

Capítulo 3 Envases activos

Chapter 3 Active packaging

MORALES-OLÁN, Gema^{1*} & MORENO-ZARATE, Pedro²

¹*Instituto Politécnico Nacional. Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada*

²*Tecnológico Nacional de México Campus Comalcalco, Tabasco*

ID 1^{er} Autor: *Gema, Morales-Olán* / **ORC ID:** 0000-0002-9839-6896, **CVU CONACYT ID:** 236173

ID 1^{er} Coautor: *Pedro, Moreno-Zarate* / **ORC ID:** 0000-0001-7205-396X, **CVU CONACYT ID:** 160159

DOI: 10.35429/H.2022.1.23.35

G. Morales & P. Moreno

*morales.gema13@gmail.com

L. Ortiz, F. Sandoval, G. Morales y C. Arcila (VV. AA.). *Tecnologías Emergentes Aplicadas en Alimentos. Handbooks-TI-©ECORFAN-Mexico, 2022.*

Abstract

Active packaging is a new generation of packaging that, unlike traditional packaging, allows the preservation of food, not only contains it. Active packaging interacts with the food and the environment and, through different mechanisms, prevents its deterioration. These packages contain substances such as oxides, acids, alcohols, peptides, polyphenols, polysaccharides and fatty acids that can absorb or emit gases, regulate humidity, maintain temperature and act as antioxidants and antimicrobials. Within this group of container, smart packaging and edible coatings can be included. The smart packaging contains sensors that provide information on the presence or absence of a substance and others reflect the temperature, freshness and maturation of the food. The coatings, for their part, act as a barrier to gases and can integrate antioxidant and antimicrobial substances that prevent food deterioration. The purpose of this chapter is to provide a general description of active packaging, briefly explaining the different systems under which they work, the substances and the principles on which they are based, their applications, advantages and disadvantages.

Active packaging, Food packaging, Smart packaging, Food preservation, Edible films

Resumen

Los envases activos son una nueva generación de envases que, a diferencia de los tradicionales, no solo contienen a los alimentos si no que permiten la conservación de estos. Los envases activos interactúan con los alimentos y el medio ambiente y a través de diferentes mecanismos, evitan su deterioro. Estos empaques contienen sustancias como óxidos, ácidos, alcoholes, péptidos, polifenoles, polisacáridos y ácidos grasos que pueden absorber o emitir gases, regular la humedad, mantener la temperatura y actuar como antioxidantes y antimicrobianos. Dentro de este grupo de envases se pueden incluir los envases inteligentes y los recubrimientos comestibles. Los envases inteligentes contienen sensores que brindan información sobre la presencia o ausencia de una sustancia y otros reflejan la temperatura, frescura y maduración del alimento. Los recubrimientos por su parte actúan como una barrera a los gases y pueden integrar sustancias antioxidantes y antimicrobianas que evitan el deterioro de los alimentos. El objetivo de este capítulo es ofrecer una descripción general de los envases activos, explicando brevemente los diferentes sistemas bajo los que funcionan, las sustancias y los principios en los que se basan, sus aplicaciones, ventajas y desventajas.

Envases activos, Empaques inteligentes, Biopelículas comestibles, Conservación de alimentos

3.1 Introducción

Mantener la calidad de los alimentos, conservarlos y asegurar su disponibilidad, ha sido un reto importante para el hombre. La necesidad de conservar los alimentos surgió a partir de la agricultura y a consecuencia del incremento en la producción de los mismos. Las primeras técnicas de conservación fueron el ahumado, la cocción, el secado, la salazón, conservas en aceite, en azúcar y la fermentación, al aumentar la población se desarrollaron nuevas formas, como la refrigeración, la congelación y el envasado.

En las últimas décadas, se ha generado un gran desarrollo tecnológico en el área de los empaques. Los envases pasaron de ser solo contenedores, a ser envases activos e inteligentes. Un envase activo se define como un sistema integrado por el alimento, el envase y el entorno que interactúan de manera conjunta para mejorar la sanidad y la calidad del alimento, aumentando su vida útil (Catalá *et al.*, 2009). Para lograr su objetivo, el empaque interacciona con el alimento y el medio ambiente que lo rodea y mediante diversos mecanismos, lo conserva. Los envases activos contienen sustancias (óxidos, ácidos, alcoholes, péptidos, polifenoles, polisacáridos, ácidos grasos, etc.) que pueden absorber o emitir gases, regular la humedad, mantienen la temperatura y actúan como antioxidantes y antimicrobianos, permitiendo la conservación del alimento.

Dentro de las innovaciones reportadas en el área de los empaques también se encuentran los llamados “envases inteligentes”. Estos incluyen indicadores o sensores que proporcionan información sobre la presencia o ausencia de una sustancia y otros reflejan la temperatura, la frescura y maduración del alimento.

Otros tipos de envases desarrollados actualmente, son las películas y recubrimientos comestibles elaborados a partir de polímeros de origen natural. Estos actúan como una barrera a gases e inhiben el crecimiento de microorganismos, evitando el deterioro del alimento. Con la incorporación de estas películas en el mercado, se ha logrado una disminución en el uso de polímeros sintéticos, los cuales causan graves problemas de contaminación ambiental.

Los empaques activos e inteligentes permiten aumentar la vida útil de los alimentos, mantienen su calidad nutricional, disminuyen su desperdicio, reducen enfermedades transmitidas por los alimentos, muestran fugas presentes en los envases, garantizando así la seguridad alimentaria y en algunos casos apoyan en la disminución de la contaminación ambiental, razón por la cual la industria del empaque tiene gran interés en su desarrollo.

El propósito de este capítulo es proporcionar una descripción general de los envases activos, explicar brevemente los diferentes sistemas bajo los cuales funcionan, las sustancias que utilizan, los principios en los que se basan, sus aplicaciones, ventajas y desventajas.

