

## **Empaques activos para conservación de alimentos en base de formulaciones poliméricas**

### **Polymer-based active packaging to preserve food quality**

\*Contreras-Camacho Monica E.  
Universidad Autónoma de Coahuila.  
Facultad de Ciencias Químicas.  
Boulevard Venustiano Carranza S/N Col. República  
C.P 25280; Saltillo, Coahuila, México.

\*Autor de correspondencia: [monica.camacho@uadec.edu.mx](mailto:monica.camacho@uadec.edu.mx)

#### **Resumen**

En este análisis bibliográfico se llevó a cabo la recopilación de información sobre los llamados empaques activos y el análisis de estudios relacionados con la conservación, seguridad y vida útil de los alimentos. Se abordan estudios sobre el desarrollo de empaques basados en la incorporación de aditivos en la matriz polimérica, así como en las tradicionales llamadas almohadillas, atendiendo a los factores más importantes sobre la vida útil de los alimentos, como lo son calidad y actividad antimicrobiana. Encontrando que el empleo de polímeros para empaque de alimentos sigue siendo la opción que satisface mejor algunos factores de control, como lo son las barreras al medio ambiente. Se destaca la innovación de empaques antimicrobianos, esto con incorporación de aditivos en la matriz polimérica, los cuales se encuentran en desarrollo potencial por la gran eficiencia que han demostrado, al permitir mejoras en la calidad del producto e inhibición de crecimiento microbiano. Por otro lado, las tradicionales almohadillas para la preservación de alimentos e inhibición de microorganismos han venido evolucionando con ayuda de materiales plásticos brindando propiedades de liberación controlada de ciertas sustancias que mejoran las propiedades de integridad y conservación del producto.

**Palabras claves:** *polímero, empaque, vida de anaquel.*

#### **Abstract**

In this bibliographical analysis, the gathering of information about the so-called active packages and the analysis of studies related to the conservation, safety and useful life of the food was carried out. Studies on the development of packaging based on the incorporation of additives in the polymeric matrix, as well as the traditional pads,

attending the most important factors on the shelf life of foods, such as quality and antimicrobial activity. Finding that the use of polymers for food packaging is still the option that best satisfies some control factors, such as environmental barriers. The innovation of antimicrobial packaging stands out, this with incorporation of additives in the polymeric matrix, which are in potential development due to the great efficiency they have shown, by allowing improvements in product quality and inhibition of microbial growth. On the other hand, the traditional pads for the preservation of food and inhibition of microorganisms have been evolving with the help of plastic materials providing controlled release properties of certain substances that improve the integrity and preservation properties of the product.

**Keywords:** polymer, packaging, shelf life.

### **Introducción**

Actualmente, el envasado activo para el empaqueo de alimentos ha recibido gran interés, debido a la creciente demanda de alimentos con mayor calidad.

Esto debido a que el empaqueo comercial en el mercado, por sí solo no brinda más allá de seguridad física para el alimento, dejando de lado importantes factores que lo llevan a su descomposición prematura, como la existencia de microorganismo por humedad, la maduración de frutos y verduras por producción de etileno, además, estos empaques no garantizan la calidad y seguridad del producto para considerarse consumible.

El reporte de mermas de alimentos de esta índole es alarmante, y esto conlleva a pérdidas económicas en gran magnitud, por factores que van desde fragilidad del empaque, tiempos de transportación y sistemas permeables a condiciones ambientales, como lo son, la humedad, el oxígeno, los microorganismos, y otros, los cuales presentan un gran impacto sobre el producto, teniendo en alerta sobre todo a comerciantes y posteriormente a consumidores.

Debido a lo antes mencionado, los trabajos de investigación y desarrollo se orientan en mejoras en sistemas de envasado o empaque que brinden un mejor mantenimiento del producto con la mayor seguridad alimentaria, conservación de propiedades nutritivas y sobre todo la posibilidad de alargar la vida útil del alimento.

