 204-245 V 50-60 Hz; 3100 watts, 14 Amp. La temperatura se ajustó a 125°C a una velocidad de rotación de 60 rpm y un tiempo de mezcla de 6 minutos.

3.1.2.1.3 Moldeado

El moldeado se realizó con empleo de una termoconformadora marca PHI para obtención de láminas de 1mm de espesor de la muestra. La temperatura fue de 176 °F (80°C) con una presión de 25 toneladas por un tiempo de 3 minutos, para posteriormente ser enfriadas en mismas condiciones de presión.

3.1.2.2 ETAPA 2 EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE EN LÍPIDOS

En cada recipiente se colocó 5 mL de aceite de oliva y se almacenó a condiciones ambientales.

Las muestras se evaluaron a intervalos de 0, 7, 15, 21 y 28 días de almacenamiento en función a: coeficientes de extinción (K_{232} y K_{270}), contenido de fenoles mediante Folin-Ciocalteu y FTIR.

3.1.2.2.1 Coeficiente de extinción K_{232} y K_{270} (Paz-Antolín y Molero-Meneses, 2000)

Con anterioridad se desgasifica la muestra colocándola en un tubo de ensaye y se lleva a baño de ultrasonido a máxima intensidad por 10 minutos. Se toma 20 μ l de muestra a temperatura ambiente (25°C), se introducen en un matraz aforado y se pesa con exactitud. Se enrasa con hexano a 10 mL y se agita durante 5 minutos. Se registra su espectro de absorción a 232 y a 270 nm (Por triplicado).

Las mediciones se hacen cada 10 días en condiciones a medio ambiente y en atmósfera saturada con O_2 .

A partir de las lecturas de absorción se calcula el coeficiente de extinción específica (K_λ) a partir de la siguiente ecuación: $K_\lambda = D_\lambda / C$, donde K_λ es el coeficiente de extinción específica para cada longitud de onda, D_λ es la absorbancia leída en el espectrofotómetro y C es la concentración de la disolución en g/100mL.

Para el cálculo de los coeficientes K_{232} y K_{270} a la temperatura de 100°C se sigue el mismo procedimiento con la diferencia de que la muestra se mantiene a temperatura constante en estufa.

3.1.2.2.2 Determinación de compuestos fenólicos por método FOLIN-CIOCALTEU

3.1.2.2.2.1 Extracción de fenoles (Elodio-Policarpo et al 2019)

Los fenoles de las muestras de aceite se extrajeron tomando 0.5 g de muestra de aceite que fueron disueltos en 5 mL de hexano con 5 mL de metanol: agua (60:40 v/v). La mezcla se agitó durante 5 min y se centrifugó a 2000 rpm por 5 min. Se colectó la fase hidroalcohólica y se almacenó en refrigeración hasta su uso.

3.1.2.2.2.2 Método Folin- Ciocalteu (Jurado-Teixeira et al 2016)

Se preparó una curva de calibración de ácido gálico cuyo rango de concentración fue de 1-10 mg/L. El extracto etanólico de la muestra fue evaluado a una concentración de 0.05 g/mL. A 0.3 mL de la muestra se le añadió 0.45 mL de la

solución de Folin-Ciocalteu (diluido 1 en 2 con agua destilada y se dejó reposando 5 min, luego se adicionó 0.45 mL de Na₂CO₃ 20% y posteriormente agua destilada hasta un volumen de 3 mL. Se agitó, se cubrió de la luz y se le llevó a reposo durante 30 min a temperatura ambiente. Las absorbancias fueron medidas a 760 nm en un espectrofotómetro.

Las muestras fueron analizadas por triplicado y el contenido de compuestos fenólicos totales fue expresado en mg de ácido gálico/ g de aceite.

3.1.2.2.3 Espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR) (Elodio-Policarpo et al 2019)

Los espectros de infrarrojo se colectaron con la técnica de reflectancia difusa en un espectro de infrarrojo con transformada de Fourier en un rango de 4000 cm⁻¹ con una resolución de 4 cm⁻¹ y un número de barridos de 24.

CAPÍTULO 4

4.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.1 ETAPA 1 ELABORACIÓN DE LOS ENVASES

4.1.1.1 Obtención de material base

4.1.1.1.1 PSI

En la figura 5b se muestran los espectros infrarrojos de la muestra de Aceite esencial del orégano (AEO), polisuccinimida (PSI) y microcelulosa (MC). Para el espectro de la PSI se pueden observar las bandas de absorción a 2950 cm^{-1} que representan el estiramiento de C-H del CH_2 y el N-H de la amida. La banda de absorción que ronda los 1700 cm^{-1} corresponde a la vibración C=O de las amidas cíclicas que es la banda característica derivado de esta estructura como lo refiere Velazco-de-la-Garza *et al.* 2020 donde estudió las propiedades biológicas de nuevos derivados de polisuccinimida sintetizados mediante injerto de amonio cuaternario y compara sus muestras con polisuccinimida pura.

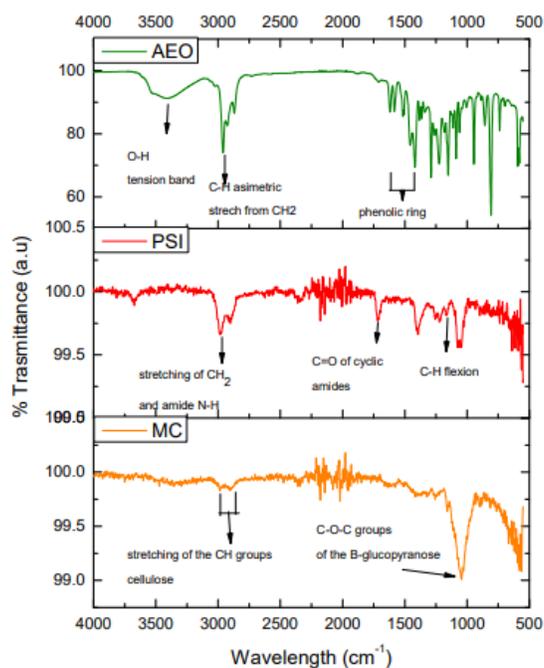


Figura 4 FTIR Materiales base

La banda en el área de 1165 cm^{-1} corresponde a la flexión del C-H en el plano del grupo CH_2 . (Angel-Sánchez, 2019)

4.1.1.1.2 Microcelulosa

Después de someter a las fibras naturales a los tratamientos químicos necesarios para descomponer la pared celular y así obtener la MC se tomó un espectro infrarrojo de la muestra antes de emplearla para la elaboración de los envases. De la figura 5c se destacan las regiones principales de absorción, con una banda en la región de entre los 3000 a los 2850 cm^{-1} el cual se asocia al estiramiento de los grupos CH presentes en la celulosa, y la banda de absorción entre 1066 y 1050 cm^{-1} que se atribuye a las vibraciones de los grupos C-O-C del anillo de la β -glucopiranososa que constituye a la celulosa (Romero-Viloria *et al*, 2014).

4.1.1.1.3 AEO

La figura 5a presenta el espectro del AEO mismo que exhibe una banda a 3367 cm^{-1} que corresponde a grupos OH y anillos fenólicos en números de onda que varían entre 1619 y 1458 cm^{-1} (Hernández-González *et al* 2017).