3.2 Sistemas de los envases activos

Los empaques activos han sido definidos por la Comisión Europea como un tipo de envase que modifica las condiciones dentro del mismo, para extender la vida de anaquel del producto, mejora sus propiedades sensoriales y mantiene su calidad (Vermeiren *et al.*, 1999, Singh *et al.*, 2011). El fundamento de los envases activos para conservar los alimentos se basa en regular los siguientes procesos que se llevan a cabo en los alimentos (Janicki, 2013):

- *Fisiológicos*, por ejemplo, respiración de frutas y verduras frescas;
- *Químicos*, por ejemplo, oxidación de grasas;
- *Físicos*, en el caso del envejecimiento del pan;
- *Microbiológicos*, debido al impacto de los microorganismos;
- *Infeciones* causadas por insectos.

Tomando en cuenta estos procesos, los empaques activos actúan bajo dos sistemas (Wyrwa y Barska, 2017):

- **Sistemas de absorción:** Su función es remover gases o sustancias indeseables como O₂, CO₂, humedad, etileno y contaminantes.
- **Sistemas de emisión:** Esta tecnología libera en el empaque compuestos deseables como antimicrobianos, antioxidantes, enzimas y saborizantes, que evitan o retardan algunas reacciones y mejoran las características sensoriales del alimento.

A continuación se detalla cada uno de los principales sistemas de los envases activos.

3.2.1 Reguladores de oxígeno

Los altos niveles de oxígeno (O₂) en los alimentos pueden facilitar el crecimiento de microorganismos, el desarrollo de sabores y olores desagradables, el cambio de color y las pérdidas nutricionales que provocan reducciones significativas en la vida útil de los alimentos (Li *et al.*, 2013; Hutter *et al.*, 2016; Dey y Neogi, 2019). Los reguladores de oxígeno también llamados como absorbentes de oxígeno buscan disminuir la concentración de este gas, evitando así reacciones químicas como la rancidez oxidativa, la oxidación de pigmentos, el oscurecimiento enzimático y el crecimiento microbiano que ocasionan los cambios físicos descritos anteriormente (Day, 2008).

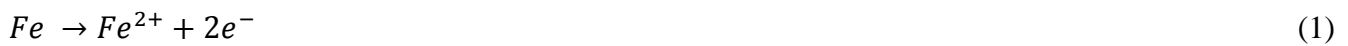
Los absorbentes de O₂ se componen de sustancias fácilmente oxidables que generalmente se colocan en los empaques de los alimentos en sobres. El material con el que están hechos los sobres es altamente permeable al oxígeno y en algunos casos al vapor de agua para asegurar su efectividad (Ozdemir y Floros, 2004). En la Tabla 3.1 se presentan las principales sustancias utilizadas como absorbentes de O₂, su clasificación y modo de acción.

Tabla 3.1 Absorbentes de O₂, clasificación y modo de acción

Modo de acción	Clasificación	Absorbentes de O ₂
Químico	Metálicos	Fierro, cobalto, paladio, platino, sulfato de cobre, carbonato ferroso, nanotubos de óxido de titanio.
	Ácidos orgánicos	Ácido ascórbico y gálico.
	Colorantes fotosensibles	Eosina, curcumina.
	Ácidos grasos	Ácido oleico, linoleico y linolénico.
Enzimático	Oxidasas	Glucosa oxidasa y alcohol oxidasa
Biológico	Bacterias, esporas, levaduras	Bacillus <i>amyloliquefaciens</i> , Kocuria <i>varians</i> y Pichia <i>subpelliculosa</i> .

Fuente de Consulta: Ozdemir y Floros (2004), Day (2008), Yildirim *et al.*, (2018) y Vilela *et al.*, (2018)

Los regulares químicos metálicos de O₂ se basan en el fenómeno de oxidación de las moléculas y los más utilizados son los sobres de fierro. El mecanismo de acción del fierro se representa en la siguiente reacción (Vermeiren *et al.*, 1999):



Estas sustancias químicas generalmente reaccionan con el agua que se encuentra en los alimentos para producir un agente reductor muy reactivo, que elimina el oxígeno dentro del paquete de los alimentos y lo convierte irreversiblemente en un óxido estable (Day, 2008). Recientemente se ha reportado que partículas de fierro en tamaño micrométrico y nanómetro muestran una mejor capacidad de eliminación del oxígeno en los empaques (Foltynowicz *et al.*, 2017).

El ácido ascórbico se utiliza como un agente reductor, el cual puede interactuar con un metal de transición como el cobre, para eliminar el oxígeno. El ácido ascórbico se descompone en ácido deshidroascórbico y el elemento sulfito agrega una molécula de oxígeno para crear un sulfato (Waite, 2003). Por otro lado, el uso de colorantes fotosensibles consiste en impregnarlos sobre una película polimérica, cuando la película es irradiada con luz ultravioleta (UV), el tinte activa el O₂ a su estado singulete, haciendo que la reacción de eliminación de oxígeno sea mucho más rápida (López-Rubio *et al.*, 2004).

En los sistemas enzimáticos, la enzima reacciona con un sustrato para captar el oxígeno. Estos sistemas son más costosos que los sistemas basados en fierro, debido al costo de las enzimas. Además, son muy sensibles a la temperatura, el pH, la actividad del agua y el disolvente/sustrato presente en el sobre donde se adicionan, lo que limita su uso (Ozdemir y Floros, 2004). Los absorbentes de O₂ basados en microorganismos, consisten en inmovilizar al organismo en una cera sólida, parafina o tela. La cera se coloca en el alimento donde al estar en contacto con algunos medios como el agua y el ácido ascórbico se activan los microorganismos, consumiendo oxígeno para su respiración (Dey y Neogi, 2019). Los reguladores de O₂ se utilizan principalmente en productos como pan, pasteles, pizza, pasta, queso, embutidos, pescados, café, cerveza, salsas y bebidas (Haghighi-Manesh y Azizi, 2017).

3.2.2 Reguladores de etileno

El etileno (C₂H₄) es una molécula volátil que actúa como una fitohormona y tiene diferentes efectos fisiológicos en frutas y verduras frescas. Por ejemplo, acelera la respiración, lo que lleva a la madurez, senescencia y ablandamiento de muchos tipos de frutas (Gaikwad, Singh y Negi, 2019). Además, la acumulación de etileno puede causar el color amarillo de las verduras y puede ser responsable de una serie de afectaciones en la postcosecha (Álvarez-Hernández *et al.*, 2018).