Es aquí donde el empaque activo es utilizado como alternativa para satisfacer las necesidades de calidad en los alimentos. Un envase/empaque activo es aquel que protege el alimento, desempeñando un papel importante en la prolongación de la vida útil de los alimentos y reducción del riesgo de patógenos. En términos específicos se

define "empaque activo" como el sistema donde un fenómeno físico-químico permite neutralizar de manera efectiva el efecto dañino de alguna sustancia indeseable sobre el alimento, como la concentración de oxígeno, humedad, dióxido de carbono, otros gases y microorganismos en la pared del empaque y/o en el interior del mismo. Estos sistemas monitorizan las condiciones del producto asegurando la calidad, seguridad e inocuidad del alimento.

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 fabricación de estos empaques se lleva a cabo en base a polímeros hidrocarburoados, los cuales son de estructura y composición química variables, este material tiene buenas características que brindan protección frente a insectos y microorganismos, además, de su capacidad de amortiguación.

Entre los polímeros con capacidad de mejoramiento de estas propiedades se encuentran principalmente: el polietileno (PE), copolímeros de etilvinilacetato (EVA) y lámina de tereftalato de polietileno (PET), entre otros.

Otras características importantes de estos polímeros es que, son versátiles, de bajo costo, de fácil manejo, poseen alta productividad y alta estabilidad, las cuales son aprovechadas para el desarrollo e innovación de nuevos materiales, que utilizan aditivos o agentes, para lograr mejoras en propiedades mecánicas que refuerzan el sistema.

Sin embargo, aún se demanda la innovación de empaques "activos" que brinden además de seguridad y protección, *propiedades de barreras selectivas*, ya sea frente a oxígeno, humedad, temperatura y que además controlen automáticamente los niveles de éstos para brindar mayor calidad y frescura del producto evitando pérdidas económicas por merma de este.

El propósito de esta investigación es la revisión del estado del arte de empaques activos a base de polímeros, con la finalidad de aumentar la vida de anaquel de alimentos frescos, la seguridad alimentaria y conservación de sus propiedades nutritivas.

### **Antecedentes**

Desde el comienzo de este milenio, se han dado a conocer innovaciones en sistemas de envasado de alimentos, que han evolucionado como respuesta a cambios en tendencias del mercado y preferencias de los consumidores por productos con la mejor calidad (Ahmed et al., 2017).

En las últimas décadas, el uso de polímeros como materiales de envasado de alimentos ha estado en constante evolución debido a los retos que demanda la sociedad, además a las ventajas sobre otros materiales tradicionales como la hojalata o el vidrio. Sin embargo, la principal desventaja de los polímeros en el envasado de alimentos es que casi todos estos son permeables al transporte de gases y moléculas de bajo peso molecular (López et al. 2004).

Por lo que se han venido innovando estrategias para mejorar la calidad del empaque y de esta manera también la preservación de la calidad del producto envasado, mejor conocido como tecnologías de envasado activo, cuya función es la de retención y liberación de sustancias, entre otros (López et al. 2004).

Las sustancias responsables de estas funciones pueden estar colocadas en un contenedor separado, por ejemplo, en un pequeño sobre de papel (Restuccia et al., 2010). O bien, estas sustancias pueden formar parte de la matriz del empaque, como un solo sistema, siendo esto posible, ya que los plásticos tienen propiedades especiales que han dado indicio a ser vehículos eficientes para explotar y mejorar las características del envasado, a las que han llamado *Tecnologías de plásticos activos*. También se conoce el fenómeno de difusión en estructuras poliméricas, relacionado directamente con la permeabilidad, que es una atractiva base para el desarrollo de estos "Plásticos activos". Esta alternativa, aún en proceso de estudio, comprende la incorporación de sustancias activas en la pared del material del empaque.

Los polímeros son materiales perfectos para este tipo de tecnología, no solo como vehículos del principio activo, si no, también como parte activa del principio activo, considerando el tipo de alimento al que está destinado (López et al., 2004).

