

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingeniería**

**Elaboración de Empaques Activos tipo film de PLA con  
Aplicación de Aceites Esenciales como control microbiológico:  
una revisión bibliográfica**

**Melisa Aisha Mantilla Saraguro  
Vanesa Beatriz Romero Rodríguez  
Andrea Soledad Sánchez Montoya**

**Ingeniería en Alimentos**

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito  
para la obtención del título de  
Ingeniería en Alimentos

Quito, 16 de diciembre de 2020

**Universidad San Francisco de Quito USFQ**  
**Colegio de Ciencias e Ingeniería**

**HOJA DE CALIFICACIÓN  
DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA**

**Elaboración de Empaques Activos tipo film de PLA con Aplicación de Aceites Esenciales como control microbiológico: una revisión bibliográfica**

**Melisa Aisha Mantilla Saraguro**  
**Vanesa Beatriz Romero Rodríguez**  
**Andrea Soledad Sánchez Montoya**

**Nombre del profesor, Título académico**

**Javier Garrido, Máster**

Quito, 16 de diciembre de 2020

## © DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Melisa Aisha Mantilla Saraguro

Código: 00132471

Cédula de identidad: 1719147165

Nombres y apellidos: Vanesa Beatriz Romero Rodríguez

Código: 00131294

Cédula de identidad: 1727135764

Nombres y apellidos: Andrea Soledad Sánchez Montoya

Código: 00136963

Cédula de identidad: 1721940177

Lugar y fecha: Quito, 16, diciembre, 2020

## **ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN**

**Nota:** El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

## **UNPUBLISHED DOCUMENT**

**Note:** The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

## RESUMEN

En esta revisión bibliográfica se describen las propiedades, elaboración y aplicaciones de los empaques activos fabricados con ácido poliláctico (PLA) y aceites esenciales. Especialmente se describen las características y mecanismo de acción de una biopelícula antimicrobiana para embalaje de alimentos fabricada con nanofibras porosas de PLA y revestimiento polimérico con un sistema de liberación controlada de aceite esencial de tomillo. En el proceso de fabricación de los biopolímeros se destacó el método de electrohilado que permite elaborar las fibras para la óptima adherencia del aceite esencial y su posterior liberación paulatina. Mientras que la liberación controlada debe ser activada mediante factores físicos, de los cuales, la variación del porcentaje de humedad relativa resultó el más efectivo para moderar la cantidad de aceite emanada hacia el alimento mediante evaporación. El aceite esencial de tomillo presentó efectos antimicrobianos contra varios microorganismos patógenos como *L. Monocytogenes*, *S. aureus*, *E. faecalis* y *E. coli*. Por lo que, los empaques activos son capaces de prolongar la vida útil de varios tipos de alimentos sin influir en su calidad ni características organolépticas mediante la liberación controlada de aceites esenciales. Además, podrían reducir la generación de desechos no reusables y perjudiciales para el medio ambiente como son los plásticos laminados tipo film, ampliamente utilizados en la industria alimentaria para el empacado de productos procesados, que en la actualidad representan uno de los factores más contaminantes del planeta. Este tipo de embalajes también podrían contribuir con el creciente interés de evitar la contaminación con agentes microbiológicos patógenos en los alimentos y asegurar la bioseguridad en la cadena de valor de los productos, que ha tomado mayor importancia a partir de la pandemia de 2020.

**Palabras clave:** PLA, aceites esenciales, empaques activos, biodegradable, antimicrobiano

## ABSTRACT

This bibliographic review describes the properties, preparation and applications of active packages made with polylactic acid (PLA) and essential oils. In particular, the characteristics and mechanism of action of an antimicrobial biofilm for food packaging made of porous PLA nanofibers and polymeric coating with a thyme essential oil controlled release system is described. In the biopolymer manufacturing process, the electrospinning method was highlighted, which allows the production of porous PLA fibers optimal adherence of the essential oil and its subsequent gradual release. While the controlled release must be activated by physical factors, of which, the variation of the percentage of relative humidity was the most effective to moderate the amount of oil emanated towards the food through evaporation. Thyme essential oil showed antimicrobial effects against several pathogenic microorganisms such as *L. monocytogenes*, *S. aureus*, *E. faecalis*, *E. coli*. Therefore, active packaging is capable of prolonging the shelf life of various types of food without influencing their quality or organoleptic characteristics through the controlled release of essential oils. In addition, they could reduce the generation of non-reusable and environmentally harmful waste such as film-type laminated plastics, widely used in the food industry for the packaging of processed products, which currently represent one of the most polluting factors on the planet. This type of packaging could also contribute to the growing interest in avoiding contamination with pathogenic microbiological agents in food and ensuring biosecurity in the value chain of products, which has become more important since the 2020 pandemic.

