

New packaging strategies to enhance food safety: a systematic review

Albitres- Deza María del Cielo¹, Correa- Vertiz Estrella Maricielo², Campos- Vasquez Nilson Deonil³, Gomez- Escobedo Freddy Waldir⁴, Murga-Gonzales Iselli Joseline Nohely⁵, Catire-Carrillo Janeth Rosario⁶,
Universidad Nacional de Trujillo, Perú, g272400520@unitru.edu.pe, g292400120@unitru.edu.pe, ncampos@unitru.edu.pe,
fgomez@unitru.edu.pe

^{5,6}Universidad Privada del Norte, Perú, iselli.murga@upn.edu.pe, N00300150@upn.pe

Abstract- The development of packaging strategies is an essential tool to ensure food safety and quality. Therefore, this research aims to investigate active packaging and antimicrobial packaging technologies used to guarantee food safety. This study employs a systematic review methodology of the scientific literature, limited to works published in the last six years and reviewed in their original language. The new active and antimicrobial packaging strategies to enhance food safety include the development of organic and inorganic nanoparticles, as well as the use of biopolymeric antimicrobial films and modified atmosphere packaging. The countries with the most extensive research on these innovative strategies were China, Brazil, and India, with lesser contributions from Mexico, Egypt, Canada, Saudi Arabia, and others. The analyzed packaging strategies promise to evolve into advanced and eco-friendly materials that contribute to sustainable development and protect the integrity of food products.

Keywords: strategies, packaging, nanoparticles, antimicrobial, safety.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

Nuevas estrategias de envasado para mejorar la seguridad alimentaria: una revisión sistemática

Albitres- Deza María del Cielo¹, Correa- Vertiz Estrella Maricielo², Campos- Vasquez Nilson Deonil³, Gomez- Escobedo Freddy Waldir⁴, Murga-Gonzales Iselli Joseline Nohely⁵, Catire-Carrillo Janeth Rosario⁶,
Universidad Nacional de Trujillo, Perú, g272400520@unitru.edu.pe, g292400120@unitru.edu.pe, ncampos@unitru.edu.pe,
fgomez@unitru.edu.pe

^{5,6}Universidad Privada del Norte, Perú, iselli.murga@upn.edu.pe, N00300150@upn.pe

Resumen- El desarrollo de estrategias de envasado, es una herramienta esencial para asegurar la seguridad y la calidad de los alimentos. Es por ello que la presente investigación tiene como objetivo investigar las tecnologías de envasado activo y envasado antimicrobiano utilizadas para garantizar la seguridad alimentaria. Mediante una metodología de revisión sistemática de la literatura científica, en función del idioma, que no tenga una antigüedad mayor a 6 años. Las nuevas estrategias de envasado activo y antimicrobiano para mejorar la seguridad alimentaria fueron el desarrollo de nanopartículas orgánicas e inorgánicas, así como la utilización de películas biopoliméricas, antimicrobianas y el envasado en atmósfera modificada. Los países con mayor estudio de estas estrategias innovadores fueron China, Brasil e India, y en menor medida, se encuentran, Mexico, Egipto, Canadá, Arabia Saudita, etc. Las estrategias de envases analizadas prometen desarrollarse como materiales avanzados y ecológicos que buscan contribuir al desarrollo sostenible y proteger la integridad de los alimentos.

Palabras claves: estrategias, envasado, nanopartículas, antimicrobiano, seguridad.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, los envases representan un elemento clave en la industria alimentaria, ya que garantizan la calidad y la seguridad de diversos alimentos, influyen en su imagen y en el valor percibido por parte de los consumidores, que cada vez son más exigentes y conscientes de los aspectos relacionados con la salud, la sostenibilidad y la conveniencia [1]. Estos envases, se encargan de proteger los productos de factores externos que pueden afectar su calidad y durabilidad [2].

Además, facilitan el transporte y la distribución del alimento, así como la información y la comunicación con los consumidores [3].

El envasado de alimentos cumple una función esencial y diversa en la actualidad, ya que se adapta a los requerimientos y demandas del mercado [4]. El cual exige un alto nivel en cuanto a la calidad del alimento, sin ninguna alteración de sus

propiedades nutricionales, sensoriales y sanitarias [5]. Es por ello que, los alimentos envasados son sometidos a diferentes procesos (como es el caso de la pasteurización, cocción, deshidratación, congelación) para asegurar la eliminación o reducción de la carga microbiana presente, como garantía de seguridad alimentaria y para conseguir una mayor duración de estos en el tiempo [6].

Sin embargo, los alimentos envasados no están exentos de sufrir ataques microbianos en sus superficies, lo cual se debe muchas veces a la humedad que atraviesa los materiales de embalaje y a otros factores ambientales [7]. Para evitar esto, se pueden incorporar agentes activos al sistema de envasado, como componentes que tienen propiedades antimicrobianas y antioxidantes, estos agentes activos contribuyen a mejorar la estabilidad del producto de forma más efectiva [8]. La implementación de este sistema de envasado activo garantiza los aspectos de seguridad y calidad de los alimentos envasados para que los consumidores puedan utilizar los productos sin preocupaciones [7].

En este sentido, se entiende un cambio de enfoque en el desarrollo de estrategias de envasado, pasando de ser solo una manera de mostrar y proteger el producto, a ser una herramienta esencial para asegurar la seguridad y la calidad de los alimentos [9]. Lo cual se va desarrollando gracias a las nuevas estrategias de envasado, que proponen soluciones innovadoras que responden a los retos asociados a la contaminación microbiológica, la degradación de nutrientes y la prevención de fraudes alimentarios [10].

Las nuevas estrategias de envasado buscan mejorar la seguridad alimentaria, mediante el uso de materiales activos e inteligentes y el desarrollo de técnicas de envasado aséptico, quienes permiten reducir los riesgos de contaminación microbiológica, y mejorar la calidad y la frescura de los alimentos [11]. Estos materiales son capaces de interactuar con el entorno y con el alimento en sí, liberando sustancias antimicrobianas para inhibir el crecimiento de microorganismos patógenos, absorbiendo gases indeseables

que puedan afectar la calidad del producto y proporcionando indicadores visuales de la frescura y la integridad del envase [12]. Cabe recalcar que la investigación en este campo sigue en constante evolución, con numerosos autores y estudios que aportan nuevos conocimientos y soluciones para hacer frente a los desafíos actuales y futuros en materia de la seguridad alimentaria [11].