Por tal motivo, el control de los niveles de etileno en la atmósfera que rodea a los productos alimenticios frescos durante el traslado, el almacenamiento y su manipulación es de gran importancia para mejorar su calidad y prolongar la vida útil.

Los absorbentes de etileno más utilizados se basan en el uso de permanganato de potasio (KMnO_4), el cual se coloca en matrices inertes como el gel de sílice o alúmina. El KMnO_4 tiene la capacidad de oxidar el etileno a acetato y etanol, produciendo un cambio de color, de púrpura a marrón (Vilela *et al.*, 2018). Los productos a base de KMnO_4 no se pueden integrar en materiales en contacto con alimentos, sino que solo se suministran en forma de bolsitas debido a que el KMnO_4 se considera tóxico (Zagory, 1995).

Otras sustancias utilizadas para la eliminación de etileno son los óxidos metálicos (sílice y alúmina activada), las nanopartículas y el carbón activado (Yildirim *et al.*, 2018; Álvarez-Hernández *et al.*, 2018). Se ha demostrado que los reguladores de etileno son eficaces en el almacenamiento de frutas envasadas como kiwis, bananas, aguacates, manzanas, mangos, tomates, cebollas, zanahorias, entre otros frutos (Sacharow, 1998).

3.2.3 Reguladores y emisores de dióxido de carbono (CO_2)

El CO_2 se forma en algunos alimentos debido al deterioro y a las reacciones respiratorias. Este gas debe extraerse para evitar la alteración de los alimentos y la destrucción del envase (Floros *et al.*, 1997). Sin embargo, los altos niveles de CO_2 también suelen desempeñar un papel beneficioso en el retraso del crecimiento microbiano en las superficies de carnes y aves y en el retraso de la frecuencia respiratoria de frutas y verduras (Ozdemir y Floros, 2004). Por tal motivo, según las características del alimento algunos envases deben tener absorbentes y otros emisores de CO_2 .

Los sistemas reguladores de CO_2 se pueden aplicar en almohadillas, sobres o en etiquetas (Yildirim *et al.*, 2018). Los absorbentes de CO_2 consisten en hidróxidos como: $\text{Ca}(\text{OH})_2$, NaOH , KOH , así como el CaO , el carbón activado y gel de sílice (Ozdemir y Floros, 2004; Day, 2008). La principal aplicación de los sobres absorbentes de CO_2 es en café recién tostado o molido.

Como emisores de CO_2 se han reportado en la literatura sustancias como el carbonato ferroso (FeCO_3), el bicarbonato de sodio (NaHCO_3) y el ácido ascórbico (Yildirim *et al.*, 2018). En innovaciones actuales se propone el uso de un sistema dual que permita la absorción del O_2 y la emisión de CO_2 para aumentar la vida de anaquel de alimentos altamente perecederos. Estos sobres y etiquetas de doble acción suelen contener hierro en polvo para eliminar el O_2 y el $\text{Ca}(\text{OH})_2$, que elimina el CO_2 cuando se convierte en carbonato de calcio (CaCO_3) en condiciones de humedad (Ozdemir y Floros, 2004) o bien pueden contener una mezcla de ácido ascórbico y bicarbonato de sodio (Coma, 2008). Los emisores duales de CO_2 y los absorbentes de O_2 se pueden utilizar en productos de panadería, nueces y papas fritas (Day y Potter, 2011).

3.2.4 Reguladores de la humedad

La humedad se considera una de las principales causas de deterioro de los alimentos. Absorber la humedad mediante el uso de varios absorbentes o desecantes es muy eficaz para mantener la calidad de los alimentos y prolongar la vida útil, al inhibir el crecimiento microbiano y las alteraciones de la textura y el sabor, relacionada con la humedad (Day, 2008).

Los reguladores de humedad se colocan en los alimentos en forma de sobres o bolsas, almohadillas y hojas. Los sistemas de absorción de humedad en forma de bolsitas se utilizan generalmente para crear ambientes con bajos niveles de humedad en paquetes de alimentos secos, como papas fritas, nueces, especias, galletas dulces y saladas, leche en polvo y café instantáneo (Ozdemir y Floros, 2004).

Los desecantes que se están utilizando con éxito son el gel sílice, tamices moleculares (silicatos de sodio, potasio o calcio), óxido de calcio (CaO), arcillas naturales, CaCl_2 , carbón activado y almidones (Vermeiren *et al.*, 1999; Ozdemir y Floros, 2004). El gel de sílice es el desecante más utilizado porque no es tóxico ni corrosivo.

Los tamices moleculares son excelentes absorbentes con una mayor capacidad, en comparación con el gel de sílice y las arcillas, además son capaces de absorber olores. La arcilla es un mineral natural que no se hincha y no se deteriora después de absorber la humedad. Finalmente, se ha reportado que el carbón activado puede eliminar tanto la humedad, como el olor de un paquete (Day y Potter, 2011).

Además de las bolsitas absorbentes de humedad, se fabrican almohadillas y mantas para el control del agua libre en alimentos como carnes, aves y pescados, así como en frutas y verduras. Las almohadillas se componen de dos capas de una película plástica de polietileno o polipropileno y entre ellas se coloca un polímero súper absorbente (sales de poliácrlato, carboximetilcelulosa y copolímeros de almidón). Estos polímeros tienen una afinidad muy fuerte por el agua y pueden absorber hasta 500 veces su propio peso (Reynolds, 2007).

Para seleccionar un absorbente de humedad deben considerarse los siguientes factores (Day y Potter, 2011):

- El tamaño y el peso del producto.
- La vida útil deseada del producto.
- Las diferentes temperaturas y humedades a las que estará expuesto el producto.
- Las tasas de transmisión de vapor de agua del material de embalaje.
- La actividad de agua inicial (A_{w_i}) del producto.
- La sensibilidad del producto a la humedad.