**Keywords:** PLA, essential oils, active packaging, biodegradable, antimicrobial

## TABLA DE CONTENIDO

Introducción .....	10
Metodología .....	13
Definición del problema .....	14
Búsqueda de la información.....	16
Organización de la información.....	17
Análisis de la información .....	20
Films de PLA .....	20
Film de PLA poroso con liberación controlada de aceite esencial.....	22
Liberación controlada.....	23
Aceites esenciales como agentes antimicrobianos .....	29
Caracterización del aceite esencial de tomillo.....	29
Aplicación del aceite esencial de tomillo. ....	30
Conclusiones .....	34
Referencias.....	36
Anexos .....	42
ANEXO A: Propiedades de diferentes películas de polímeros incorporados con agentes antimicrobianos .....	42
ANEXO B: Tabla de composición química del aceite esencial de tomillo .....	43
ANEXO C: Componentes de algunos aceites esenciales comunes.....	44

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Búsqueda de la información. ....	17
Tabla 2. Referencias bibliográficas usadas para obtener la información.....	18

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Organización de información por subtema.....	19
Figura 2. Sistemas de empaque con liberación de agentes antimicrobianos. ....	24
Figura 3. Métodos para la liberación de agentes antimicrobianos en tecnologías de envasado de alimentos. ....	26
Figura 4. Comportamientos de liberación in vitro de TEO en una película de PLA y TEO. ..	27
Figura 5. Características del aceite esencial de tomillo. ....	30
Figura 6. Aplicaciones antibacterianas para envasado de fresas. ....	31
Figura 7. (B) Cambios de pérdida de peso y (C) cambios de firmeza durante el almacenamiento. ....	32

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad la sociedad se enfrenta a diferentes problemas dentro del ámbito de consumo alimenticio como la generación de desechos no reusables y perjudiciales para el medio ambiente. Así como también, la situación más reciente: una pandemia latente, con lo cual, la posible contaminación de los alimentos y el interés creciente de la bioseguridad en la cadena de valor de los productos desemboca en la búsqueda de una nueva generación de empaques que ayude a mantener los alimentos seguros para el consumo, que mejore las condiciones de vida útil y a la vez sea elaborado con materiales biodegradables que imiten las características de los altamente nocivos plásticos (García & Villalobos, 2013; Rodríguez & Molano, 2020).

La idea de empaques activos va más allá de crear empaques biodegradables. Los empaques activos se definen como un tipo de embalaje que a más de proteger al alimento debe cumplir una función adicional, como es el caso se considera la opción de que los films tengan la capacidad de acción antimicrobiana brindada por la liberación controlada de aceites esenciales, AE (Min *et al.*, 2020). Los empaques activos son parte de una tecnología que abarca muchas consideraciones para limitar el deterioro de los alimentos durante la cadena de valor posterior a la producción (Aguilar, 2012).

Los empaques activos, siguiendo la tendencia de generar empaques biodegradables, pueden ser elaborados con polímeros como matriz. El uso de ácido poliláctico, PLA, que es un biopolímero termoplástico que se compone de una molécula de ácido láctico, se ha considerado por su cualidad biodegradable por lo que se puede convertir completamente en agua y gas carbónico en aproximadamente treinta días o seis años, dependiendo de su composición o el uso específico destinado, ya sea empaques alimenticios o aplicaciones médicas (Zuluaga, 2013). Además, el PLA es usado por su biocompatibilidad dentro de la industria de los alimentos para crear embalajes alternativos (Blanco & Herryman, 2005). Dentro de las

tendencias en empaquetado se encuentran las tecnologías de encapsulamiento y liberación controlada de sustancias volátiles y no volátiles. Actualmente se combinan estas tecnologías con el uso de nanotecnologías aplicando sustancias bioactivas que se liberen de la matriz controladamente (Falguera *et al.*, 2011; Peksen *et al.*, 2016).