4.1.1.2 Moldeado de envases

Las probetas obtenidas a partir de las mezclas de los materiales base fueron analizadas mediante espectroscopía infrarroja. La figura 6 presenta las bandas de absorción a los grupos funcionales presentes en la estructura de los materiales.

Se puede observar una combinación de las bandas representativas de los distintos materiales utilizados, presenta un pico en $3200\text{-}3650\text{ cm}^{-1}$ causada principalmente por vibraciones de estiramiento del grupo -OH (López-Díaz, 2017) correspondiente al AEO y glicerol, cuyo pico es más pronunciado en la mezcla M4 ya que es el envase con mayor porcentaje del compuesto activo y menor en la probeta que no lo contiene debido a que corresponde a grupos hidroxilo (O-H) (Bañuelos-Valenzuela *et al* 2018).

En todas las probetas se encuentran los picos de absorción a 2950 cm^{-1} del estiramiento de C-H de CH_2 y amida N-H de la amida proveniente de la PSI. Una

banda a 1050 cm^{-1} que es propia de los grupos C-O-C del anillo de la β -glucopiranososa en la MC más pronunciadas que en los materiales base.

Otra banda en la región ($1400\text{-}1500\text{ cm}^{-1}$) correspondiente a CO y CC, vibraciones específicas en grupos fenilo (Bañuelos-Valenzuela *et al* 2018) las cuales se hacen presentes en forma de una banda poco pronunciada en las probetas que contienen AEO y ausente en la probeta control que no lo contiene, identificada como sin AEO, lo que denota la migración de los compuestos fenólicos que actuarán como antioxidante a la hora de almacenar la muestra.

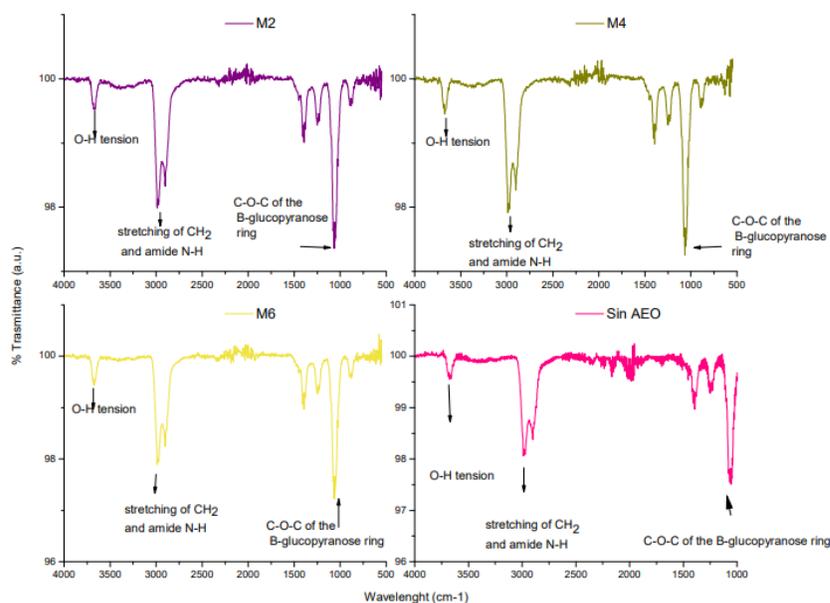


Figura 5FTIR Probetas

4.1.2 ETAPA 2 EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE EN LÍPIDOS

4.1.2.1 Coeficiente de extinción K 232 y K 270

De acuerdo con lo establecido por Jurado-Teixeira *et al.* 2016, la estabilidad de un aceite se puede conocer por medio de la absorbancia a longitudes de onda entre 232-274 nm.

Los valores de K232 representan la presencia de dienos conjugados que se forman a partir de los hidroperóxidos derivados de los ácidos grasos insaturados presentes en el aceite durante la oxidación primaria. Por otro lado, el valor k 270 representa los compuestos de oxidación secundaria (Elodio-Policarpo *et al* 2019).

El aceite de oliva empleado para el presente estudio fue almacenado en las 4 probetas objeto de estudio y evaluado en base a estos coeficientes con la finalidad de estudiar su deterioro.

La figura 6 y anexo 1 presentan los resultados para el análisis de comparación de medias de coeficiente K232 para las muestras de aceite de oliva evaluadas a los 0, 7, 15, 21 y 28 días de almacenamiento en los envases identificados como M2, M4, M6, SIN AEO y T.

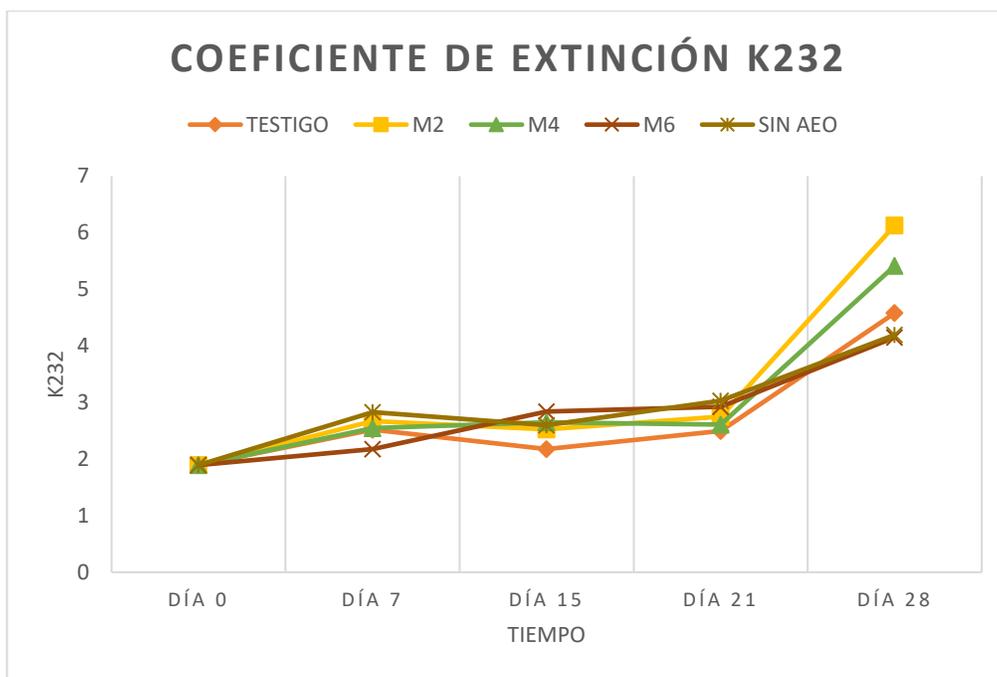


Figura 6 Valores promedio de K232

Como se puede apreciar los valores promedio de K232 fueron incrementando en función al tiempo, con valores promedio iniciales de entre 1.8933 y 1.8937 para todas las muestras analizadas y que alcanzaron los máximos niveles al día 28 donde se puede destacar que el aceite almacenado en la probeta identificada como M2 fue el que presentó el máximo valor para el coeficiente K 232, seguido por el almacenado en la probeta M4 y la muestra testigo, colocada en un envase de vidrio tradicional con valores de 6.1294, 5.4159 y 4.5811 respectivamente, destacándose los valores presentados para los aceites almacenados en la probeta libre de AEO y finalmente la M6 con valores reportados de 4.1951 y 4.1519 respectivamente que resultaron estadísticamente inferiores que el resto de los tratamientos.