3.2.5 Emisores de agentes antioxidantes

La oxidación de las grasas es una alteración importante que conduce al deterioro de los alimentos. Produce una reducción de la vida útil debido a que genera cambios en el sabor y olor, también afectan la textura y funcionalidad de los alimentos, ocasionando una reducción de la calidad nutricional (Kuai *et al.*, 2021). La oxidación de los alimentos se puede evitar mediante el uso de captadores de oxígeno y agentes antioxidantes en el envase.

Los antioxidantes sintéticos, como el hidroxitolueno butilado (BHT) y el hidroxianisol butilado (BHA) se han utilizado ampliamente en el envasado de alimentos para prevenir la oxidación de lípidos. Sin embargo, se sospecha que son potencialmente dañinos para la salud humana (Nieva-Echevarría *et al.*, 2015), razón por la cual, en la actualidad existe un interés creciente en la inclusión de antioxidantes naturales.

Los antioxidantes naturales que se han incorporado en empaques son compuestos naturales: tocoferol, ácido cafeico, carvacrol, quercetina, catequina, timol, ácido ferúlico, ácido carnósico y ascórbico, extractos de plantas y frutas (té verde, romero, semilla de uva, té verde, orégano, menta y cáscara de granada) y aceites esenciales de hierbas y especias (canela, hierba de limón, clavo, tomillo, jengibre, orégano, pimienta y bergamota) (Vilela *et al.*, 2018).

Los compuestos antioxidantes pueden clasificarse de acuerdo con el mecanismo de acción en: antioxidantes primarios, es decir, eliminadores de radicales libres, y en antioxidantes secundarios que incluyen quelantes de metales, absorbentes de UV, inhibidores de oxígeno y captadores de oxígeno (Islam *et al.*, 2017). La mayoría de los sistemas antioxidantes se fabrican en forma de bolsitas, almohadillas o etiquetas, o bien incorporados en los materiales de envasado monocapa, multicapa, en películas y en recubrimientos (Sanches-Silva *et al.*, 2014).

3.2.6 Emisores de agentes antimicrobianos

Los componentes activos más estudiados son los emisores de compuestos antimicrobianos. El crecimiento de microorganismos que causan deterioro del alimento o que son patógenos, son la principal causa de la pérdida de alimentos (Ahmed y Ikram, 2016). Algunos ejemplos de estos microorganismos son la *Salmonella spp.*, *Listeria monocytogenes*, *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* O157: H7 (microorganismos patógenos); *Pseudomonas*, *Klebsiella*, *Lactobacillus spp.* (bacterias de microorganismos de deterioro); *Rhizopus*, *Aspergillus* (mohos); y *Torulopsis*, *Cándida* (levaduras) (Ahmed y Ikram, 2016; Otoni *et al.*, 2016).

Los agentes antimicrobianos pueden añadirse a los envases en diferentes formas, como por ejemplo (Wyrwa y Barska, 2017):

- Sobres o tapetes con compuestos antimicrobianos volátiles.
- Sustancias activas incrustadas en la estructura del polímero.
- Sustancias activas aplicadas a la superficie del polímero.
- Sustancias activas inmovilizadas en el polímero utilizando enlaces iónicos y covalentes.
- Películas de embalaje que tienen propiedades antimicrobianas (por ejemplo, películas basadas en quitosano).
- Recubrimientos comestibles.

Algunos sistemas de envasado activos antimicrobianos disponibles comercialmente se basan principalmente en plata, zeolita de plata, glucosa oxidasa, triclosán, dióxido de cloro, etanol, natamicina, dióxido de azufre e isotiocianato de alilo y se han utilizado como compuestos activos para carnes envasadas, pan, queso, frutas, verduras y productos de pescado seco (Otoni *et al.*, 2016; Haghghi-Manesh y Azizi, 2017; Yildirim *et al.*, 2018). Las almohadillas absorbentes se utilizan especialmente en productos cárnicos, ya que pueden eliminar el líquido exudado y, a su vez, retrasar el crecimiento microbiano (Otoni *et al.*, 2016).

Otros agentes antimicrobianos que han sido ampliamente descritos en la literatura son óxidos metálicos (TiO₂, ZnO y MgO), aceites esenciales de especies vegetales (tomillo, orégano, pimienta, clavo, toronjil y hojas de ciprés), extractos de plantas (semilla de uva, té verde, granada, acerola, corteza de pino, gayuba, corteza de canela, romero, ajo, orégano, jengibre y salvia), polisacáridos (quitosano), componentes bioactivos puros (timol y carvacrol), péptidos (nisina y lactoferrina), enzimas (peroxidasa y lisozima), agentes sintéticos (sales de amonio cuaternario y ácido etilendiaminotetraacético (EDTA)) y ácidos (benzoico, propiónico y sórbico) (Aziz y Karboune, 2018).

Los nanomateriales antimicrobianos representan un componente cada vez más importante de algunos envases activos para aplicaciones alimentarias. La alta proporción de superficie y la reactividad mejorada de los agentes antimicrobianos de tamaño nanométrico provocan la inactivación de microorganismos de manera más efectiva que sus contrapartes de escala micro o macro (Radusin *et al.*, 2016). Se ha reportado que las nanopartículas pueden ocultar sabores, evitar la descomposición química de los componentes funciones e incluso pueden aumentar la solubilidad de los compuestos bioactivos (de Souza *et al.*, 2022). A pesar de la gran cantidad de estudios reportados en la literatura en esta área, hay pocos estudios que incorporan sistemas alimentarios reales. Las nanopartículas antimicrobianas comúnmente utilizadas son los iones de elementos metálicos (plata, cobre, oro, platino), óxidos metálicos (óxido de zinc, dióxido de titanio, óxido de magnesio) y nanoarcillas (Yildirim *et al.*, 2018).

3.2.7 Emisores y absorbentes de sabores y olores

Los conceptos de envasado activo incluyen la eliminación de aromas y sabores desagradables. Las aplicaciones para eliminar olores indeseables incluyen la eliminación de aminas, producidas debido a la oxidación de alimentos que contienen proteínas como el pescado, la eliminación de aldehídos por oxidación de ácidos grasos en galletas, alimentos fritos y cereales, así como la eliminación de componentes de sabor amargo como limoneno en jugos de frutas (Vermeiren *et al.* 1999). Las sustancias que se han aplicado para eliminar estos olores y sabores son: ácido cítrico, sal ferrosa, carbón activado, el triacetato de celulosa, papel acetilado, arcillas y zeolitas (Day, 2008).