Enfocándose en la capacidad antimicrobiana de los empaques activos se pueden utilizar varias sustancias y de distintas formas de contacto (Robertson, 2013; Marturano *et al.*, 2019). La tecnología ha innovado en el encapsulamiento de sustancias con habilidades específicas, como es el control de microorganismos responsables del deterioro y contaminación de los alimentos (Bastarrachea *et al.*, 2011). El uso de sustancias volátiles ha aumentado debido a que proporcionan mayor eficiencia en la acción antimicrobiana. Los aceites esenciales contienen sustancias volátiles que han ganado protagonismo en la acción antimicrobiana, fungicida, antioxidante y su aplicabilidad en empaques activos, estos aceites esenciales pueden ser obtenidos de especias y plantas por procesos de destilado (Marturano, 2019; Kargosari & Hamedi, 2019; Pitarch, 2000).

Las enfermedades transmitidas por los alimentos, ETAs, pueden darse por varias razones entre las cuales se encuentra el crecimiento microbiano de organismos que son patógenos. Por esta razón se busca tener un control sobre la manipulación de los alimentos y usar métodos de conservación para inhibir el crecimiento microbiano o prolongar la vida de anaquel de los productos alimentarios (Morales, 2015; Adams *et al.*, 2016). Para que el crecimiento de microorganismos pueda darse en los alimentos, son necesarias ciertas condiciones como por ejemplo que el medio en donde crecen posea nutrientes para que los microorganismos puedan alimentarse, la temperatura, el pH y la actividad de agua, para esta última es importante tomar en cuenta que los aceites esenciales no tienen una acción directa

para inhibir los microorganismos dado que los aceites esenciales no son capaces de reducir la actividad de agua (Aguilar, 2012; Luck & Jager, 2001).

El objetivo de esta revisión bibliográfica es recopilar información científica que exponga la viabilidad de la idea de generar un empaque tipo película que sea elaborado con el biopolímero PLA, y que a la vez presente capacidades activas contra el crecimiento de microorganismos patógenos en los alimentos con ayuda de la liberación controlada de aceites esenciales, para esta revisión bibliográfica nos centraremos en específico en el aceite esencial de tomillo.

## METODOLOGÍA

Para la presente revisión bibliográfica, se utilizaron bases de datos electrónicas de: Science Direct-Elsevier, SCIELO, SCOPUS, Redalyc, ResearchGate, Royal Society of Chemistry, Oxford Academic, entre otras. Con el fin de encontrar información de apoyo sobre el uso de ácido poliláctico en empaques activos; liberación controlada de agentes antimicrobianos y el uso de aceites esenciales, específicamente el de tomillo, donde se explicará su efecto en el control microbiológico. Tras la recopilación de fuentes confiables se procedió a la lectura de las mismas como fase de búsqueda de información. Posteriormente se organizó la información para llegar a una discusión y conclusiones correspondientes al objetivo de esta revisión bibliográfica.

La presente revisión bibliográfica busca determinar la viabilidad y las experiencias exitosas del uso de ácido poliláctico en empaques activos. Así como indicar los aceites esenciales con resultados positivos en la acción antimicrobiana. Tomando en consideración posibles combinaciones, limitantes, interacción con matiz de diferentes polímeros y buscando mayor espectro de acción contra varios microorganismos.

En esta revisión bibliográfica se delimitaron las fechas de publicación de investigaciones a partir del año 2010 hasta el presente año 2020. Sin embargo, se han encontrado fuentes bibliográficas relevantes con fechas anteriores a las establecidas.

## DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad, el plástico representa uno de los factores más contaminantes del planeta. Específicamente aquellos que son de un solo uso como lo es el laminado tipo film, que es muy utilizado en la industria alimentaria para empaquetado de productos procesados. La tendencia de uso único de materiales plásticos se vio agravada por la pandemia de 2020, por ejemplo, como menciona la Empresa Pública Metropolitana de Aseo de Quito durante el trimestre uno del año 2020, se habría recolectado 40% más desperdicios que en el mismo periodo del año 2019. Se cree que el aumento de desechos se debe a motivos de higiene y salubridad ante el temor de contagio de Covid-19 (Alarcón, 2020).

Dentro de los efectos negativos, el plástico tipo film es una lámina fina por lo que su reciclaje y disposición final es más compleja que la de otros plásticos como el PVC. Los restos de las láminas de film se descomponen en microplásticos que amenazan los ecosistemas acuáticos y que al quemarlos o depositarlos en vertederos se espera la formación de dioxinas, compuestos químicos tóxicos que perpetúan en el ambiente (Alcalde, 2019).