En la presente investigación buscamos responder de manera clara y concisa, explicando mediante los resultados ¿cuáles son las estrategias innovadoras de envasado que contribuyen a mejorar la seguridad alimentaria y reducir la contaminación microbiológica?

El objetivo general de la investigación es investigar las tecnologías de envasado activo y envasado antimicrobiano utilizadas para garantizar la seguridad alimentaria. Para ello, los objetivos específicos son revisar la literatura para evaluar la eficacia de diferentes estrategias de envasado en la reducción de la contaminación microbiológica de los alimentos, y analizar los desafíos y oportunidades de implementar nuevas estrategias de envasado en la industria alimentaria.

II. METODOLOGIA

El presente trabajo fue realizado bajo la metodología de la revisión sistemática de la literatura científica, este método permite revisar y localizar literatura relevante que se ajusta a los criterios de inclusión y exclusión previamente establecido [13]. Su metodología es clara y sistemática para reducir sesgos en la identificación, selección, síntesis y resumir los estudios. En el diseño metodológico de una investigación quedan representadas las variables y cómo van a ser tratadas en el estudio [14]. Para el desarrollo de la investigación se tomó una serie de trabajos de investigación en función del idioma, que no tenga una antigüedad mayor a 6 años, y como principal estrategia se consideró las palabras claves de la investigación en inglés y español:

TABLA 1
ECUACIONES DE BÚSQUEDA PARA CADA BASE DE DATOS.

N°	BASE DE DATOS	ECUACIÓN DE BÚSQUEDA
1	SCOPUS	antibacterial AND properties AND food AND packaging AND applications
2	SCIELO	“active” “packaging” “film”

III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

La investigación realizada mostró que la base de datos de SCOPUS tiene más publicaciones que SciELO sobre el tema de estudio. Se escogieron 36 artículos para el análisis, tal como se ilustra en la figura 1.

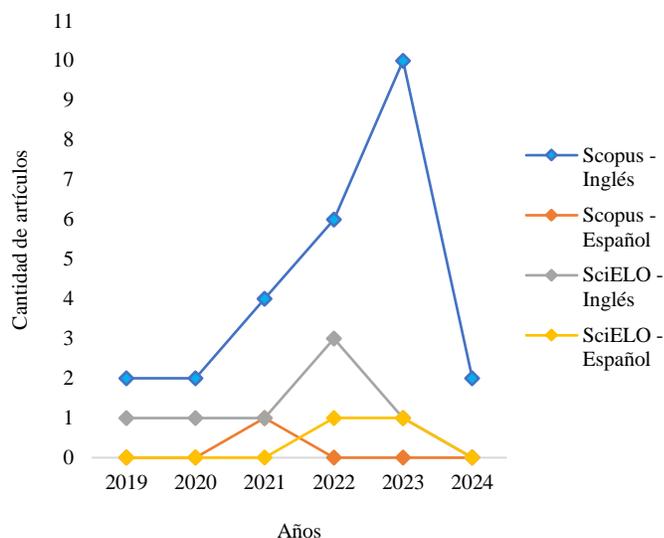


Figura 2. Artículos científicos publicados en cada base de datos.

Este resultado se debe a que la plataforma SCOPUS es una de las fuentes más importantes de información científica, ya que contiene millones de resúmenes y citas de publicaciones académicas de calidad de diversas áreas, instituciones y países [15]. Por otro lado, SciELO ha logrado poco a poco la introducción de publicaciones científicas en otros espacios de gran visibilidad no menos importantes como lo es SCOPUS [16].

Se identificó que de los artículos analizados proceden de diversos países, siendo China el lugar con más publicaciones sobre el tema, seguido de la India, Brasil, México, Egipto, Canadá, Arabia Saudita, Rumania, Portugal, Perú, Pakistán, entre otros. La figura 2 muestra la distribución de las publicaciones por país de origen.

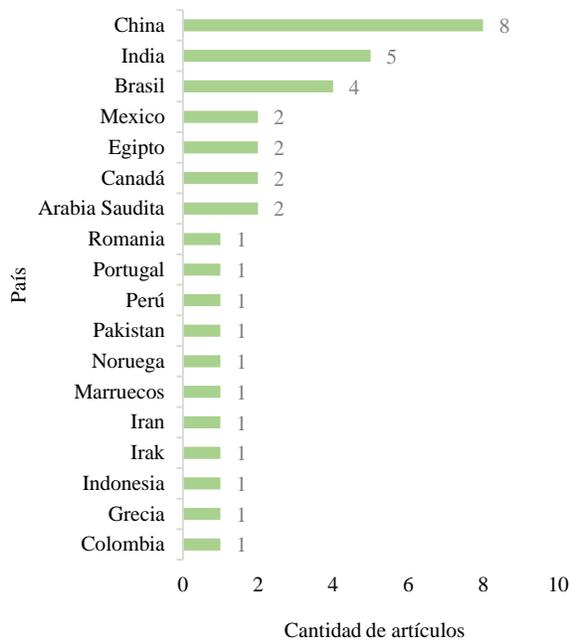


Figura 2. Cantidad de publicaciones por países en estrategias innovadoras de envasados para alimentos.

En el caso de China, es uno de los países con mayor aplicación de tecnologías innovadoras en envases, el continente asiático, en cuanto ha investigaciones publicadas, tiene mayor significancia debido a que el gobierno estima el potencial en la industrialización activa del envasado de alimentos [17]. Estudios similares en la India muestran que se debería optar por estas estrategias de envase con el fin de poder mejorar la calidad, la seguridad, vida útil y funcionalidad de los alimentos, por lo que los gobiernos deben promover incentivos para la estandarización y aceptación, tanto como de la producción alimentaria como del consumidor [18]. Estas investigaciones muestran la necesidad de que las industrias implementan nuevas tecnologías de sistemas de envases y con ello controlen y/o prolonguen la vida útil de los alimentos, de modo que permitan la seguridad alimentaria [19].