Un ejemplo aplicado para la eliminación de sabores en jugos es el siguiente: en algunas variedades de naranja se generan sabores amargos debido a la limonina que se libera en el jugo después del prensado de la fruta y su posterior pasteurización. Para solucionar este problema se han diseñado empaques que incluyen absorbentes de la limonina como el triacetato de celulosa y el papel acetilado, para el envasado de jugo de naranja (Rooney, 1995), evitando así los sabores desagradables.

Por otro lado, compuestos aromáticos agradables se aplican para enmascarar olores desagradables, sin embargo, actualmente la mayoría de los productos que emiten aromas se aplican en productos plásticos para aplicaciones no alimentarias, ya que en muchas regulaciones alimentarias enmascarar olores debido a la degradación de los alimentos esta prohibido.

3.2.8 Empaques inteligentes: indicadores de temperatura, frescura y maduración

Los dispositivos capaces de identificar, cuantificar y/o informar cambios en la atmósfera dentro del paquete, las temperaturas durante el transporte y el almacenamiento y, la calidad microbiológica de los alimentos son la base de los empaques inteligentes (Azeredo y Correa, 2021). Los indicadores deben activarse fácilmente y mostrar un cambio que sea mensurable e irreversible, los cambios dependientes del tiempo y la temperatura deben ser reproducibles y fácilmente correlacionados con la calidad de los alimentos (Yam *et al.*, 2005). La función inteligente se puede obtener mediante indicadores, sensores y dispositivos que sean capaces de brindar información sobre el sistema de envasado (Realini y Marcos, 2014; Azeredo y Correa, 2021).

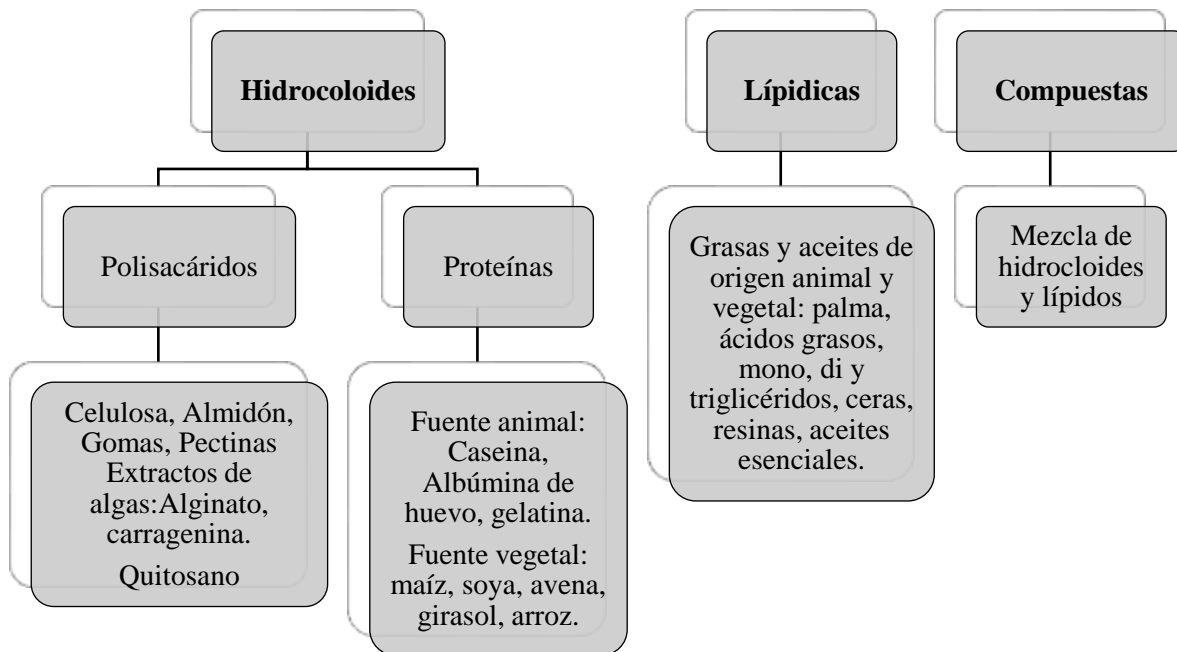
Los indicadores de tiempo-temperatura son de dos tipos: indicadores visuales y etiquetas de identificación por radiofrecuencia (RFID). Los indicadores visuales cambian de color en respuesta a la exposición acumulada a la temperatura. Estos cambios de color se deben a reacciones enzimáticas, polimerización o difusión química. Los indicadores se utilizan para monitorear la exposición a temperaturas inadecuadas durante el transporte y almacenamiento y son también un indicador de calidad para el productor, porque aseguran que el producto llegue al consumidor en óptimas condiciones (Welt *et al.*, 2003).

La etiqueta RFID es una forma avanzada de soporte de datos para la identificación y trazabilidad automática del producto. En un sistema RFID, un lector emite ondas de radio para capturar datos de una etiqueta RFID, y los datos luego se pasan a una computadora para su análisis y toma de decisiones. La etiqueta RFID contiene un minúsculo microchip conectado a una pequeña antena (Prasad y Kochhar, 2014). Los indicadores de tiempo-temperatura para alimentos congelados, refrigerados, envasados en atmósfera modificada y procesados térmicamente están disponibles comercialmente.

Por otro lado, los indicadores de frescura y/o maduración proporcionan una medida del deterioro o pérdida de la frescura de los productos envasados. Se describen como indicadores de diferentes mecanismos de metabolitos volátiles, como el diacetilo, las aminas, el dióxido de carbono, el amoníaco y sulfuro de hidrógeno producidos durante el envejecimiento de los alimentos (Smolander *et al.*, 2002; Nopwinyuwong *et al.*, 2010). Para productos cárnicos, frutas y verduras los cambios en la concentración de sulfuro de hidrógeno o ácidos orgánicos como *n*-butirato, *L*-láctico, *D*-lactato y ácido acético durante el almacenamiento, se utilizan como indicadores (Wanihsuksombat *et al.*, 2010). También los productos formados durante el crecimiento microbiano (dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno) y las aminas biogénicas (putrescina, cadaverina, histamina y otras) tienen un gran uso para indicar la frescura de la carne y el pescado (Kerry *et al.*, 2006; Azeredo y Correa, 2021).