Se pronostica que la pandemia tendrá un efecto en los hábitos de consumo alimenticio en el año 2021. Los consumidores cambiarán las tendencias de consumo masivo por ideologías más ahorrativas como preparar los alimentos en casa y comprar alimentos ultra procesados por confianza en la industria y bajos costos. De hecho, en Ecuador las compras de alimentos en línea aumentaron 30% y un estudio realizado por Kantar indica que 70% de los ecuatorianos se fija en el precio de los productos alimenticios que consume (Revista Líderes, 2020). La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura por sus siglas en inglés, FAO, por su parte pronostica un impacto en la cadena de consumo de alimentos y en la malnutrición. Recalcando que la pandemia hará más visible la desigualdad de ingresos y disposición de una alimentación saludable. El impacto de la pandemia sería más visible en la

cadena de suministros, entornos de distribución y el comportamiento de los consumidores. Dentro de los parámetros que la FAO menciona como los más importantes: el transporte, almacenamiento de alimentos y el pánico adquirido por los consumidores a la presencia de microorganismos patógenos en los alimentos (FAO, 2020).

## BÚSQUEDA DE LA INFORMACIÓN

La búsqueda de información se realizó con base en investigaciones en inglés y español referentes a temas relacionados con el uso del PLA en la industria de alimentos, los empaques bioactivos, aplicando liberación controlada de aceites esenciales. La mayor parte de artículos encontrados corresponden a los diez últimos años, sin embargo, se utilizaron citas de años anteriores que cuentan con información relevante para este trabajo.

En la tabla 1 se muestra el número de resultados obtenidos con respecto a las palabras claves ingresadas en el buscador, como son: PLA, liberación controlada y aceites esenciales. Se muestran las tres ecuaciones de búsqueda de información directamente relacionadas con el objetivo de la presente revisión bibliográfica. En total se encontraron 279.142 resultados de distintas bases de datos científicas como son: Science Direct-Elsevier, SCIELO, SCOPUS, ResearchGate, Royal Society of Chemistry y Oxford Academic.

Para cumplir con el propósito de esta revisión bibliográfica, primero se realizó una búsqueda sobre el PLA con la finalidad de conocer su obtención, características, aplicaciones y films realizados con este material. Posteriormente, la búsqueda se enfocó en encontrar detalles sobre la metodología de liberación controlada. Finalmente, se indagó los tipos de aceites esenciales con características antimicrobianas aplicados en la industria alimentaria, sus características y aplicaciones.

**Tabla 1.** Búsqueda de la información.

Palabra Clave	Ecuación de búsqueda	Base de Datos	Resultados
PLA (ácido poli láctico)	PLA films Polylactic Acid films	Science Direct- Elsevier	7051
		SCIELO	394
		SCOPUS	2297
		ResearchGate	2064
Liberación controlada	Liberación controlada empaques Controll released packaging	Science Direct- Elsevier	264649
		SCIELO	84
		SCOPUS	1282
		ResearchGate	100
Aceites esenciales	Aceites esenciales Esestial oils	Science Direct- Elsevier	659
		SCIELO	285
		SCOPUS	40
		ResearchGate	200
		Royal Society of Chemistry	7
		Oxford Academic	30
		<b>TOTAL</b>	279142

**Fuente:** Elaboración propia

## ORGANIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Como se observa en la tabla 2, para la presente revisión bibliográfica, se utilizó un total de 50 artículos. Dónde 36 fueron artículos científicos, 3 corresponden a revisiones bibliográficas, 6 de libros o capítulos de libros y por último 5 documentos de prensa digital. De las diferentes bases de datos se recopiló información para la argumentación de la presente revisión bibliográfica. Las diferentes fuentes fueron leídas y empleadas para la búsqueda de definiciones, datos, tablas, ejemplos, metodologías y recomendaciones que se consideren sustanciales y relevantes para la comprensión de esta revisión bibliográfica.