A continuación, se muestra la figura 3, donde se destaca la revisión pertinente acerca de la cantidad de artículos hallados sobre tecnologías de envasado con propiedades únicamente activas, con propiedades únicamente antimicrobianas, y con ambas propiedades.

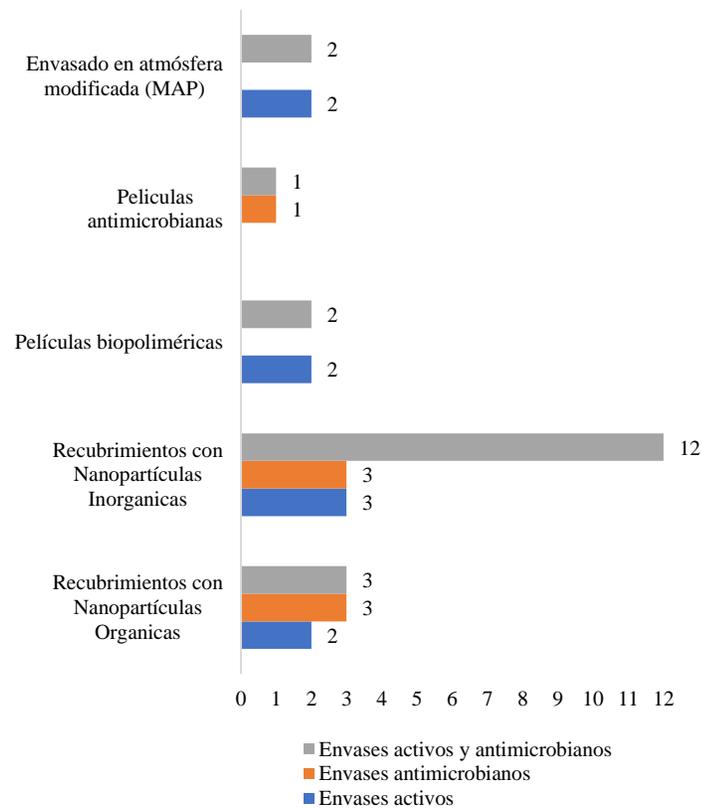


Figura 3. Estrategias desarrolladas en razón a sus propiedades como tecnologías de envasado activo y antimicrobiano utilizadas para garantizar la seguridad alimentaria.

Se obtuvo que el mayor cantidad de artículos describen estrategias de envasado con propiedades tanto activas como antimicrobianas, ello se debe a que las innovaciones en el envasado de los alimentos ayudan al desarrollo de la industria alimentaria, ya que se crean nuevas técnicas, como el envasado activo y el antimicrobiano [20]. El envasado antimicrobiano se considera una tecnología revolucionaria e innovadora que monitorea los cambios en el entorno interior y exterior, y que transmite el estado de los alimentos sobre la interacción del sistema de envasado para apoyar la toma de decisiones [21]. Mientras que los envases activos son estrategias ideales para mejorar la calidad y seguridad de los alimentos, cuando estos sufren algún tipo de cambio físico, químico o biológico irreversible que se manifiesta como deformación física [22].

En la actualidad, el uso de la nanotecnología en la industria de envases, permite la producción de envases activos y antimicrobianos como herramientas para inhibir la formación de toxinas [23]. Además, permiten proteger los

alimentos contra bacterias dañinas que causan deterioro y reducen la vida útil y la calidad de la frescura [24].

En la tabla 2 se resume la eficacia de las diferentes estrategias de envasado encontradas.

TABLA II
RESUMEN DE LA EFICACIA DE LAS ESTRATEGIAS INNOVADORAS PARA EL DESARROLLO DE ENVASES

Estrategia de envasado	Eficacia	Autor (es)	
Recubrimientos con nanopartículas	Inorgánicas	<ul style="list-style-type: none"> - Propiedad antimicrobiana significativa contra <i>Escherichia coli</i>, <i>Staphylococcus aureus</i>, <i>Bacillus cereus</i> y <i>Aspergillus niger</i>. - Útiles para envases de alimentos sensibles a la luz. - Otorgan buena transparencia, flexibilidad, resistencia a la tracción y elongación al envase. - Mejoran la calidad, la seguridad, la vida útil, el sabor, el color, el aroma, la textura y la funcionalidad de los alimentos. - Reducen la permeabilidad al oxígeno, por lo que pueden prevenir o retrasar la oxidación de los alimentos y evitar su deterioro. - Al inhibir el crecimiento y la formación de biopelículas de bacterias, reducen el riesgo de infecciones y contaminaciones alimentarias. - Desarrollan en el envase una mejor barrera contra la pérdida de humedad de los alimentos. - Propiedades de resistencia a la corrosión. - Aportan propiedades térmicas, eléctricas, mecánicas y biodegradables en las películas. 	[17] [25] [26] [27] [28] [29] [30] [31] [32] [33] [34] [35] [36] [37] [38] [39] [40] [41]
	Orgánicas	<ul style="list-style-type: none"> - Propiedades antibacterianas significativamente mejores contra <i>E. coli</i> y <i>S. aureus</i>. - Mayores propiedades mecánicas y actividad antibacteriana (efecto inhibidor sobre <i>Botrytis cinerea</i>) y un mejor efecto de mantenimiento de la frescura. - Recubrimientos con aceite esencial de orégano tiene propiedades mecánicas, antimicrobianas (reduce <i>Estafilococo aureus</i> y microorganismos psicotróficos) y antioxidantes potenciales para su uso como envase activo para alimentos, como en el almacenamiento del queso Mozzarella. - Retarda la oxidación de lípidos, prolonga la vida útil, mantiene la 	[42] [43] [44] [45] [46] [47] [48] [49]