3.2.9 Recubrimientos y películas comestibles.

Las películas y los recubrimientos comestibles son una matriz delgada, biodegradable, los cuales pueden cubrir al alimento o ubicarse entre los componentes de este (Quintero *et al.*, 2010). La diferencia entre las películas y los recubrimientos radica en su método de elaboración. Los recubrimientos se forman directamente sobre la superficie del alimento, mientras que las películas se producen de forma separada y pueden actuar como soporte para la incorporación de sustancias activas (Avila-Sosa y López-Malo, 2008). Las biopelículas y los recubrimientos son envases activos con altas posibilidades de ser comercializados, por su bajo costo de producción y materiales de fácil acceso (Guaña-Escobar, Vaca-Tenorio y Aguilar-Morales, 2022).

Figura 3.1 Clasificación de las películas comestibles con base en su material estructural

Fuente de Consulta: Elaboración Propia

El uso de este tipo de materiales se inició en los siglos XII y XIII cuando se utilizó la cera como un recubrimiento para frutas y aunque en un principio se desconocía el mecanismo de acción para conservarlos, los frutos con recubrimiento de cera podían almacenarse más tiempo que los frutos no encerados, años más tarde, se emplearon parafinas, leche de soya hervida y gelatina (Pavlaty y Orts, 2009). Actualmente, el uso de películas se ha expandido rápidamente en la conservación de productos cárnicos, avícolas y pescados, frescos o congelados, frutas y hortalizas enteras o en trozos, quesos, entre otros.

Las películas y los recubrimientos comestibles pueden ser obtenidos de una variedad de polímeros como polisacáridos, proteínas y lípidos. Con base a su material estructural, se han clasificado en hidrocoloides (polisacáridos y proteínas), lipídicas y compuestas (Mellinas *et al.*, 2016) (Figura 3.1).

Su función principal es actuar como una barrera en la transferencia de gases (O_2 , CO_2 y compuestos volátiles), humedad, luz y nutrientes (Vázquez-Briones y Guerrero-Beltran., 2013). Sin embargo, una ventaja importante es que pueden ser portadores de ingredientes activos como antioxidantes (Morales-Olán *et al.*, 2022), antimicrobianos, saborizantes y colorantes, los cuales le confieren a la película y al recubrimiento una mayor capacidad para conservar y mejorar la calidad del producto (Acevedo *et al.*, 2015; Mellinas *et al.*, 2016).

3.3 Ventajas y desventajas de los empaques activos

El uso de envases activos a diferencia del tradicional resulta ventajoso en muchos aspectos. Su aplicación ayuda a prevenir el desperdicio de alimentos, permite mayores tiempos de transporte y almacenamiento. Sin embargo, el desarrollo de nuevos productos aumenta el riesgo de aparición de nuevos peligros relacionados con los envases, por este motivo, el envasado activo no está exento de desventajas, como los costos elevados de uso y la migración excesiva de productos químicos.

Además, el etiquetado inadecuado representa una amenaza significativa para la seguridad del consumidor. La seguridad de los materiales activos y de los productos destinados a entrar en contacto con alimentos debe estar regulada por la ley. Todos estos productos deben producirse de acuerdo con las buenas prácticas de fabricación.

En la Tabla 3.2 se presentan algunas ventajas y desventajas del uso de los empaques activos.

Tabla 3.2 Ventajas y desventajas de los empaques activos

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> – Pueden controlar las condiciones internas, reaccionando a ellas y emitiendo sustancias benéficas o absorbiendo aquellas que afectan negativamente al producto. – Detectan la presencia de metabolitos de microorganismos como el dióxido de carbono, amoníaco, dióxido de azufre, sulfuro de hidrógeno, etanol y ácidos orgánicos o aminas. – Permiten una vida útil más larga y mantienen el producto intacto, incluidas las propiedades sensoriales de los productos alimenticios. – Mejoran significativamente la seguridad microbiológica de los alimentos. – Pueden reducir el uso de conservantes de alimentos. – Contribuyen a la protección del medio ambiente mediante el uso de soluciones biodegradables y biocompatibles. 	<ul style="list-style-type: none"> – Mayores costos de fabricación. – Algunas sustancias liberadas pueden alterar la composición del alimento. – En caso de daños en el embalaje pueden ocurrir reacciones químicas nocivas. – Algunos de los compuestos químicos, por ejemplo, el dióxido de carbono, pueden ayudar a prolongar la vida útil de la carne, pero afectan negativamente su color, lo que puede tener un impacto negativo en las decisiones del consumidor. – Se pueden utilizar de manera poco ética para la adulteración de alimentos. – Falta de leyes que ayuden a regular su producción y uso.

Fuente de Consulta: Wyrwa y Barska (2017)

3.4 Conclusiones

Los envases activos permiten modificar el medio que rodea al alimento mediante la absorción de las sustancias que causan su deterioro y la liberación de compuestos que evitan cambios en el. Como se describió en el capítulo, las sustancias utilizadas para tal fin son diversas, algunas se han reportado inocuas y otras requieren de control para evitar efectos nocivos en la salud del consumidor.

En los últimos años se ha realizado una amplia investigación en el área de los empaques para alimentos, lo que ha generado una variedad de tecnologías que pueden aplicarse para extender la vida útil de los productos alimenticios. Aunque los empaques activos aún no sustituyen a los envases tradicionales, se espera que las continuas innovaciones conduzcan a mejoras adicionales en la calidad, seguridad y estabilidad de los alimentos.