Para la evaluación del coeficiente K270 los datos obtenidos se presentan en la figura 7 y en el anexo 2, de donde es posible apreciar que los valores iniciales son estadísticamente similares oscilando entre 0.1221 y 0.1229, con crecimientos continuos destacándose los presentados a los 28 días de almacenamiento presentando al igual que en el análisis anterior los máximos valores en el aceite almacenado en la probeta identificado como M2 con 1.2314 seguido por la M4 con

1.1688 y la muestra testigo, y finalmente las muestras M6 y sin AEO con valores de 0.7498 y 0.5993.

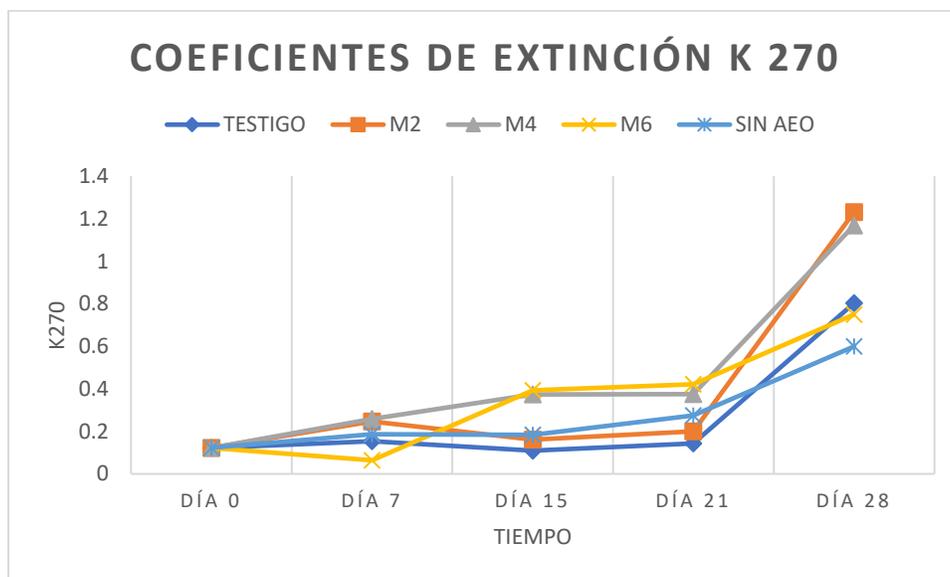


Figura 7 Valores promedio de K270

Para los valores iniciales registrados en el aceite empleado en este estudio se puede decir que concuerdan con lo descrito por Pérez-Arquillué *et al.* 2003 quienes reportan valores de 1.92 y 0.13 para el coeficiente K232 y K270 respectivamente durante su estudio de la calidad del aceite de oliva virgen de Aragón (España). Así mismo Asencio en el 2013 en Argentina reporta valores de K232 de 1.65 al día 0 en muestras de aceite de oliva extra virgen con adición de AEO al 0.05% de distintas variedades almacenadas a temperatura ambiente en oscuridad y expuestas a la luz.

De las cinéticas mostradas en las figuras 6 y 7 se puede observar cómo no se tuvo deterioro significativo durante los primeros 21 días, en este tiempo se considera como el pico máximo de migración de los compuestos antioxidantes contenidos en el envase al aceite de oliva.

A partir de aquí los valores que aumentaron drásticamente al día 28, como se describió anteriormente, son las probetas M2, M4 y la muestra testigo, lo que indica el inicio de las reacciones del proceso de oxidación caracterizada por la producción de radicales libres en los lípidos (Duy- Bao y Ohshima, 2013).

El comportamiento de la probeta M6 con respecto a las otras probetas, está relacionado con el menor porcentaje de AEO en la misma con un 2.22% a comparación de la M2 con 3.11% y M4 con 3.40%. Olmedo *et al* 2009 encontró que el aceite esencial de orégano aplicado al 0.1% presenta una actividad antioxidante

similar a la del BTH aplicado al 0.02% en aceite de maní almacenado a 60°C en un periodo de 0 a 28 días.

Esto indica que el AEO puede reemplazar a un antioxidante sintético gracias a sus compuestos químicos carvacrol y el timol. El timol y el carvacrol son moléculas isoméricas que pueden frenar las reacciones de iniciación de la cadena durante la oxidación de los triglicéridos de un aceite vegetal (Asensio,2013).

Cuando se utiliza un extracto se espera que los componentes antioxidantes más eficientes sean dominantes respecto a la composición general del aceite y que brinden la protección contra la oxidación. Sin embargo, el rendimiento de un antioxidante se debe al resultado de la interacción entre sus componentes y el material oxidable a proteger y no a la concentración. Por lo tanto, dependiendo de la composición exacta del extracto del aceite esencial y las condiciones experimentales se puede esperar un comportamiento sinérgico o antagónico (Acón, 2016).

Esto se observa en M4 y M2 que, aunque tenían mayor porcentaje de AEO no aumentó su actividad como envase antioxidante, sino que al contrario actuó como prooxidante.

Un antioxidante puede promover la oxidación en ciertas circunstancias, se cree que esta actividad prooxidante parece depender de la concentración y es directamente proporcional a los grupos hidroxilo, grupo que se encarga de captar los radicales libres (Procházková, Boušová y Wilhelmová ,2011) y de esa manera bloquear el proceso de reacciones en cadena de la degradación oxidativa debida a la hidrólisis de los lípidos que genera ácidos grasos libres por reacciones químicas o enzimáticas. Este fenómeno es de especial interés en matrices lipídicas que contienen agua, como el aceite de oliva virgen (Asencio, 2013).

4.1.2.2 Determinación de compuestos fenólicos por método FOLIN-CIOCALTEU

4.1.2.2.2 Método Folin- Ciocalteu

El análisis de medias para los datos obtenidos del contenido de compuestos fenólicos se presenta en el anexo 3 y en la figura 8. Los valores promedio iniciales son de 0.0208 mg de polifenoles / g aceite, para la muestra en el tiempo inicial.