		calidad sensorial y reduce las pérdidas de peso de los alimentos.	
	Películas biopoliméricas	<ul style="list-style-type: none"> - Reducen la transmisión de oxígeno. - Propiedades de barrera frente a la humedad, efecto protector frente a la luz UV. - Alta capacidad inhibitoria contra cepas de <i>R. stolonifer</i> y <i>A. niger</i>. - Rápida biodegradabilidad en el ambiente. - Reducen la pérdida de peso, la transpiración, la oxidación, el pardeamiento, la descomposición y el deterioro microbiológico de los alimentos. - Preservan y mejoran el sabor, color, textura, aroma y valor nutricional de los alimentos. 	[50] [51] [52] [53]
	Películas antimicrobianas	<ul style="list-style-type: none"> - Buenas propiedades mecánicas y de reservorio, lo que conduce a la mejora de las propiedades de las frutas y verduras almacenadas. - Previenen el crecimiento de moho, reducen el deterioro de calidad nutricional, textura y funcionalidad. 	[54] [55]
	Envasado en atmósfera modificada (MAP)	<ul style="list-style-type: none"> - Mejoran la vida útil, las características nutricionales y la seguridad de los productos alimenticio - Reducen el desarrollo de hongos, principalmente <i>Aspergillus spp.</i>, <i>Alternaria spp.</i> y <i>Penicillium spp.</i>, y prolonga la vida de anaquel de los frutos hasta en 6 a 7 días a 23 °C. - Reducen la tasa de pérdida de peso, de consistencia y la alteración de los atributos de color en los frutos. - Mantiene la frescura de los alimentos. 	[56] [57] [58] [59]

La eficacia de las estrategias más recurrentes en China es la propiedad antibacteriana, el uso de películas recubiertas de Nisin-ZPWG incorporados en el material de envasado está recibiendo ahora más atención como agentes de control de bacterias [60]. La eficacia de estas estrategias, no solo ofrece la oportunidad de que la nanopartícula interactúe con los alimentos sino que también puede modificar las propiedades de la película; la migración de los compuestos activos para los envases de alimentos contribuye a la seguridad del consumidor, ya que estos no se agregan directamente a los alimentos [61].

En vista de los problemas de salud registrados en los últimos años, muchos países se centran ahora en el desarrollo de materiales de embalaje sostenibles basados en biopolímeros naturales renovables, como polisacáridos y

proteínas, o sintéticos como el poli (cotereftalato de adipato de butileno) o PBAT [62]. En la India, las industrias de envase, se han centrado en el desarrollo de agentes antimicrobianos y películas de polímeros biodegradables para aplicaciones de envasado de alimentos con buena estabilidad mecánica, preservando al mismo tiempo la frescura y favor de los productos alimenticios con una vida útil más larga para reducir el desperdicio de alimentos por deterioro [63].

El uso de nanopartículas de óxido de zinc (ZnO NPs), presentadas en la estrategia innovadora, mejora la calidad química y reacciones antibacterianas dentro de los composites, lo que tiene un impacto sustancial en la eficiencia de su fabricación [64]. La novedad del estudio está en la obtención de un material alternativo a base de PLA y Cu, con potencial efecto antibacteriano, así como en la influencia de las diferentes proporciones de PLA y de clusters de cobre, respectivamente, sobre las propiedades físico-químicas y mecánicas. de los composites PLA, destinados a la obtención de envases biodegradables para alimentos [32].

En Grecia, ha habido muy pocos estudios que examinen el uso de nanopartículas de dióxido de circonio (ZrO₂ NP) en aplicaciones de envasado de alimentos, es más, se informa por primera vez sobre la síntesis de nanocompuestos basados en PEF que incorporan aditivos inorgánicos mediante polimerización in situ [65]. A diferencia de Egipto, que recientemente realiza estudios sobre los sistemas de envasado activo basados en biopolímeros con el fin de mantener la seguridad y calidad de los alimentos [66].

El estudio de envasado activo basados en biopolímeros ha atraído la atención e interés tanto del sector académico como del industrial en diversos países, como Indonesia, donde se realizan investigaciones sobre el uso de gelatina, quitosano, glicerol, ácido acético, y nanopartículas de óxido de zinc en la creación de envasado que puedan inhibir el crecimiento microbiano y prevenir cambios biológicos o químicos indeseables para mantener la calidad y extender la vida útil de los alimentos [67]. En Colombia, optaron por estrategias, que mejoren las propiedades mecánicas y aumenten la absorción de agua, además se demostró la actividad antimicrobiana de las películas de nanocompuestos contra *Escherichia Coli* [68].

Por su lado, Marruecos ha creado una gran brecha en la industria del envase, al usar nanocompuestos para el desarrollo de envases activos, con ello esperan tener condiciones estables en su fabricación, ya que estos tienen compuestos orgánicos volátiles, considerados cruciales en la industria de la comida porque directamente pueden afectar a la salud humana [69]. Para Pakistán, el uso de sustancias

como carboximetil celulosa (CMC), gelatina (GEL) y nanopartículas de óxido de zinc (ZnO-Nps) significan una estrategia muy favorecedora ya que se trata de un país con alta demanda en alimentos [37]. Estas nanopartículas de hidrogel actúan como barreras semipermeables que reducen la pérdida de humedad, el intercambio de gases y la transmisión de luz, lo que ayuda a preservar las características organolépticas de los alimentos [37].

En la tabla 3, se presenta el resumen de los desafíos y las oportunidades de las estrategias de envase analizadas.

Tabla III
DESAFÍOS Y OPORTUNIDADES DE LAS ESTRATEGIAS INVESTIGADAS EN SU USO COMO ENVASE

Aplicación de estrategia	Desafíos	Oportunidades	Autor (es)
Nanopartículas			
Películas nanocompuestas multicapa coextruidas de LLDPE/ZnONP	Un mayor espesor de la capa de piel tratada podría interrumpir la actividad antibacteriana de las ZnONP.	La película LLDPE/ZnONP puede ser explotada en envases de alimentos.	[25]
Incorporación de nanopartículas de óxido de zinc.	Posible migración de las nanopartículas de óxido de zinc a los alimentos.	Posibilidad de utilizar fuentes naturales y renovables para obtener las materias primas de las películas comestibles.	[27]
Mezcla de PVA/SA por nanorellenos Ag/Se	Costo y la disponibilidad del material.	Desarrollo de envases activos e inteligentes, que puedan alargar la vida útil de los alimentos, prevenir la contaminación microbiana, indicar el estado de frescura y calidad de los productos, y al mismo tiempo ser biodegradables y respetuosos con el medio ambiente.	[28] [33]
Membranas biodegradables de poli(alcohol vinílico) (PVA) reforzadas con celulosa nanobacteriana (CNB) cargadas con aceite esencial de orégano (OEO)			
Timol en películas compuestas de almidón/PBAT	Este estudio solo se aplicó en envase para tomates.	Referencia para la aplicación de películas degradables a base de almidón en la conservación de alimentos.	[43]
Películas biodegradables	Se deben realizar más estudios para	Las películas desarrolladas con	[44] [46]