3.5 Referencias

- Acevedo, A., Salvia, L., Rojas, M., Martín, O. (2015). Edible films from essential-oil-loaded nanoemulsions: physicochemical characterization and antimicrobial properties. *Food Hydrocolloids*, 47,168-177. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.01.032>
- Ahmed, S., and Ikram, S. (2016). Chitosan and gelatin based biodegradable packaging films with UV-light protection. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 163, 115–124. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2016.08.023>
- Álvarez-Hernández, M. H., Artés-Hernández, F., Ávalos-Belmontes, F., Castillo- Campohermoso, M. A., Contreras-Esquivel, J. C., Ventura-Sobrevilla, J. M., *et al.* (2018). Current scenario of adsorbent materials used in ethylene scavenging systems to extend fruit and vegetable postharvest life. *Food and Bioprocess Technology*, 11(3), 511–525. <https://doi.org/10.1007/s11947-018-2076-7>
- Avila-Sosa, R., López-Malo, A. (2008). Aplicacion de sustancias antimicrobianas a películas y recubrimientos comestibles. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 2(2), 4-13. Recuperado de [https://www.udlap.mx/WP/tsia/files/No2-Vol-2/TSIA-2\(2\)- Avila-Sosa-et-al-2008a.pdf](https://www.udlap.mx/WP/tsia/files/No2-Vol-2/TSIA-2(2)-Avila-Sosa-et-al-2008a.pdf)
- Azeredo, H., Correa, D. S. (2021). Smart choices: Mechanisms of intelligent food packaging. *Current Research in Food Science*, 4, 932-936. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.11.016>
- Aziz, M. and Karboune, S. (2018). Natural antimicrobial/antioxidant agents in meat and poultry products as well as fruits and vegetables: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(3), 486-511. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1194256>

- Catalá, R., Hernández P., Gracia, R. (2009). Materiales para el envasado de frutas y Hortalizas con tratamientos mínimos. *Horticultura Internacional*, 69, 60-65. http://www.horticom.com/Revistasonline/extras/extra09/60_65.pdf
- Coma, V. (2008). Bioactive packaging technologies for extended shelf life of meat-based products. *Meat Science*, 78(1–2), 90-103. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.07.035>
- Day, B. P. F. y Potter, L. (2011). Active Packaging. Food and Beverage Packaging Technology, Second Edition. Edited by Richard Coles and Mark Kirwan, Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781444392180.ch9>
- Day, P. F. (2008). Active Packaging of food. Smart Packaging Technologies for Fast Moving Consumer Goods Edited by Joseph Kerry and Paul Butler. John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9780470753699>
- de Souza, A. L., Vieira, M. J. A., e Paiva, M. J. D. A., Bittencourt, M. T., Vieira, É. N. R., & Junior, B. R. D. C. L. (2022). Antimicrobial biodegradable packaging with nanotechnology application. *Research, Society and Development*, 11(8), e3511830406-e3511830406. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i8.30406>
- Dey, A., Neogi, S. (2019). Oxygen scavengers for food packaging applications: A Review. *Trends in Food Science & Technology*, 90, 26-34. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.05.013>
- Floros, J. D., Dock, L. L. and Han, J. H. (1997). Active packaging technologies and applications in Food Cosmetics and Drug Packaging, 20, 10-17.
- Foltynowicz, Z., Bardenshtein, A., Sänglerlaub, S., Antvorskov, H., & Kozak, W. (2017). Nanoscale, zero valent iron particles for application as oxygen scavenger in food packaging. *Food Packaging and Shelf Life*, 11, 74-83. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2017.01.003>
- Gaikwad, K. K., Singh, S., Negi, Y. S. (2019). Ethylene scavengers for active packaging of fresh food produce. *Environmental Chemistry Letters*, 18, 269-284. <https://doi.org/10.1007/s10311-019-00938-1>
- Guaña-Escobar, F., Vaca-Tenorio, M., & Aguilar-Morales, J. (2022). Biopelículas y envases activos, nuevas tecnologías en la industria alimentaria. *FACSALUD-UNEMI*, 6(10), 18-32. <https://doi.org/10.29076/issn.2602-8360vol6iss10.2022pp18-32p>
- Haghighi-Manesh, S. and Azizi, M. H. (2017). Active packaging systems with emphasis on its applications in dairy products. *Journal of Food Process Engineering*, 40, e12542,1-13. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12542>
- Hutter, S., Ruegg, N., Yildirim, S. (2016). Use of palladium based oxygen scavenger to prevent discoloration of ham. *Food Pack Shelf Life*, 8, 56-62. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2016.02.004>
- Islam, R. U., Khan, M. A., & Islam, S. U. (2017). Plant derivatives as promising materials for processing and packaging of meat-based products - focus on antioxidant and antimicrobial effects. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(2), e12862. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12862>
- Janicki, A. (2013). OpakoWania aktyWne i inteligentne [Active and intelligent packaging]. *Systemy Logistyczne Wojsk* 39:81–93. <https://docplayer.pl/55398145-Opakowania-aktywne-i-inteligentne.html>
- Kerry, J. P., O'Grady, M. N. and Hogan, S. A. (2006). Past, current, and potential utilization of active and intelligent packaging systems for meat and muscle-based products: A review. *Meat Science*, 74, 113–130. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.04.024>
- Kuai, L., Liu, F., Chiou, B., Avena-Bustillos, R., McHugh, T. H., Zhong, F. (2021). Controlled release of antioxidants from active food packaging: A review. *Food Hydrocolloids*, 120, 106992. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106992>