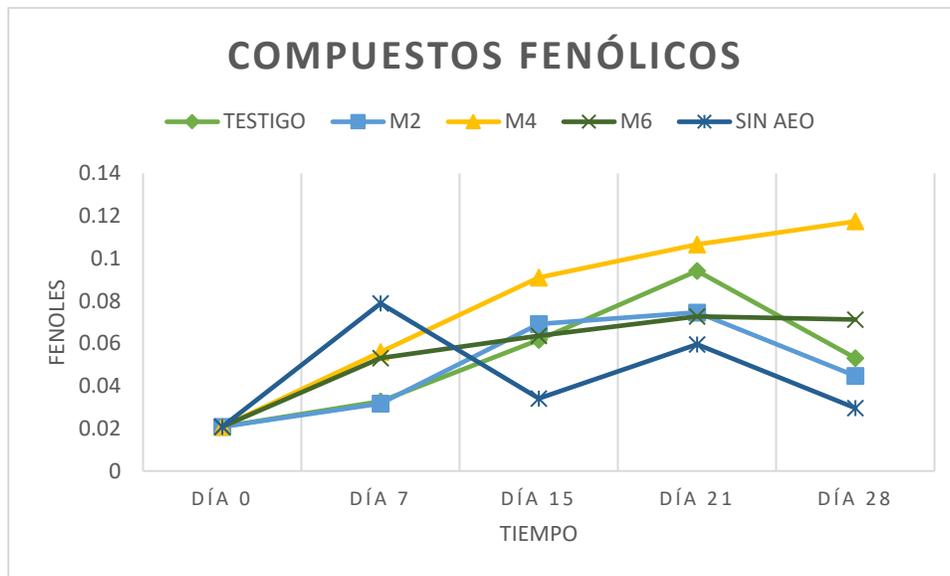


Figura 8 Contenido de polifenoles

Estos valores son ligeramente inferiores a los reportados por Pérez-Arquillué en el 2003 quien reporta en muestras de aceite de oliva virgen de Aragón, España contenido promedio de polifenoles de 168.5 ± 120.98 mg/kg, con valores que oscilaban entre 48.5 y 631.3 mg/kg. La variabilidad en el contenido de compuestos fenólicos se da por factores como la variedad de aceituna utilizada, la zona y condiciones de cultivo y principalmente características del año.

Los polifenoles resultantes en este estudio son una mezcla de los compuestos fenólicos propios del aceite de oliva, que le dan su sabor característico, y los que van migrando del envase activo provenientes del AEO.

Como se observa en la Fig. 8 la probeta M4 tiene un crecimiento sostenido ya que hay una liberación sostenida de fenoles frente a una generación de radicales libres cada vez mayor, con lo que hace una mezcla de antioxidante y que al acumularse en concentraciones mayores a las requeridas pueden ejercer un efecto prooxidante (Silva- Paccha, 2021).

En contraste, la probeta identificada como M6 exhibe un crecimiento a los 7, 15 y 21 manteniéndose estable a los 28 días este comportamiento se atribuye a la migración de los compuestos fenólicos de manera prolongada hacia el aceite y se empiezan a consumir para retardar los procesos oxidativos, ejerciendo así un efecto antioxidante al actuar sobre los radicales libres presentes en la muestra.

En cuanto a la muestra M2 el contenido de fenoles va en aumento hasta llegar al día 21 donde su contenido decae significativamente, asociado a la posible degradación del aceite y al consumo de estos por procesos de conservación del producto.

4.1.2.2.3 Espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR)

El aceite de oliva empleado fue evaluado mediante espectroscopía infrarroja, y su espectro se presenta en la figura 9.

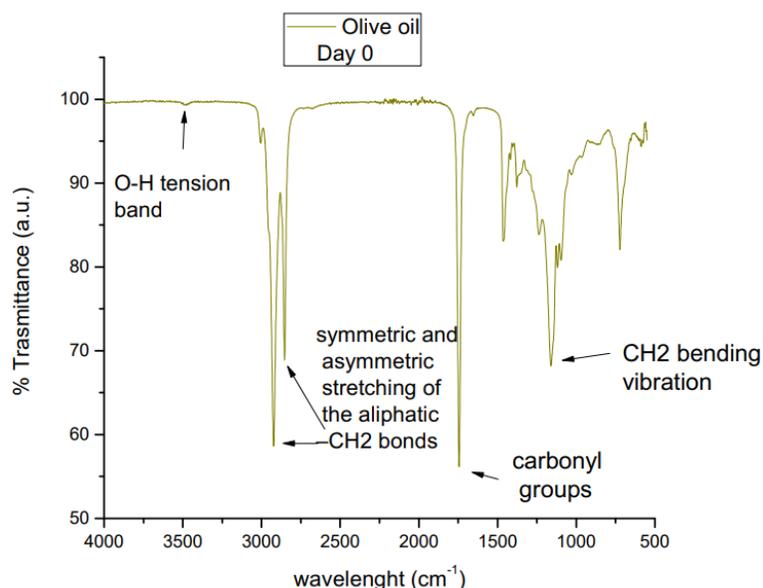


Figura 9 FTIR de aceite de oliva extra virgen

De la figura 9 se encontraron las bandas representativas, a 2853-2924 cm⁻¹ asignado al estiramiento simétrico y asimétrico del C-H (CH₂) (Matsakidou *et al* 2020). La banda de absorción entre los 3100-3600 cm⁻¹ que es causada por las vibraciones del estiramiento del grupo -OH (Zhu *et al* 2020). La banda ubicada en ~ 1711 cm⁻¹ fue asignada a la vibración de estiramiento de los grupos carbonilo de los ácidos grasos libres del aceite (Tena, Aparicio y García-González, 2017).

El aceite fue contenido en los envases descritos en el apartado de metodología. La figura 10 muestra el espectro para el aceite de oliva almacenado en envase de vidrio identificado como testigo.

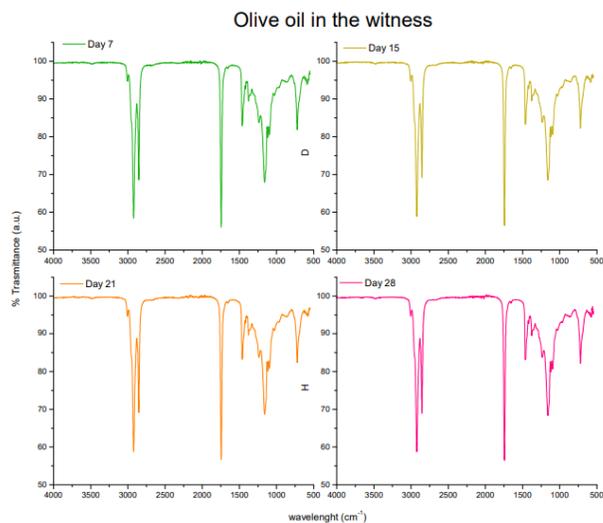


Figura 10 FTIR aceite contenido en probeta testigo

De los espectros mostrados en la figura 10, al ser comparados con el aceite de oliva en la muestra inicial es posible apreciar que se presentan las bandas representativas para el aceite referido, sin destacarse la presencia de alguna otra que haga evidente la migración de algún componente o bien un deterioro significativo del mismo, ya que tampoco se hace evidente el cambio en la intensidad de las bandas. Por otro lado, los espectros para el aceite almacenado en los envases elaborados identificados como M2, M4, M6 y Sin AEO son presentados en las figuras 11, 12, 13 y 14, respectivamente.