Esta consideración se toma en cuenta debido a que en este tipo de sistema, los agentes activos se consideran constituyentes del material en contacto con alimentos (López et al., 2004). Por lo que es necesario mantener el contenido lo más inerte posible, es decir, la mínima interacción entre alimentos y el empaque, independientemente de que las sustancias se encuentren en el empaque como un sistema alternativo o directamente incorporado (Restuccia et al., 2010).

Algunos de los componentes para aplicaciones comerciales de los empaques activos son: sustancias antimicrobianas, antioxidantes, eliminadores o absorbentes de oxígeno ( $O_2$ ), liberadores de sabor y absorbentes, entre otros, que en su mayoría son adicionados por separado en el sistema de empaque dependiendo de su aplicación, aumentando así la vida útil del producto, cumpliendo una función de retardar el deterioro químico, microbiano y oxidativo, preservando así la integridad del producto contenido (Ahmed et al., 20017).

Algunos de los factores que afectan a los alimentos empacados y su vida útil son (López et al., 2004):

- La presencia de  $O_2$ , el cual desencadena deterioros de los alimentos y crecimiento microbiano, como hongos y levaduras.
- El dióxido de carbono ( $CO_2$ ) ejerce un efecto inhibitor microbiológico, sin embargo, en exceso puede afectar negativamente al producto.
- El gas etileno ( $CH_2-CH_2$ ) actúa como una hormona vegetal, normalmente producido por frutas y verduras en un proceso natural de maduración.
- Otro factor importante reportado es la humedad, este factor ambiental propio de los alimentos es una de las principales causas del deterioro de los alimentos, ya que provoca crecimiento microbiano (Biji et al., 2015).

Cabe destacar que la aplicación comercial más exitosa de los empaques ha sido, precisamente, el envasado antimicrobiano, donde son colocados sobres o almohadillas como adjuntos sueltos o al interior del envasado (Appendini y Hotchkis, 2002). Estos sobres interactúan con los alimentos para reducir, retardar o incluso inhibir el deterioro del producto y los microorganismos patógenos (Sauceda et al., 2014).

Existen varias clasificaciones de empaques, según su función (Sauceda et al., 2014):

- Pasivos o tradicionales (Barrera inerte) y Funcionales
- Inteligentes (Información y registro)
- Activos (neutraliza deterioro)
- Atmósfera Modificada (MAP)
- Películas y recubrimientos comestibles.

En este tipo de empaques activos predominan tres formas: absorbentes de oxígeno, absorbentes de humedad y generadores de vapor de etanol (Appendini y Hotchkis, 2002).

Otra de las clasificaciones es básicamente, la existencia de dos tipos de empaque: uno basado en la medición del estado del empaque en el exterior, y otro encargado de medir directamente la calidad del producto, es decir, dentro del empaque, en este caso, como ya se mencionó hay contacto directo con los alimentos y existe la necesidad de un marcador indicativo de la calidad y/o seguridad de los alimentos envasados (Restuccia et al., 2010).

Los sistemas de envasado innovadores más importantes utilizados en la industria alimentaria se describen en la Tabla 1.