activas de PBAT incorporadas con diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano.	la evaluación sensorial, los aspectos nutricionales y la estabilidad durante el almacenamiento.	aceite esencial son muy eficientes gracias a su actividad antioxidante y acción antimicrobiana. Las propiedades mecánicas reflejan la capacidad de la película para proteger la integridad de los alimentos.	
Película activa con omega-3 y aromatizada con aceite esencial de orégano.			
Películas de polivinil alcohol (PVA) con ácidos orgánicos como agente reticulante.	Se debe optimizar las condiciones de preparación de las películas de PVA/ácido orgánico, sin comprometer la resistencia y la transparencia de las películas.	Desarrollar un material de envasado de alimentos ecológico y de bajo impacto ambiental, basado en PVA, que pueda preservar la frescura y el sabor de los productos alimenticios.	[49]
Películas biopoliméricas			
Extracto acuoso de piel de mango (EPM) sobre las propiedades de películas biodegradables fabricadas a partir de almidón de papa.	Pocos los estudios realizados para desarrollar este subproducto.	Excelente fuente de componentes para desarrollar una película que permiten reforzar el uso del envase activo.	[51]
Películas de gelatina-carboximetilcelulosa con diferentes concentraciones de extracto de cáscara de coco	El efecto del aditivo de cáscara de coco solo aplica para las condiciones de extracción utilizadas en el artículo.	Material prometedor como sustituto de los envases convencionales, ya que además de sus características pueden reducir el deterioro de los alimentos ocasionado por hongos.	[52]
Películas delgadas a base de gelatina y el aceite de oliva que se aplican sobre la superficie de los alimentos.	Mejora la condición de almacenamiento, y la calidad de los recubrimientos, la aceptación y la preferencia de los consumidores.	El desarrollo de nuevos productos con mayor valor agregado, la reducción del uso de envases sintéticos y el impacto ambiental.	[53]
Películas antimicrobianas			
Películas y recubrimientos antimicrobianos comestibles.	Las películas y recubrimientos comestibles no están diseñados	Las películas y recubrimientos antimicrobianos actúan como una	[54]

	para reemplazar los envases convencionales, algunas tienen un sabor amargo distintivo, lo cual es un defecto grave.	barrera para proteger los alimentos del deterioro o la contaminación, preservar el valor nutricional de los alimentos y la decoloración en frutas y verduras frescas para prolongar su vida útil.	
Película monocapa y de dos capas con un agente activo en la capa interna y película de dos capas con sustancia activa fija sobre la superficie de la película.	Las altas temperaturas pueden limitar el desempeño de los agentes activos.		[55]
Envasado en atmósfera modificada (MAP)			
Mezcla de dióxido de carbono (CO ₂), nitrógeno y gas inerte.	La investigación indicó que una alta concentración de CO ₂ aumenta la acidez de los alimentos, afectando el sabor y otras características sensoriales de los mismos.	El MAP es mejor para retardar el crecimiento de levaduras y moho.	[56]
Empaques de atmósfera modificada incorporados con vapores de aceite esencial de orégano.	La concentración inhibitoria de los hongos analizados fue mínima, este detalle requiere de estudios.	El uso de sistemas de atmósfera modificada con micro perforación y vapores de aceite esencial es una alternativa útil para el manejo postcosecha de frutos de zarzamora en condiciones ambiente.	[57]

La oportunidad más recurrente que presenta las tecnologías de envase activo, es alargar la vida útil de los alimentos, mejorar la calidad y la seguridad de los alimentos, se identificó que las nanopartículas inorgánicas, optan por películas activas de pectina y celulosa [37]. Del mismo modo, control antimicrobiano se encuentran en las nanopartículas orgánicas, ya que están ayudando a comprometer los atributos sensoriales [67]. En algunos casos, al desarrollar las nanopartículas activas, nos brinda la oportunidad de desarrollar envases biodegradables y económico funcional, lo que reduce el desperdicio y el impacto ambiental [41].

Las películas poliméricas para envasado de alimentos prometen revolucionar la industria puesto que son fáciles de

producir y tienen un rendimiento excelente [70]. Por otro lado, la estrategia de recubrimiento de superficie interior de los materiales de embalaje con agentes antimicrobianos en condiciones ambientales proporciona una oportunidad en aplicaciones de embalaje de forma más eficaz aportando características pueden reducir el deterioro de los alimentos ocasionado por microorganismos [71]. Mientras que el envasado en atmósferas modificadas, promete preservar el sabor, color, textura y consistencia de los alimentos [72].

Se necesitan profundizar los estudios de cada estrategia investigada. El mayor desafío estuvo relacionado con los fondos limitados, el alto costo de implementar las tecnologías de envase activo en las industrias de envase alimentario y la posible migración del material utilizado hacia los alimentos.

IV. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos, las nuevas estrategias de envasado para mejorar la seguridad alimentaria en el sector agroindustrial fueron el desarrollo de recubrimientos con nanopartículas orgánicas e inorgánicas, así como la utilización de películas biopoliméricas, antimicrobianas y el envasado en atmósfera modificada. En la revisión de artículos, se reporta que las oportunidades y desafíos que se identifican en las tecnologías de envase activo y antimicrobiano, ofrecen una alternativa ecológica y segura a los materiales de envasado convencionales. Así también, las estrategias desarrolladas en los envases activos y envases antimicrobianos pueden describirse como unas medidas adecuadas para garantizar la vida útil de los alimentos, estos mejoran la estabilidad durante el almacenamiento de los alimentos y contribuyen al desarrollo sostenible y proteger la integridad de los alimentos.

Se concluye que estas nuevas tecnologías de envase activo y antimicrobiano, facilita la portabilidad de los alimentos, reduce riesgos para la salud, garantiza la seguridad alimentaria, y a la vez se recomienda que las industrias de envase alimentaria opten por desarrollar e incrementar estas estrategias, con el fin de tener un desarrollo sostenible y económico, y los establecimientos alimentarios ingresen al mercado global.