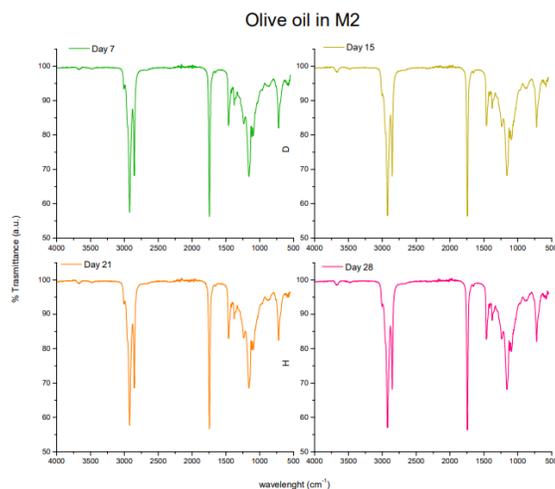


Figura 11 FTIR aceite contenido en M2

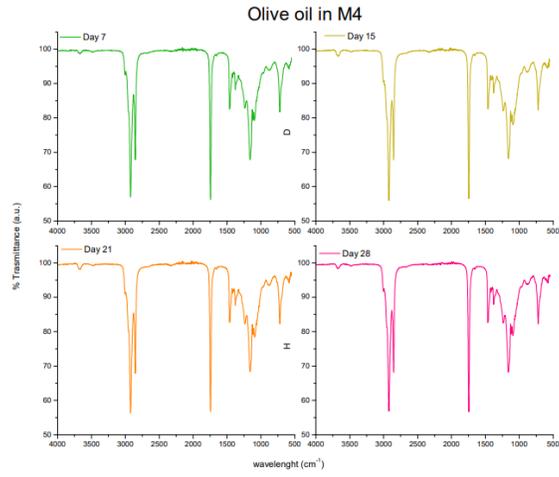


Figura 12 FTIR aceite contenido en M4

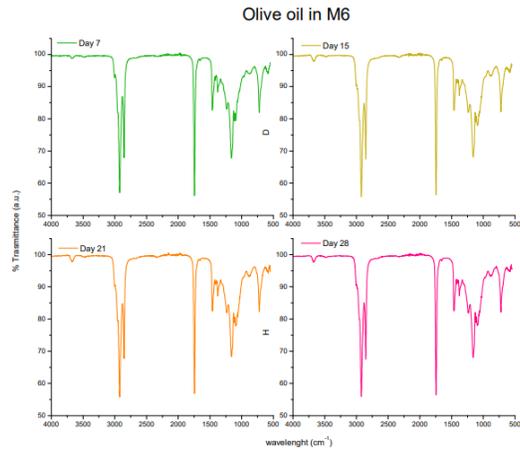


Figura 13 FTIR aceite contenido en M6

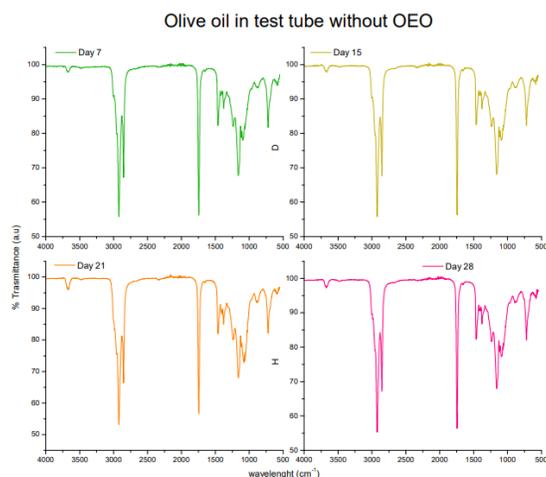


Figura 14 FTIR aceite contenido en probeta control (sin AEO)

De los espectros en las figuras 11, 12, 13 y 14 se destaca la presencia de una banda alrededor de los 3600 cm^{-1} característica de los estiramientos del grupo OH, que conforme aumenta el tiempo de almacenamiento se van haciendo más pronunciados o van decreciendo debido a dos fenómenos: la migración del compuesto activo que contiene grupos hidroxilo y la descomposición del aceite. Esto debido al efecto anti peroxidativo que es directo por donación de hidrógeno a los radicales libres (Ruiz-Moreno, 2013).

Se destaca la presencia de la probeta M2 en la cual se observa un incremento al día 15, por la migración del componente activo para posteriormente disminuir al irse consumiendo los compuestos fenólicos.

En cambio, en la probeta M4 esta banda se observa que desde el día 7 al ser el material con mayor cantidad de AEO sin embargo al día 28 se aprecia un decremento. De manera similar ocurre para la probeta M6 igual en la cual se puede apreciar dicha banda a partir del día 7 pero con menor intensidad que la M4, la cual crece al día 15 y se mantiene constante para los días 21 y 28.

Los compuestos fenólicos o polifenoles son las sustancias que poseen un anillo aromático, unidos a uno o más grupos hidroxilo, incluyendo derivados funcionales (ésteres, glucósidos, etc.)

El efecto antioxidante de los polifenoles se debe a que contienen en su estructura química un número variable de grupos hidroxilo fenólicos, los cuales reaccionan con los radicales libres (Quiñonez-Quispe, 2017).

CAPÍTULO 5

5.1 CONCLUSIONES

De los análisis de coeficiente K232 y K270 se aprecia que la probeta identificada como M2, seguidas por la M4 y el testigo son los que presentan los mayores coeficientes K232 y K270 a los 28 días de almacenamiento, siendo en el caso de la muestra testigo un deterioro propio del aceite y en los casos de las probetas M2 y M4 producto de un exceso de antioxidante migrante del envase al aceite.

Las probetas identificadas como M6 y sin AEO presentaron menores índices de los coeficientes K232 y K270, debido a la migración de compuestos como el glicerol que tienen propiedades antioxidantes y del AEO que tiene probada capacidad antioxidantes y que en el monitoreo de la cinética de degradación evidenció el sostenimiento de estos niveles, por lo que se sugiere realizar monitoreos a tiempos más prolongados para confirmar dicha conducta.

La funcionalización de bioempaques con concentraciones superiores al 3.00% de AEO genera un efecto prooxidante, como se aprecia en las probetas identificadas como M2 y M4, que cuentan con un 3.11 y 3.40% de AEO respectivamente.

El efecto antioxidante del AEO al 2.22% contenido en la probeta identificada como M6, corresponde a un equilibrio entre los fenoles y radicales libres entre los días 21 y 28, tiempo en que se presenta la etapa de iniciación en el proceso de oxidación como se confirma en los espectros infrarrojos.

El aceite almacenado en las diversas probetas estudiadas sufre un proceso de migración tanto de compuestos fenilo propios de los compuestos aromáticos del AEO contenido en los envases, así como de los compuestos OH presentes tanto en estos compuestos como en el agente plastificante empleado el glicerol.

Se acepta la hipótesis ya que el compósito de la mezcla 6 (22.22% PSI, 22.22% MC, 22.22% almidón, 2.22% AEO y 31.11% glicerol) presentó propiedades antioxidantes que prolongaron la vida de anaquel del aceite de oliva un producto rico en lípidos almacenado a condiciones ambientales.