En el caso específico de los frutos, se ha reportado la comparación de dos métodos de empackado para el mantenimiento de la calidad de la uva y la prevención de su descomposición (Lichter et al., 2008). Utilizaron tres muestras de uvas, dos de las cuales fueron empackadas en cajas de plástico y una en cajas de cartón. Usaron dos técnicas de empackado. Una fue empackar las uvas con una almohadilla generadora de dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), dentro de una caja con un forro de plástico perforado y posteriormente enfriarlas. La otra fue colocar el pallet, lo enfriaron y lo envolvieron con una película de polietileno de baja densidad, con el fondo abierto. Así mismo, el acomodo de empackaje se dividió en dos: 1) los racimos se colocaron en cajas con revestimientos de polipropileno de alta densidad con una ventilación (orificios) con una almohadilla generadora de  $\text{SO}_2$  en la parte superior de los racimos; y 2) una unidad de tres o cuatro cajas de plástico apiladas de racimos de uvas, denominada "mini paleta" (MP), con una almohadilla generadora de  $\text{SO}_2$ . Las MP fueron enfriadas y envueltas enrollando una película de polietileno lineal de baja densidad (LLDPE) alrededor del MP, la parte superior del MP fue cubierta con una lámina de polietileno de alta densidad, la parte inferior del MP se dejó sin envolver, las almohadillas generadoras de  $\text{SO}_2$  usadas en este estudio fueron: 1) una almohadilla DR hecha de capas de papel; y 2) una almohadilla laminada (LM) con un revestimiento de plástico. Se hicieron comparaciones entre dos almohadillas en un revestimiento (designado revestimiento LM y DR) y dos almohadillas en el "mini-pallet" (designado LM-MP y DR-MP). Los resultados que obtuvieron fueron que los pedicelos y algunas veces el raquis, mostraron más desecación en los revestimientos que en los pallets envueltos. La prevención de la descomposición también fue mejor con los pallets envueltos que con el almacenamiento en revestimientos, con respecto a las pruebas en cajas plásticas. En el experimento con cajas de cartón, encontraron que, en las cajas envueltas externamente, disminuyeron los niveles de  $\text{SO}_2$  y que las uvas desarrollan mayor desintegración y desecación del raquis que en los revestimientos dentro de las cajas de cartón (Lichter et al., 2008).

Por otro lado, existe también el uso de otro tipo de materiales para la conservación de alimentos y la prevención de contaminación por microorganismos como lo son los llamados nanomateriales. La urgencia de prevenir enfermedades transmitidas por los alimentos impulso el desarrollo del empaque antimicrobiano de alimentos, un empaque especial que liberara sustancias biocidas activas para prevenir crecimiento de microorganismos en los alimentos. El empackado con nanopartículas de metal y óxido de metal soporta condiciones de procesamiento más severas y ofrece un mayor control microbiano, ya que los materiales antimicrobianos orgánicos son poco estables a altas temperaturas. Entre los nanomateriales metálicos se encuentran las nanoparticulas de plata (AgNPs) que han demostrado tener propiedades bactericidas más efectivas contra una amplia gama de microorganismos patógenos, incluidas bacterias, levaduras, hongos y virus (Carbone et al., 2016).

**Tabla 1.** Sistemas de envasado activo comercialmente disponibles (López et al., 2004).

Nombre comercial	Principio	Tipo
Eterno	A base de hierro	Eliminador de oxígeno
Freshmax, Freshpax, Paquete Fresco	A base de hierro	Eliminador de oxígeno
Cero 2	Tinte fotosensible	Eliminador de oxígeno
Bioka	A base de enzimas	Eliminador de oxígeno
Dri-Loc®	Almohadilla absorbente	Absorbente de humedad
Tenderpac®	Sistema de doble compartimento	Absorbente de humedad
Biomaster®	Basado en plata	Empaque antimicrobiano
Agion®	Basado en plata	Empaque antimicrobiano
SANICO®	Recubrimiento antimicótico	Entrelazadores



Neupalon	Carbón activado	Limpiador de etileno
Pico fresco	Arcilla activada	Limpiador de etileno
Evert-Fresh	Zeolitas activadas	Limpiador de etileno

Así mismo, se ha reportado la incorporación de nanopartículas de plata (AgNPs) en una matriz de hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC), para obtener películas con aplicaciones como materiales de envasado de alimentos. En este trabajo se analizaron las propiedades mecánicas y de barrera de vapor de agua, variando el tamaño de nanopartícula de plata. Observaron mejores resultados en las películas de tamaño promedio de (41 nm). La importancia de la incorporación de nanopartículas de Ag fue la inhibición microbiana y el aumento de la resistencia mecánica, debido a la incorporación de las nanopartículas en la matriz polimérica. El estudio de las propiedades antibacterianas de las películas se basó en el uso de bacterias de *Escherichia coli* (*E. coli*) y *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*), ya que éstas son las más comunes en los alimentos, revelando una mayor eficacia bactericida en las películas con nanopartículas de Ag con un tamaño de 41 nm (Moura et al., 2012).