REFERENCIAS

[1] J. Polles, E. Cunico, S. Walter y J. De Souza, «Value aggregation: How can the package contribute with the valuation of fish products?,» *Agroalimentaria*, vol. 25, 2019.

[2] A. Fazio, M. Caroleo, E. Cione y P. Pierluigi, «Novel acrylic polymers for food packaging: Synthesis and antioxidant properties,» *Conciencia Tecnológica*, vol. 11, 2017.

[3] L. Arce, «Comparative analysis of the nutritional quality of products intended for public children against public adult from packaging,» *Revista Española de Salud Pública*, vol. 93, 2019.

[4] P. Montero y G. Ruiz, «Recent advances to increase the shelf life and safety of packaged foods,» *Agronomía Mesoamericana*, vol. 33, 2022.

[5] P. Subramaniam, *The Stability and Shelf Life of Food (Second Edition)*, Woodhead Publishing, 2016.

[6] M. Rooney, «Active Food Packaging,» *Blackie Academic & Professional*, 2017.

[7] M. Selvamuthukumar, *Active Packaging for Various Food Applications*, Routledge, 2022, p. 214.

[8] N. Rodríguez, «Active packaging for food applications: recent advances,» *Food Science and Technology International*, vol. 25, 2019.

[9] H. Azeredo y D. Souza, «Smart choices: Mechanisms of intelligent food packaging,» *Elsevier*, vol. 4, 2021.

[10] P. Müller y M. Schmid, «Intelligent Packaging in the Food Sector: A Brief Overview,» *National Library of medicine*, 2019.

[11] P. Shao, L. Liu, J. Yu, Y. Lin, H. Gao, H. Chen y P. Sun, «An overview of intelligent freshness indicator packaging for food quality and safety monitoring,» *Elsevier*, vol. 118, 2021.

[12] A. Ozcan, «New approaches in smart packaging technologies,» *University of Novi Sad*, 2020.

[13] P. Humanante, F. García y M. Conde, «Entornos personales de aprendizaje móvil: una revisión sistemática de la literatura,» *Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, vol. 20, n° 2, 2017.

[14] H. García, «Conceptos fundamentales de las revisiones sistemáticas/metaanálisis,» *ScienceDirect*, vol. 24, 2015.

[15] Fundación Española para la Ciencia y la tecnología, «Scopus. FUNCIONALIDADES AVANZADAS EN SCOPUS,» *Elsevier*, 2016.

[16] J. Alfonso, «SciELO representa una garantía de visibilidad para la actividad científica cubana,» *EDUMECENTRO*, vol. 5, n° 1, pp. 184-186, 2013.

[17] P. Min, C. Lulu, C. Lili, S. Yi y W. Hualin, «Properties of nisin incorporated ZrO₂/poly (vinyl alcohol)-wheat gluten antimicrobial barrier films,» *CYTA - JOURNAL OF FOOD*, vol. 17, n° 1, pp. 400-407, 2019.

[18] S. Rajesh, D. Shradha, S. Priyanka, S. Ashok, D. Aman, S. Anoop y A. Sandeep, «Future of Nanotechnology in Food Industry: Challenges in

- Processing, Packaging, and Food Safety,» *Global Challenges*, vol. 7, pp. 197-225, 2023.
- [19] L. Yogita, S. Balwinder, S. Poonam y K. Sachin, «Nanobiotechnology applications in food sector and future innovations,» *Scopus*, pp. 197-225, 2021.
- [20] S. Yang, C. Lin, C. Sung y J. Fang, «Actividades antibacterianas de Bacteriocinas: aplicación en alimentos y productos farmacéuticos,» *Microbiol frontal*, vol. 5, pp. 241-252, 2020.
- [21] W. Y. Yi Ding, Z. Jie, L. Wenying, Z. Fengbo, Y. Yanan y Z. Qiang, «Películas nanocompuestas de poli(butileno succinato-co-tereftalato) con nanopartículas de plata recubiertas de óxido de magnesio (PBST/Ag@MgO),» *Elsevier*, vol. 128, 2023.
- [22] J. Kuswandi, «Controles activos e inteligentes de embalaje, seguridad y calidad,» *Prensa académica*, , pp. 243-94, 2020.
- [23] D. Fang, W. Yang, K. Benard, M. Alfred, L. Zhao, X. An y Q. Hu, «Effect of nanocomposite-based packaging on storage stability of mushrooms (*Flammulina velutipes*),» *Elsevier*, vol. 33, p. 489–497, 2016.
- [24] H. Mahmoud, J. Seid, Iman y Katouzian, «Inorganic and metal nanoparticles and their antimicrobial activity in food packaging applications,» *Critical Reviews in Microbiology*, vol. 44, pp. 161-181, 2018.
- [25] D. y. A. A. Mahdi, «Effect of Polyethylene Film Thickness on the Antimicrobial Activity of Embedded Zinc Oxide Nanoparticles,» *ACS Omega*, vol. 6, n° 40, p. 26201–26209, 2021.
- [26] J. Stanley, E. Xanthopoulou, M. Finšgar, L. Zemljic, P. Klonos, A. Kyritsis, S. Koltsakidis, D. Tzetzis, D. Lambropoulou, D. Baciu, T. Steriotis, G. Charalambopoulou y D. Bikiaris, «Synthesis of Poly(ethylene furanoate) Based Nanocomposites by In Situ Polymerization with Enhanced Antibacterial Properties for Food Packaging Applications,» *Polymers*, 2023.
- [27] B. Asrul, S. Samik, S. Maria, K. Nita, K. Ianatul, M. Supari y A. Sella, «Development and Characterization of Edible Films Based on Gelatin/Chitosan Composites Incorporated with Zinc Oxide Nanoparticles for Food Protection,» *Scopus*, 2023.
- [28] G. Hassan, A. A. T. G., Q. Talal, A. E., C. Emre, A.-H. Ahmed, A. Mohammed, M. Aysh, A. Fawziah y S. Abdu, «Modification and development of optical, thermal, dielectric properties and antibacterial activity of PVA/SA blend by Ag/Se nanofillers: Nanocomposites for energy storage devices and food packaging applications,» *Elsevier*, vol. 19, 2023.
- [29] N. Coneo, Y. Ramos, G. De Ávila, A. Herrera y A. Cremades, «Active chitosan- poly (vinyl alcohol) film reinforced with zinc oxide nanoparticles for food packaging applications,» *Polymers from Renewable Resources*, 2023.
- [30] S. Rajesh, D. Shradha, S. Priyanka, S. Ashok, D. Aman, S. Anoop y A. Sandeep, «Future of Nanotechnology in Food Industry: Challenges in Processing, Packaging, and Food Safety,» *Global Challenges*, vol. 7, n° 4, 2023.
- [31] S. B. J. I. Z. M. Abdelqader El Guerraf, F. Sher, M. Bazzaoui y E. A. Bazzaoui, «Multifunctional Smart Conducting Polymers–Silver Nanocomposites-Modified Biocellulose Fibers for Innovative Food Packaging Applications,» *Scopus*, 2023.
- [32] V. Popescu, D. Prodan, C. Stanca, C. Ta Saro, G. Furtos, A. Moldovan, R. Carpa y D. Bombo, «Antimicrobial Poly (Lactic Acid)/Copper Nanocomposites for Food Packaging Materials,» *Materials*, 2023.
- [33] N. Manu, S. Ashok, S. Ashwini, Y. Achappa, B. Nagaraj, K. Prakash y A. Narasimha, «Nanobacterial Cellulose Production and Its Antibacterial Activity in Biodegradable Poly(vinyl alcohol) Membranes for Food Packaging Applications,» *ACS Omega*, 2023.
- [34] A.-h. Ahmed, A. G., A. Fahad, A. Ibrahim, A.-H. Sadeq y A. E., «Enhanced structural, optical, electrical properties and antibacterial activity of selenium nanoparticles loaded PVA/CMC blend for electrochemical batteries and food packaging applications,» *Elsevier*, vol. 116, 2023.
- [35] L. Yana, R. Jizhou, Z. Guoquan y L. Xuezhogn, «High-barrier and antibacterial films based on PET/SiOx for food packaging applications,» *SciELO*, vol. 41, n° 3, pp. 763-767, 2021.
- [36] M. Momtaz, E. Momtaz, M. Mehrgardi, F. Momtaz, N. Tahmineh y P. Farkhondeh, «Preparation and characterization of gelatin/chitosan nanocomposite reinforced by NiO nanoparticles as an active food packaging,» *Scientific Reports*, vol. 14, n° 519, 2024.
- [37] Z. Aqsa, K. Muhammad, N. Awal, Q. Sadaf y J. Muhammad, «Carboxymethyl Cellulose/Gelatin Hydrogel Films Loaded with Zinc Oxide Nanoparticles for Sustainable Food Packaging Applications,» *Polymers*, 2022.
- [38] S. Muhammed, S. EmadA, A. Adel, O. Ahmed, Rowaida y Khalil, «Novel pectin-based