CAPÍTULO 6

6.1 ANEXOS

Tabla 4 Medias de los valores de coeficientes de extinción K232

K 232					
	DÍA 0	DÍA 7	DÍA 15	DÍA 21	DÍA 28
TESTIGO	1.8935 J	2.5209 H	2.1756 H	2.4942 H	4.5811 C
M2	1.8935 J	2.6724 FGH	2.5261 H	2.7487 FGH	6.1294 A
M4	1.8933 J	2.5499 H	2.6472 GH	2.6093 GH	5.4159 B
M6	1.8935 J	2.1756 I	2.8384 EFG	2.9252EF	4.1519 D
SIN AEO	1.8937 J	2.827 EFG	2.5985 GH	3.0292 E	4.1951 D

Tabla 5 Medias de los valores de coeficientes de extinción K270

K 270					
	DÍA 0	DÍA 7	DÍA 15	DÍA 21	DÍA 28
TESTIGO	0.1225 GHI	0.1531 GH	0.1093 HI	0.1434 GH	0.8032 B
M2	0.1225 GHI	0.2470 EF	0.1609 GH	0.1998 EFG	1.2314 A
M4	0.1221 GHI	0.2580 EF	0.3734 D	0.3749 D	1.1688 A
M6	0.1225 GHI	0.0637 I	0.3928 D	0.4213 D	0.7498 B
SIN AEO	0.1229 GHI	0.1863 FGH	0.1831 FGH	0.2753 E	0.5993 C

c

Tabla 6 Medias de los valores de contenido de fenoles

FENOLES					
	DÍA 0	DÍA 7	DÍA 15	DÍA 21	DÍA 28
TESTIGO	0.0208 L	0.0328 KL	0.0617 FGHI	0.0941 BC	0.0532 IJ
M2	0.0208 L	0.0317 KL	0.0692 EFGH	0.0746 EF	0.0448 JK
M4	0.0208 L	0.0560 HIJ	0.0910 CD	0.1065 AB	0.1174 A
M6	0.0208 L	0.0532 IJ	0.0636 FGHI	0.0727 EFG	0.0712 EFG
SIN AEO	0.0208 L	0.0788 DE	0.0341 KL	0.0595 GHI	0.0296 L

CAPÍTULO 7

7.1 BIBLIOGRAFÍA

Acón Chan, Y. (2016) *Evaluación del efecto antioxidante y antimicrobiano del orégano (Origanum vulgare) en polvo y en oleorresina y de la mostaza china (Brassica rapa var. Pekinensis) en polvo, como alternativa natural en productos cárnicos*. Universidad de Costa Rica. Facultad de Ciencias Agroalimentarias. Escuela de tecnología de alimentos.

Ahankari, SS, Subhedar, AR, Bhadauria, SS y Dufresne, A. (2020). *Nanocelulosa en el envasado de alimentos: una revisión*. Polímeros de carbohidratos, 117479. doi: 10.1016 / j.carbpol.2020.117479

Amadio, C.; Medina, R.; Dediol, C.; Zimmermann, M. y Miralles, S. (2011) *Aceite esencial de orégano: un potencial aditivo alimentario*. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, vol. 43, núm. 1, 2011, pp. 237-245 Universidad Nacional de Cuyo Mendoza, Argentina.

Angel-Sánchez, A. M. (2019) *Síntesis, caracterización y optimización de las propiedades mecánicas de un biomaterial activo de tercera generación para el envasado alimentario*. (Tesis de licenciatura) Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila.

Arcila-Lozano, C. ; Loarca-Piña, G.; Lecona-Uribe, S. y González de Mejía, E. (2004) *El orégano: propiedades, composición y actividad biológica de sus componentes*. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. Versión impresa ISSN 0004-0622. ALAN v.54 n.1 Caracas.

Asensio, C. (2013) *Utilización de aceites esenciales de variedades de orégano como conservante antimicrobiano, antioxidante y de las propiedades sensoriales de alimentos: quesos cottage, ricota y aceite de oliva*. Universidad Nacional de Córdoba Facultad de Ciencias Agropecuarias Escuela para Graduados. Córdoba, Argentina

Asgher, M., Ahmad Qamar, S.; Bilal, M. y Iqbal, HMN (2020). *Materiales de envasado de alimentos activos de base biológica: alternativa sostenible a los materiales de envasado convencionales basados en productos petroquímicos*. Internacional de Investigación Alimentaria. 109625. doi: 10.1016 / j.foodres.2020.109625

Bañuelos-Valenzuela, R., Delgadillo-Ruiz, L., Echavarría-Cháirez, F., Delgadillo-Ruiz, O., y Meza-López, C. (2018). *Composición química y FTIR de extractos*

etanólicos de Larrea tridentata, Origanum vulgare, Artemisa ludoviciana y Ruta graveolens. *Agrociencia*, 52(3), 309-321.

Barrón Chacón, R.; D. Alemán Hernández, D.; López Martínez, E. Flores Gallardo, S.; Hernández Escobar, C. y Zaragoza Contreras, E.A. (2017) *Uso de celulosa recuperada para el mejoramiento de las propiedades mecánicas del Polipropileno*. 9° Congreso Internacional de Investigación Científica Multidisciplinaria

Calsin-Cutimbo ,M. ;Aro-Aro ,J. y Tipacti-Vivanco, Z. (2016) *Estabilidad oxidativa del aceite de soya con adición de antioxidante de Isaño (Tropaeolum tuberosum Ruiz & Pavón) durante la fritura de papas*. *Rev. Investig. Altoandin*; Vol 18 N° 4: 395 - 402

Castro-Lopez, M. (2013) *Estudio del comportamiento de antioxidantes naturales adicionados a poliolefinas en aplicaciones industriales*. Universidad de Coruña, España

Chen, L.-Y., Cheng, C.-W., y Liang, J.-Y. (2015) *Efecto de la condensación de esterificación en el método Folin-Ciocalteu para la medición cuantitativa de fenoles totales*. *Química de Alimentos*, 170, 10-15.

Contreras-Camacho, M. (2018) *Empaques activos para conservación de alimentos en base de formulaciones poliméricas*. Universidad Autónoma de Coahuila. Facultad de Ciencias Químicas. Cienciacierta. Revista de divulgación científica.

Delgado, A.; Hernández, A. y Ortiz, D. (2014). *Análisis del Deterioro de Alimentos por Acción Microbiológica y el Efecto del Uso de Preservativos en Productos de Consumo Alimenticio*. Laboratorio de Microbiología Aplicada, Universidad de Puerto Rico en Humacao, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias Naturales.

Delgado A., W. (2004) *¿Por qué se enrancian las grasas y aceites?* Palmas Vol. 25 No. 2 Pág.36. Bogotá, Colombia

Donoso, S. (2014) *Determinación de Deterioro de Lípidos en Alimentos*. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad de Cuenca. Pág 24

Duy-Bao, H. N. y Ohshima, T. (2013). *Estrategias para minimizar el deterioro oxidativo en productos alimenticios acuáticos*. *Oxidación de lípidos*, 345-380.

Elodio-Policarpo, F.; Peñaloza-Herrera, B.; Maldonado-Astudillo, Y; Jiménez-Hernández, J; Flores-Casamayor,V.; Arámbula-Villa, G. y Salazar, R. (2019) *Estabilidad térmica de aceite virgen de coco obtenido de dos cultivares crecidos en Guerrero, México*. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 42 (2): 101 – 109

Escursell S, Llorach P, Roncero MB (2020) Sostenibilidad en los envases de comercio electrónico: una revisión. *Revista Producción más limpia*. Volumen 280 Parte 1, 20 de enero de 2021, 124314

Esposito, S.; Taticchi, A.; Servili, M.; Urbani, S.; Sordini, B.; Veneziani, G.; Daidone, L.; Selvaggini, R.; (2021) *Evolución global de la calidad del aceite de oliva virgen*

extra expuesto a la luz durante 10 meses en diferentes envases. *Química de Alimentos*. Volumen 351, 2021, 129297, ISSN 0308-8146, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129297>.

Fernández- León, D.; Hernández- Uribe, J.; Campos- Montiel, R. y Jiménez- Alvarado, R. (2018) *Empaques activos en la industria de los alimentos*.