En el campo de los empaques activos también han atraído gran interés los nanomateriales debido a su potencial impacto en una amplia gama de industrias y mercados. Las nanopartículas de TiO<sub>2</sub> (Nano-TiO<sub>2</sub>) tienen la capacidad de oxidar etileno en H<sub>2</sub>O y CO<sub>2</sub> (Yang et al., 2010).

Se ha reportado la síntesis de nano-empaques (así denominado por los autores) utilizando una mezcla de polietileno de baja densidad (LDPE) con nano polvo (nano-Ag, caolín, TiO<sub>2</sub> en fase anatasa, y rutilo) y la muestra control de LDPE sin nanopartículas. Las mejoras de este material fueron: menor humedad relativa, menor tasa de transmisión de oxígeno y alta resistencia longitudinal. Además, se evaluó su efecto sobre la conservación y calidad de los frutos de fresa almacenados a 4°C en comparación con la muestra control - en este caso LDPE (bolsas de polietileno). Los resultados mostraron que la fresa con el nanoempaque redujo las tasas de descomposición de la fruta, se inhibió el aumento y la producción de antocianina y malondialdehído (MDA), se mantuvo más ácido ascórbico el cual es bueno para mantener libre de microorganismos el fruto. En general este material fue capaz de mantener la calidad sensorial,



fisicoquímica y fisiológica de las frutas de fresa hasta el 6to día, superior en comparación al empaque convencional el cual mostro descomposición al 1er día (Yang et al., 2010).

Sin embargo, por el lado ambiental, los polímeros utilizados principalmente en este campo provienen de fuentes no renovables y, por lo tanto, están asociados con problemas de contaminación. Por esto, 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 empaque. Entre ellos, el almidón ha sido considerado como uno de los candidatos más prometedores para futuros materiales debido a su bajo precio, abundancia y comportamiento termoplástico (Piñeros et al., 2016). Los agentes antimicrobianos naturales en la industria alimentaria han tenido gran auge en las innovaciones en el envasado de alimentos, también centrándose en la incorporación de estos aditivos activos en matrices poliméricas con el fin de prolongar la vida útil de los alimentos (Santos et al., 2017).

Debido a esto, en los últimos años, se han investigado fuentes alternativas de antimicrobianos, como los extractos y aceites esenciales derivados de plantas, como canela (*Cinnamomum zeylanicum* Blume), romero (*Rosmarinus officinalis* L.), hinojo dulce (*Foeniculum vulgare* var) y orégano (*Origanum vulgare* L.), los cuales se han incorporado con éxito en matrices poliméricas (Santos et al., 2017).

Así mismo, se ha reportado la elaboración de las llamadas películas activas comestibles basadas en almidón de yuca, glicerol y polifenoles naturales extraídos de hojas secas de romero a través de dos métodos de extracción: uno en agua y otro en etanol, para inhibición de microorganismos. Los resultados que se obtuvieron fueron que a medida que aumenta la concentración del extracto de romero, las películas mostraban un aumento tanto en el contenido de polifenoles como en la actividad antioxidante, manteniendo, así, por mayor tiempo la vida útil del fruto. Además, la incorporación del extracto de romero en las películas de almidón de yuca plastificadas con glicerol mejoró las propiedades de bloqueo de UV, así, como provocó el aumento en la resistencia a ruptura. Estas películas activas mostraron que después de 14 días de compostaje eran biodegradables (Piñeros et al., 2016).