- Li, Y. H., Zhang, L. W., Wang, W. J., Han, X. (2013). Differences in particle characteristics and oxidized flavor as affected by heat-related processes of milk powder. *Journal of Dairy Science*, 96(8), 4784-4793.
- López-Rubio, A., Almenar, E., Hernandez-Muñoz, P., Lagarón, J. M., Catalá, R., & Gavara, R. (2004). Overview of Active Polymer-Based Packaging Technologies for Food Applications. *Food Reviews International*, 20(4), 357–387. <https://doi.org/10.1081/FRI-200033462>
- Mellinas, C., Valdés, A., Ramos, M., Burgos, N., Garrigós, C., Jiménez, A. (2016). Active edible films: Current state and future trends. *Journal of Applied Polymer Science*, 133(2), 1-15. <https://doi.org/10.1002/app.42631>
- Morales-Olán, G., Ríos-Corripio, M. A., Hernández-Cázares, A. S. Zaca-Morán, P., Luna-Suárez, S., Rojas-López, M. (2022). Effect of chitosan nanoparticles incorporating antioxidants from *Salvia hispanica* L. on the Amaranth flour films. *Food Technology & Biotechnology*, 60 (1), 52-60. <https://doi.org/10.17113/ftb.60.01.22.7144>
- Nieva-Echevarría, B., Manzanos, M. J., Goicoechea, E., & Guillén, M. D. (2015). 2,6-Di- Tert-Butyl-Hydroxytoluene and its metabolites in foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(1), 67–80. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12121>
- Nopwinyuwong, A., Trevanich, S. and Suppakul, P. (2010). Development of a novel colorimetric indicator label for monitoring freshness of intermediate-moisture dessert spoilage. *Talanta*, 81, 1126-1132. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2010.02.008>
- Otoni, C. G., Espitia, P. J. P., Avena-Bustillos, R. J. and McHugh, T. H. (2016). Trends in antimicrobial food packaging systems: Emitting sachets and absorbent pads. *Food Research International*, 83, 60-73. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.02.018>
- Ozdemir, M. and Floros, J. D. (2004). Active Food Packaging Technologies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44(3), 185-193. <https://doi.org/10.1080/10408690490441578>
- Pavlat, A., Orts, W. (2009). Edible films and coatings: why, what, and how?. In: Embuscado ME, Huber KC, editors. *Edible Films and Coatings for Food Applications*. New York: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-92824-1>
- Prasad, P., Kochhar, A. (2014). Active Packaging in Food Industry: A Review. *Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, 8(5), 1-7. <https://www.iosrjournals.org/iosr-jestft/papers/vol8-issue5/Version-3/A08530107.pdf>
- Quintero, J., Falguera, V., Muñoz, A. (2010). Películas y recubrimientos comestibles: importancia y tendencias recientes en la cadena hortofrutícola. *Revista Tumbaga*, 5, 95-96. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3628239.pdf>
- Radusin, T. I., Ristic, I. S., Pilic, B. M., Novakovic, A. R. (2016). Antimicrobial nanomaterials for food packaging applications. *Food and Feed Research*, 43(2), 119-126. <https://doi.org/10.5937/FFR1602119R>
- Realini, C. E. and Marcos, B. (2014). Active and intelligent packaging systems for a modern society. *Meat Science*, 98(3), 404-419. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.06.031>
- Reynolds, G. (2007). Superabsorbent soaks up packaging problems. *News & Analysis on the Bakery and Snacks Industries*. Recuperado de <https://www.bakeryandsnacks.com/Article/2007/01/18/Superabsorbent-soaks-up-packaging-problems>
- Rooney, M. L. (1995). *Active Food Packaging*. Chapman & Hall, London, UK. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2175-4>
- Sacharow, S. (1998). Freshness enhancers: The control in controlled atmosphere packaging. *Prepared Foods*, 157(5), 121–122. https://jglobal.jst.go.jp/en/detail?JGLOBAL_ID=200902020556280293

- Sanches-Silva, A., Costa, D., Albuquerque, T. G., Buonocore, G. G., Ramos, F., Castilho, M. C., *et al.* (2014). Trends in the use of natural antioxidants in active food packaging: A review. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 31(3), 374-395. <https://doi.org/10.1080/19440049.2013.879215>
- Singh, P., Abas Wani, A., & Saengerlaub, S. (2011). Active packaging of food products: recent trends. *Nutrition & Food Science*, 41(4), 249-260. <https://doi.org/10.1108/00346651111151384>
- Smolander, M., Hurme, E., Latva-Kala, K., Louma, T., Alakomi, H. and Ahvenainen, R. (2002). Myoglobin-based indicators for the evaluation of freshness of unmarinated broiler cuts. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 3, 279-288. [https://doi.org/10.1016/S1466-8564\(02\)00043-7](https://doi.org/10.1016/S1466-8564(02)00043-7)
- Vázquez-Briones, M. C., Guerrero-Beltrán, J. A. (2013). Recubrimientos de frutas con biopelículas. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 7(2), 9. https://nanopdf.com/download/recubrimientos-de-frutas-con-biopelículas_pdf
- Vermeiren, L., Devlieghere, F., Van Beest, M., de Kruijf, N., Debevere, J. (1999). Developments in the active packaging of foods. *Trends in Food Science & Technology*, 10, 77-86. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224499000321?via%3Dihub> [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(99\)00032-1](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(99)00032-1)
- Vilela, C., Kurek, M., Hayouka, Z., Röcker, B., Yildirim, S., Antunes, M. D. C., Nilsen-Nygaard, J., Kavalvag, M., Freire, C. S. R. (2018). A concise guide to active agents for active food packaging. *Trends in Food Science & Technology*, 80, 212-222. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.08.006>
- Waite, N. (2003). Active Packaging. PIRA International, Leatherhead.
- Wanihsuksombat, C., Hongtrakul, V. and Suppakul, P. (2010). Development and characterization of a prototype of a lactic acid-based time-temperature indicator for monitoring food product quality. *Journal of Food Engineering*, 100, 427-434. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.04.027>
- Welt, B. A., Sage, D. S. and Berger, K. L. (2003). Performance specification of time-temperature integrators designed to protect against botulism in refrigerated fresh foods. *Journal of Food Science*, 68, 2-9. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb14105>
- Wyrwa, J., & Barska, A. (2017). Innovations in the food packaging market: active packaging. *European Food Research and Technology*, 243(10), 1681-1692. <https://doi.org/10.1007/s00217-017-2878-2>
- Yam, K. L., Takhistov, P. T. and Miltz, J. (2005). Intelligent packaging: concepts and applications. *Journal of Food Science*, 70(3), R1-R10. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb09052.x>
- Yildirim, S., Röcker, B., Pettersen, M. K., Nilsen-Nygaard, J., Ayhan, Z., Rutkaite, R., *et al.* (2018). Active packaging applications for food. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17, 165-199. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12322>
- Zagory, D. (1995). Ethylene-removing packaging. In: Active Food Packaging. Ed., Rooney, M.L. Blackie Academic and Professional, London. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2175-4_2