Guerberoff, GK y Camusso, CC (2019). *Efecto de la lacasa de *Trametes versicolor* sobre la estabilidad oxidativa de los aceites vegetales comestibles*. *Ciencia de los alimentos y bienestar humano*.

Guerrero, C. (2009) *Inhibición de la actividad enzimática de la polifenoloxidasas extraída del banano (*Cavendish valery*) mediante sistemas bifásicos acuosos con isoespintanol y ácido ascórbico*. Facultad De Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín Pág 19,22 y 23

Hernández-González, M., Ángel-Sánchez, A.M, López-De-La-Peña H.Y., Hernández-Centeno F., y Rodríguez-Hernández A.M. (2019) *Evaluación de la migración de componentes de un bioempaque activo: Polisuccinimida- Aceite esencial de Orégano*. e-Gnosis [online] Vol. 2 (2019). Avances de Investigación en Inocuidad de alimentos

Hernández-González, M., Pérez-Berumen, C. M., Sánchez-Ruiz, H., Ruiz-Salazar, C. V., Hernández-Paz, J. F., Olivas-Armendáriz, I., Rodríguez-González, C. A. (2017). *Polisuccinimida funcionalizada con extractos de aceite esencial de orégano, un biomaterial antimicrobiano de liberación prolongada*. *Cartas de materiales*, 191, 73–76.

Isidro L., A. (2019) *Establecimiento de las condiciones para la obtención de microcelulosa de fibras de lechuguilla (*Agave lechuguilla Tor.*) mediante tratamiento químico-mecánico*. (Tesis de licenciatura) Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila.

Jalalvandi, E. y Shavandi, A. (2018). *Polisuccinimida y sus derivados: polímeros degradables y solubles en agua (revisión)*. *Revista europea de polímeros*.

Ju, J., Chen, X., Xie, Y., Yu, H., Guo, Y., Cheng, Y., & Yao, W. (2019). *Aplicación de aceite esencial como preparación de liberación sostenida en el envasado de alimentos*. *Tendencias en Ciencia y Tecnología de Alimentos*.

Jurado-Teixeira, B.; Aparcana-Ataurima, I. M.; Villarreal-Inca, L. S.; Ramos-Llica, E.; Calixto-Cotos, M.; Hurtado-Manrique, P. E. y Acosta-Alfaro, K. M. (2016). Evaluación del contenido de polifenoles totales y la capacidad antioxidante de los extractos etanólicos de los frutos de aguaymanto (*physalis peruviana* L.) de diferentes lugares del Perú. *Rev Soc Quím Perú*. 82(3) 2016

Kalpana, S., Priyadarshini, SR, Maria Leena, M., Moses, JA y Anandharamkrishnan, C. (2019). *Empaque inteligente: tendencias y aplicaciones en sistemas alimentarios*. Tendencias en Ciencia y Tecnología de Alimentos.

Logan, A. y Fagan, P. (2013). *Estrategias para prevenir el deterioro oxidativo en los sistemas de emulsión de aceite en agua*. Oxidación de lípidos, 457–483.

López-Díaz, A.S.; Ríos-Corripio, M.A.; Ramírez-Corona, N.; López-Malo, A. y Palou, E. (2017) *Efecto de la radiación ultravioleta de onda corta sobre algunas propiedades de películas comestibles elaboradas con jugo de granada y quitosano*. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. Vol. 17, No. 1 (2018) 63-73

Matsakidou, A., Papadopoulou, D., Nenadis, N., y Tsimidou, M. Z. (2020). *Introducción a la cinética de fotooxidación del aceite de oliva virgen (VOO) a través del análisis de correlación 2D generalizado combinado y el análisis de correlación 2D de ventana móvil de espectros ATR-FTIR*. *Talanta*, 120917. doi:10.1016/j.talanta.2020.120917

Medina-Jaramillo, C., Ochoa-Yepes, O., Bernal, C., y Famá, L. (2017). *Envases biodegradables activos e inteligentes a base de almidón y extractos naturales*. *Polímeros de carbohidratos*, 176, 187-194.

Morales-Cepeda, A.; Victoria-Valenzuela; D. Ponce-Medina, M. y Lozano Ramírez, T. (2011) *Materiales reforzados de poliolefinas recicladas y nanofibras de celulosa de henequén*. *Revista Iberoamericana de Polímeros*. Volumen 12(5)

Olmedo R.H.; Nepote V.; Mestrallet M.G. y Grosso N.R (2009) *Aceite esencial de orégano como antioxidante natural para aceite de maní*. *Química Biológica, Facultad de Ciencias Agropecuarias (UNC) – IMBIV-CONICET*

Orrego-Vásquez, S; Tellez, H y Bastidas, Y (2014) *Pardeamiento enzimático*. Politecnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. Facultad de Ciencias Básicas, Sociales y Humanas. Tecnología en Química Industrial y de laboratorio

Pardo, L.; Menéndez, J.; Giraudo, M. (2011) *Envases biodegradables: una necesidad de compromiso*. *Embalaje. La Alimentación Latinoamericana* N. ° 292. Pág 42-44

Paseiro-Losada, P.; Cacho-Palomar, J.; Juárez-Iglesias, M.; Ortega-Hdz, T; Nerín de la Puerta, C. y López-Rdz, R. (2011) *Informe del Comité Científico de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) en relación a los envases activos e inteligentes*. Revista del Comité Científico de la AESAN, ISSN 1885-6586, N° 13, págs. 89-105

Patiño-Rincón, N.; Moreno-Cristancho, H. y Chaparro-González, M. *Efecto de la aplicación de un recubrimiento comestible antimicrobial y antioxidante a partir de aceite de orégano (Origanum vulgare) en la calidad y vida útil de la lechuga (Lactuca sativa L) mínimamente procesada refrigerada*. Ingeniería de alimentos Universidad de la Salle Bogotá-Colombia. Vol 21, No 26 (2012), Revista Alimentos Hoy. Revisado y aceptado en 2010

Paz-Antolín, I. y Molero-Meneses, M. (2000) Aplicación de la espectrofotometría UV-visible al estudio de la estabilidad térmica de aceites vegetales comestibles. *Grasas y Aceites* Vol 51. Fasc. 6, 424-428

Pérez-Arquillué, C.; Juan, T.; Valero, N.; Estopañan, G.; Ariño, A.; Conchello, P. y Herrera, A. (2003) *Estudio de la calidad del aceite de oliva virgen de Aragón*. *Grasa y Aceites* Vol 54. Fasc. 2 (2003), 151-160

Pérez-Gastell, P. y Pérez de Alejo, J. (2000) *Métodos para medir el daño oxidativo*. Trabajos de Revisión. Instituto Superior de Medicina Militar "Dr. Luis Díaz Soto". *Revista Cubana de Medicina Militar*. versión impresa ISSN 0138-6557 versión Online ISSN 1561-3046. Rev Cub Med Mil v.29 n.3 Ciudad de la Habana. Scielo.

Procházková, D.; Boušová, I.; Wilhelmová, N. (2011). *Propiedades antioxidantes y prooxidantes de los flavonoides*. *Fitoterapia* 82(4), 513–523. doi:10.1016/j.fitote.2011.01.018

Proaño-Amaya, E. (2017) *Evaluación de la biodegradabilidad de biopolímeros formulados a partir de ácido poliláctico (PLA) con almidón de: achira, banano y oca*. Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.