- nanocomposite film for active food packaging applications,» *Sci*, 2022.
- [39] W. Yongjun, G. Yan, T. Ling, C. Ronghua y X. Nina, «Electrochemical Synthesis of ZnO Nanoparticles and preparation of Pea Starch/ZnO composite for Active Food Packaging Application,» *Elsevier*, vol. 14, n° 12, pp. 10745-10753, 2019.
- [40] A. Haifa, A. M., M. Mohammed, N. Omer, A. E. y R. A., «Modification and development of high bioactivities and environmentally safe polymer nanocomposites doped by Ni/ZnO nanohybrid for food packaging applications,» *Modification and development of high bioactivities and environmentally safe polymer nanocomposites doped by Ni/ZnO nanohybrid for food packaging applications*, vol. 19, pp. 3421-3432, 2022.
- [41] L. Rui, S. Dur, Q. Wen, W. Dingtao, D. Jianwu, L. Suqing y L. Yaowen, «Development of Polylactic Acid Films with Selenium Microparticles and Its Application for Food Packaging,» *Coatings*, 2020.
- [42] L. Shaoxiang, Z. Meng, W. Guohui, M. Wenqiao, Z. Xin, W. Dong, Z. Yue y W. Zhonghua, «Characterization of polyvinyl alcohol/starch composite films incorporated with p-coumaric acid modified chitosan and chitosan nanoparticles: A comparative study,» *Elsevier*, vol. 262, 2021.
- [43] L. Huan, W. Wenwen, W. Da, J. Lianwen y Y. Xiangzheng, «Effect of thymol on physical properties, antimicrobial properties and fresh-keeping application of cherry tomato of starch/PBAT extrusion blowing films,» *SciELO*, vol. 42, 2022.
- [44] C. Lucas, D. S. Jânia, D. s. Juliana, C. Geany, D. S. Carolina, D. Janice y G. Alaíse, «Development and characterization of antioxidant and antimicrobial poly (butylene adipate-co-terephthalate) (PBAT) film incorporated with oregano essential oil and applied in sliced mozzarella cheese,» *SciELO*, 2022.
- [45] D. L. Ivo, D. A. Michelle, F. Viviane, H. Fernando, S. Andréa y V. Glória, «Development of active PHB/PEG antimicrobial films incorporating clove essential oil,» *SciELO*, 2020.
- [46] J. São, H. Medeiros, F. Oliveira, A. Fialho, D. Oliveira, É. Medeiros y N. Soares, «Development and characterization of active film with omega-3 as a proposal for enrichment of butter,» *SciELO*, 2019.
- [47] B. Tofa, F. Peter, J. Lily, D. G. Domitille, S. Stephane y L. Monique, «Release kinetics and biological properties of active films based on cellulose nanocrystal-chitosan in combination with γ -irradiation to mitigate microbial load in rice,» *Elsevier*, vol. 150, 2024.
- [48] S. Tingyu, Q. Sheng, L. Tiantong, W. Yuzhu, L. Jingsheng y Z. Hao, «Recent Advances in Bio-Based Smart Active Packaging Materials,» *Foods*, vol. 11, n° 15, 2022.
- [49] S. Sanjeevamuthu, V. Shanmugam, S. Jeyaperumal y R. Vairamuthu, «Fabrication of PVA polymer films with improved antibacterial activity by fine-tuning via organic acids for food packaging applications,» *Appl Water Sci*, vol. 10, n° 100, 2020.
- [50] J. Nygaard, E. Noriega, R. Tanja, R. Bjørn, S. Jawad, S. Nusrat, S. Morten, S. Izumi y K. Marit, «Current status of biobased and biodegradable food packaging materials: Impact on food quality and effect of innovative processing technologies,» *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, vol. 20, n° 2, pp. 1333-1380, 2021.
- [51] R. Nazario, S. Rojas, L. Angelats, M. Gallozzo y E. Valverde, «Películas biodegradables de almidón de papa reforzadas con extracto acuoso de piel de mango para su uso como envase activo,» *International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology*, 2021.
- [52] M. Vargas, E. Borries, S. Valle y M. Aguilar, «Propiedades fisicoquímicas y antifúngicas de películas activas de gelatina-carboximetilcelulosa con extracto de cáscara de coco,» *Chapingo*, vol. 14, n° 1, pp. 33-50, 2022.
- [53] V. Patil, S. Rafeeya y K. Kshirod, «Techno-functional characteristics, and potential applications of edible coatings: A comprehensive review,» *Journal of Agriculture and Food Research*, vol. 14, 2023.
- [54] A. Mahmed, B. Mohammed y L. Hassen, «The Role of Packaging Technology in the Food Product,» *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, vol. 761, 2021.
- [55] A. Azevedo, C. Barros, S. Miranda, A. Machado, O. Castro, B. Silva, M. Saraiva, A. Silva, L. Pastrana, O. Carneiro y M. Cerqueira, «Active Flexible Films for Food Packaging: A Review,» *Polymers 2022*, vol. 14, n° 12, p. 2442, 2022.
- [56] A. Malathy, S. Periyar, S. Vishnupriya, S. Sanjana y S. Mythili, «Bread packaging techniques and trends,» *Int J Food Safety*, vol. 11, n° 4, 2022.
- [57] A. Martínez, S. Valle, D. Guerra, C. Arevalo y R. Sánchez, «Atmósfera modificada con microperforado incorporada con vapores de aceite esencial de orégano para preservar frutos de zarzamora en poscosecha,»