Se cuentan con reportes, donde se ha trabajado con productos naturales, con la elaboración de películas indicadoras de pH colorimétricas para empaque de alimentos utilizando principalmente materiales biodegradables, como agar (AG) y tintes naturales, almidón de papa (PS). Estos materiales presentan nula toxicidad tanto el almidón de papa como agar - matrices sólidas utilizadas para inmovilizar tintes naturales (antocianinas). Estos dos materiales fueron utilizados para inmovilizar antocianinas

extraídas de batatas púrpuras, *Ipomoea batatas*, para usarse como colorantes naturales. El análisis se llevó en base a la comparación entre soluciones de extracto de antocianinas y películas conformadas de almidón de papa/ agar con antocianinas. Como resultados, obtuvieron, que en las soluciones de extracto de antocianinas los valores de pH fueron de 2 a 10, virando de color rojo a pH menor a 4, rojo-purpura y azul en pH de 5-8 y verde en un rango de 7-10. Las variaciones de color de las películas indicadoras de pH se midieron mediante un colorímetro usando soluciones buffer. Los resultados arrojados concordaron con los obtenidos en UV en las soluciones de extracto de antocianinas. Una vez obtenidos los resultados colorimétricos, la película se aplicó a prueba como sensor del deterioro de carne de cerdo, en la cual se evidenciaron cambios de color de rojo a verde (aumento del pH de 2.0 a 10.0) apuntando al deterioro de las muestras de carne (Choi et al., 2017).

### **Conclusiones**

Se llevó a cabo el análisis de estudios sobre el empaqueo de alimentos acentuando el tema en el aumento de vida de anaquel de los mismos.

En la bibliografía revisada, en general se siguen estudiando las tradicionales almohadillas, los cuales siguen siendo utilizadas para la liberación y control de sustancias inhibitoras de microorganismos. Por otro lado, se demostró que la actual tendencia de incorporación de aditivos, tales como agentes antimicrobianos en la matriz polimérica (empaque), es posible y verdaderamente efectiva mostrando resultados satisfactorios. Así también, se ha demostrado que es más factible el uso de empaques plásticos los cuales han venido a sustituir las cajas de cartón utilizadas para el empaqueo de alimentos. Así mismo, se realizó la revisión del uso de aditivos naturales, como lo son los aceites, y otro tipo de aditivos como componentes metálicos, que mostraron ser efectivos contra microorganismos.

Sin embargo, aun en algunas de estas técnicas el coste de aplicación es elevado, como el uso de metales, por lo que no es factible para uso comercial, además, de la preocupación sobre los riesgos asociados con la posible migración de éstos a los alimentos y bebidas, para el consumo humano.

En base al estudio de revisión bibliográfica, se muestra claramente que la elaboración, mejora e innovación de nuevas tecnologías a partir de polímeros naturales y sistemas adicionales al empaque, aún está en auge y con gran potencial de desarrollo, para mejorar el coste-beneficio. Otra opción viable es la innovación de película antimicrobianas con barreras a distintos factores en las cuales se incorporan aditivos de bajo coste al alcance del consumidor.

### **Agradecimientos**

Este artículo fue realizado con éxito gracias a la colaboración, esfuerzo y dedicación de los asesores, Doctora Adalí Oliva Castañedo Facio y al Doctor Felipe Avalos Belmontes, encargados de la revisión de éste, así mismo, al posgrado en Ciencia y Tecnología de Materiales, a la Universidad Autónoma de Coahuila. Los autores agradecen al CONACYT por la beca otorgada No. (712426).