Quiñonez-Quispe, S. (2017) *Caracterización y determinación del contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante del fruto de Sanke (Corryocactus brevistylus)*. Repositorio Institucional. (Tesis Licenciatura). Universidad Nacional de Huancavelica.

Riva-Reyes, G.; Navarro-Arzate, F.; López-Dellamary Toral, F.; Robledo-Ortiz, J. y Silva -Guzmán, J.A. (2013) *Elaboración de nanocompuestos de celulosa (ncc) y ácido poliláctico (pla) y estudio de sus propiedades mecánicas*. Departamento de Madera, Celulosa y Papel “Karl Augustin Grellmann”, Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, Universidad de Guadalajara. Memorias del XXXIV Encuentro Nacional y III Congreso Internacional de la AMIDIQ 7 al 10 de mayo de 2013, Mazatlán, Sinaloa, México

Rodríguez-Sauceda, R.; Rojo-Martínez, G.; Martínez-Ruiz, R; Piña-Ruiz, H.; Ramírez-Valverde, B.; Vaquera-Huerta, H.; Cong-Hermida, M. (2014) *Envases inteligentes para la conservación de alimentos* Ra Ximhai, vol. 10, núm. pp. 151-173 Universidad Autónoma Indígena de México El Fuerte, México

Romero-Viloria, P.; Shirley-Marfisi, P.; Oliveros-Rondón, B.; Rojas-de-Gáscue y Peña, G. (2014) *Obtención de celulosa microcristalina a partir de desechos agrícolas del cambur (*Musa sapientum*). síntesis de celulosa microcristalina*. Revista Iberoamericana de Polímeros. Volumen 15(6)

Rueda-Lugo, U.;González-Tenorio, R y Totosaus, A. (2006) *Sustitución de lardo por grasa vegetal en salchichas: incorporación de pasta de aguacate. Efecto de la inhibición del oscurecimiento enzimático sobre el color*. Ciencia y Tecnología de Alimentos. Vol.26 no.2 Campinas

Ruiz-Moreno, M. I. (2013) *Importancia de los grupos hidroxilos en el efecto antioxidante y neuroprotector de algunos derivados de los polifenoles del aceite de oliva*. (Tesis) Universidad de Málaga (España)

Rydz, J., Musioł, M., Zawidlak-Węgrzyńska, B., y Sikorska, W. (2018). *Presente y futuro de polímeros biodegradables para aplicaciones de envasado de alimentos*. Biopolímeros para el diseño de alimentos, 431–467.

Rodríguez-Rivera, R. (2017) *Efecto de la aplicación poscosecha de un recubrimiento natural y aceites esenciales en el sistema antioxidante y metabolismo secundario de aguacate (*Persea americana mill.*, cv. 'hass') orgánico*. Universidad Autónoma de Querétaro Facultad de Química Programa de Posgrado en Alimentos del Centro de la República (PROPAC).

Rover, MR y Brown, RC (2013). *Cuantificación de fenoles totales en bio-aceite utilizando el método Folin-Ciocalteu*. Revista de pirólisis analítica y aplicada, 104, 366–371.

Sahraee, S., Milani, JM, Regenstein, JM y Kafil, HS (2019). *Protección de los alimentos contra el deterioro oxidativo utilizando películas y recubrimientos comestibles: una revisión*. Biociencia de los alimentos, 100451.

Sellés-Marchart, S. (2007) *Pardeamiento enzimático del fruto de níspero (Eriobotrya japonica cv. Algerie): enzimología y fisiología de las polifenol-oxidasas*. Universidad de Alicante. Departamento de agroquímica y bioquímica. Facultad de ciencias. Pág 6-10

Sharma, S.; Barkauskaite,S.; Jaiswal,A. y Jaiswal,S. (2021) *Aceites esenciales como aditivos en envases de alimentos activos*. Química de Alimentos. Volumen 343,2021,128403, ISSN 0308-8146. Recibido 1 Julio 2020, Revisado 30 Agosto 2020, Aceptado 12 Octubre 2020.

Silva-Paccha, E. S. (2021). Revisión bibliográfica sobre la relación entre la presencia de compuestos fenólicos en extractos vegetales y su actividad antioxidante determinada por el método ORAC. [Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de Químico de Alimentos. Carrera de Química de Alimentos]. UCE

Tena, N., Aparicio, R., y García-González, D. L. (2017). *Estudio de estabilidad del aceite de oliva virgen mediante espectroscopia de celdas de malla-FTIR*. Talanta, 167, 453–461. doi:10.1016/j.talanta.2017.02.042

Topuz, F. y Uyar, T. (2019). *Nanofibras electrohiladas antioxidantes, antibacterianas y antimicóticas para aplicaciones de envasado de alimentos*. Food Research International, 108927.

Valdez-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* Universidad Autónoma del Edo. de México. Toluca, Estado de México

Valenzuela V., C y Pérez M, P. (2016) *Actualización en el uso de antioxidantes naturales derivados de frutas y verduras para prolongar la vida útil de la carne y productos cárneos*. Revista chilena de nutrición. Versión On-line ISSN 0717-7518. Chile.

Velazco-de-la-Garza, J.; Avérous, L.; Sosa-Santillán, G.; Pollet, E.; Zugasti-Cruz, A.; Sierra-Rivera, C. A.; Pérez-Aguilar, N. V.; Oyervides-Muñoz, E. (2020). *Propiedades biológicas de nuevos derivados de polisuccinimida sintetizados mediante injerto de amonio cuaternario*. Revista europea de polímeros, 131(), 109705–. doi:10.1016/j.eurpolymj.2020.109705

Yucel, U. (2016). *Embalaje inteligente*. Módulo de Referencia en Ciencia de los Alimentos.

Wagner, C. (2014) *Bioplásticos: Tipos, aplicaciones, toxicidad y regulación de los bioplásticos utilizados en materiales en contacto con alimentos*. Foro de envasado de alimentos

Weber, C.J. (2000). “*Materiales de envasado de base biológica para el estado y las perspectivas de la industria alimentaria*”, una acción concertada europea. KVL.

Wu, G., Chang, C., Hong, C., Zhang, H., Huang, J., Jin, Q. y Wang, X. (2019). *Compuestos fenólicos como estabilizadores de aceites y mecanismos antioxidantes en condiciones de fritura: una revisión exhaustiva*. Tendencias en Ciencia y Tecnología de Alimentos.

Zhang, W.; Zhang ,Y.; Cao, J. y Jiang W. (2021) *Mejorar el rendimiento de las películas de envasado de alimentos comestibles mediante el uso de nanocelulosa como aditivo*. Revista Internacional de Macromoléculas Biológicas. Volumen 166. Pag 288-296, ISSN 0141-8130, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.10.185>

Zhu, Hong-qing; Zhao, Hong-ru; Wei, Hong-yi; Wang, Wei; Wang, Hao-ran; Li, Ke; Lu, Xin-xiao; Tan, Bo (2020). *Investigamos el comportamiento térmico y las microcaracterísticas FTIR del carbón de reoxidación.*, 216(), 354–368. doi:10.1016/j.combustflame.2020.03.007