- Revista Chapingo Serie Horticultura*, vol. 29, n° 1, p. 53–71, 2023.
- [58] Y. Li, K. Wu, Z. Li, X. Wang y Z. Chen, «Quality characteristics of fresh noodles as affected by modified atmosphere packaging.,» *Food Science and Technology*, vol. 42, 2022.
- [59] C. Padia, P. Coradi, L. Acosta, G. Coelho, J. Steinhaus, L. Carneiro y A. Müller, «Packaging of soybean seeds stored in different environments,» *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 58, 2023.
- [60] M. Alizadeh, E. Mohammadian y D. McClements, «Eco-friendly active packaging consisting of nanostructured biopolymer matrix reinforced with TiO₂ and essential oil: Application for preservation of refrigerated meat,» *Elsevier*, vol. 322, 2020.
- [61] F. Pavli, T. Chrysoula, G. Nychas y N. Chorianopoulos, «Probiotic Incorporation in Edible Films and Coatings: Bioactive Solution for Functional Foods,» *Int. J. Mol. Sci.*, 2018.
- [62] K. Deepak, C. Ravindra, M. Saraswati, C. Raju, M. Ravindra, G. Ramesh y G. Gangadhar, «An Investigation into the Influence of Filler Piper nigrum Leaves Extract on Physicochemical and Antimicrobial Properties of Chitosan/Poly (Vinyl Alcohol) Blend Films,» *Journal of Polymers and the Environment*, 2019.
- [63] B. Agrillo, M. Balestrieri, M. Gogliettino, G. Palmieri, R. Moretta, Y. Proroga, I. Rea, A. Cornacchia, F. Capuano, G. Smaldone y L. De Stefano, «Functionalized Polymeric Materials with Bio-Derived Antimicrobial Peptides for “Active” Packaging,» *Int. J. Mol. Sci.*, 2019.
- [64] B. Abebe, E. Zereffa, A. Tadesse y H. Murthy, «review on enhancing the antibacterial activity of ZnO: mechanisms and microscopic investigation,» *Nanoscale Res Lett*, 2020.
- [65] S. Alsharari, M. Alenezi, M. Al Tami y M. Soliman, «Avances recientes en la biosíntesis de nanopartículas de óxido de circonio y sus aplicaciones biológicas,» *Ciencia de Bagdad*, 2023.
- [66] J. Lee, D. Jeong y P. Kanmani, «Study on physical and mechanical properties of the biopolymer/silver based active nanocomposite flms with antimicrobial activity,» *Carbohydr. Polym*, 2019.
- [67] A. Mohamed, E.-S. Mohamed, S. Manal, Z. Nidal y Muhammad, «Antimicrobial and antioxidant properties of chitosan and its derivatives and their applications: A review.,» *Int. J. Biol. Macromol.*, 2020.
- [68] J. Pereira y S. De Arruda, «Películas activas de quitosano/PVA con antocianinas de Brassica oleraceae (repollo rojo) como indicadores de tiempo-temperatura para su aplicación en envases inteligentes de alimentos,» *Hidrocoll de alimentos*, 2015.
- [69] N. Tissera, N. Wijesena, S. Rathnayake, R. de Silva y K. de Silva, «Heterogeneous in Situ Polymerization of Polyaniline (PANI) Nanofibers on Cotton Textiles: Improved Electrical Conductivity, Electrical Switching, and Tuning Properties,» *Carbohydr. Polym*, 2018.
- [70] T. Huang, Y. Qian, J. Wei y C. Zhou, «Envases de alimentos antimicrobianos poliméricos y sus aplicaciones,» *Polímeros*, vol. 11, 2019.
- [71] B. Alkan, E. Sehit, E. Tas, S. Unal y F. Cebeci, «Recubrimientos de halloysita cargados con carvacrol para envases de alimentos antimicrobianos aplicaciones.,» *Vida útil*, vol. 20, 2019.
- [72] C. Espinosa, S. Valle, C. Ybarra y T. Martínez, «Comportamiento postcosecha de frutos de aguacate 'Hass' afectado por temperatura y atmósfera modificada con microperforado,» *Revista fitotecnica mexicana*, vol. 37, n° 3, pp. 235-242, 2014.