### **Referencias bibliográficas**

Ahmed, I., Lin, H., Zou, L., Brody, A., Li, Z., Ihsan, M., Tushar, Q., Pavase, R., Liangtao, L. (2017). A comprehensive review on the application of active packaging technologies to muscle foods. *Food Control*, 82: 163-178. [Doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.06.009](https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.06.009)

Appendini, P., Hotchkis, J. (2002). Review of antimicrobial food packaging. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 3: 113-126. [Doi.org/10.1016/S1466-8564\(02\)00012-7](https://doi.org/10.1016/S1466-8564(02)00012-7)

Biji, B., Ravishankar, C., Mohan, C., Srinivasa, TK. (2015). Smart packaging systems for food applications: a review. *J Food Sci Technol*, 10: 6125-6135. [Doi.org/10.1007/s13197-015-1766-7](https://doi.org/10.1007/s13197-015-1766-7)

Carbone, M., Donia, D., Sabbatella, G., Antiochia, R. (2016). Silver nanoparticles in polymeric matrices for fresh food packaging. *Journal of King Saud University - Science*, 28: 273-279. [Doi.org/10.1016/j.jksus.2016.05.004](https://doi.org/10.1016/j.jksus.2016.05.004)

Choi, I., Lee, J., Lacroix, M., Han, J. (2017). Intelligent pH indicator film composed of agar/potato starch and anthocyanin extracts from purple sweet potato. *Food Chemistry*, 218: 122-128. [Doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.050](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.050)

Lichter, A., Zutahy, Y., Kaplunov, T., Lurie, S. (2008). Evaluation of Table Grape Storage in Boxes with Sulfur Dioxide-releasing Pads with Either an Internal Plastic Liner or External Wrap. *HortTechnology*, 18: 206-214. <http://horttech.ashspublications.org/content/18/2/206.full>

López, A., Almenar, E., Hernandez, P., Lagarón, J., Catalá, R., Gavara, R. (2004). Overview of Active Polymer-Based Packaging Technologies for Food Applications. *Journal Food Reviews International*, 20. 357-387. [Doi.org/10.1081/FRI-200033462](https://doi.org/10.1081/FRI-200033462)

Moura, M., Mattoso, L., Zucolotto, V. (2012). Development of cellulose-based bactericidal nanocomposites containing silver nanoparticles and their use as active food

packaging. *Journal of Food Engineering*, 109: 520-524.  
[Doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.10.030](https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.10.030)

Piñeros, D., Jaramillo, C., Córdoba, A., Goyanes, S. (2016). Edible cassava starch films carrying rosemary antioxidant extracts for potential use as active food packaging. *Alimentos hidrocoloides*, 63: 488-495. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.09.034>

Racionero, E., Lisb, J., Vivancos, J., Martínez, R. (2018). Recent advances on intelligent packaging as tools to reduce food waste. *Journal of Cleaner Production*, 172: 3398-3409.  
[Doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.075](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.075)

Restuccia, D., Spizzirri, G., Parisi, O., Cirillo, G., Curcio, M., Iemm, F., Puoci, F., Vinci, G., Picci, N. (2010). New EU regulation aspects and global market of active and intelligent packaging for food industry applications. *Food Control*, 21: 1425-1435.  
[Doi.org/10.1016/j.foodcont.2010.04.028](https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2010.04.028)

Santos, R., Andrade, M., Sanches, A., (2017). Application of encapsulated essential oils as antimicrobial agents in food packaging. *Current Opinion in Food Science*, 14: 78-84.  
[Doi.org/10.1016/j.cofs.2017.01.012](https://doi.org/10.1016/j.cofs.2017.01.012)

Sauceda, R., Martínez, G., Martínez, Rosa., Piña, H., Ramírez, B., Vaquera, H., Hermida, M. (2014). Envases inteligentes para la conservación de alimentos. *Ra Ximhai*, 10: 151-173. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46132135012>

Yang, F.M., Li, H.M., Li, F., Xin, Z.H., Zhao, L.Y, Zheng, Y.H., Hu, Q.H. (2010). Effect of Nano-Packing on Preservation Quality of Fresh Strawberry (*Fragaria ananassa* Duch. cv Fengxiang) during Storage at 4 °C. *J Food Sci.*, 75: C236-C240.  
[Doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01520.x](https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01520.x)