**Tabla 2.** Referencias bibliográficas usadas para obtener la información.

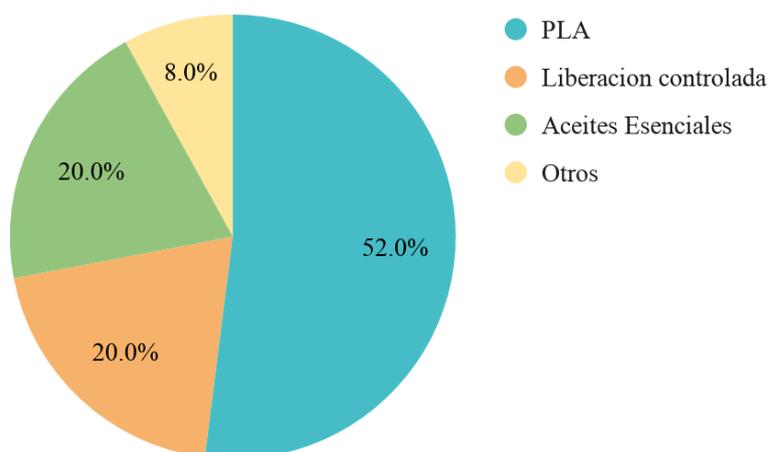
<b>Material informativo</b>	<b>Base de datos</b>	<b>Número de artículos</b>
<b>Artículo científico</b>	Oxford Academic	1
	Redalyc	2
	Research Gate	8
	SCIELO	6
	Science-Direct	9
	SCOPUS	2
	Otras	8
<b>Revisión Bibliografica</b>	Research Gate	2
	Redalyc	1
<b>Libro</b>	Acribia	1
	CRC Press	1
	Ediciones de la U.	1
	Red Tercer Milenio	1
	Royal Society of Chemistry	1
	Science-Direct	1
<b>Prensa Escrita</b>	National Geographic	1
	Natura Medicatrix	1
	Revista Lideres	1
	El comercio	1
	FAO	1
<b>TOTAL</b>		<b>50</b>

**Fuente:** Elaboración propia

Se puede observar en la figura 1 la clasificación de forma específica de las 50 fuentes seleccionadas. Donde el 52% de las fuentes, hacen referencia al PLA proporcionando información relevante como: conservación de alimentos, empaques activos, films de biopolímeros, las formas de obtención y posibles usos y también sobre tecnologías relacionadas como el electrohilado. La información que describe metodologías de incorporación y liberación controlada de agentes antimicrobianos corresponde al 20% y otro 20% de las fuentes bibliográficas resumen la acción y uso de aceites esenciales, la categorización de aceite esencial de tomillo y su acción antimicrobiana con consideraciones toxicológicas en alimentos. Finalmente, el porcentaje restante de fuentes seleccionadas, 8%, aportan información

correspondiente a otros aceites esenciales en el uso de empaques activos, artículos de prensa que detallan situaciones actuales y tendencias de consumo correspondientes al área de estudio de esta revisión bibliográfica.

**Figura 1.** Organización de información por subtema.



**Fuente:** Elaboración propia

## ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

### Films de PLA

Dentro de las innovaciones más modernas resultantes de las tecnologías emergentes se consideran las mejoras en empaques de Atmósferas Controladas y Atmósferas Modificadas. Las mejoras proponen el uso de biopolímeros, elaboración de películas comestibles que puedan emular las acciones funcionales, denominándose actualmente como empaques inteligentes y empaques activos. Los primeros monitorean y registran el proceso de deterioro en percha y los empaques activos neutralizan el deterioro (Rodríguez-Sauceda *et al.*, 2014). Se busca que los empaques funcionales a más de que cumplan las acciones funcionales mantengan la esencia de acción primordial de almacenamiento y conservación de alimentos (Castro, 2020).

Un empaque activo tipo film con acción antimicrobiana se denomina “Antimicrobial Active Packaging” o AAP por sus siglas en inglés y es una matriz tipo film en la que se carga o incorpora un agente activo con características antimicrobianas. Dentro de esta denominación el agente activo antimicrobiano puede ser liberado de forma gradual dentro de la atmósfera circundante al alimento o actuar posteriormente a un contacto directo con el alimento (Robertson, 2013; Kargosari & Hamed, 2019). Esta revisión bibliográfica se enfoca en la liberación gradual o controlada, tema que se tratará en la siguiente sección.

La elaboración de la película o film portador es un factor que se presenta como limitante en la comercialización de los AAP's. Este factor involucra los posibles cambios que pueden sufrir los agentes antimicrobianos durante este proceso. Se consideran dentro de la elaboración características mecánicas, como elasticidad; propiedad de barrera frente a gases, similar a las características de empaques con atmósferas controladas; propiedades térmicas, como la respuesta del agente antimicrobiano a cambios de temperatura en la película; y propiedades morfológicas, determinadas por una observación de microscopía electrónica de barrido, SEM (Báez, 2010; Bastarrachea *et al.*, 2011).

El material de la película es determinante en la acción de los AAP's. En esta revisión bibliográfica se menciona el uso de AE, donde su capacidad de mantenerse activos y cumplir con la conservación del alimento depende de la interacción con la película del empaque (Muller *et al.*, 2017). La acción de los aceites esenciales se tratará a profundidad en la sección final, sin embargo, (Marturano *et al.*, 2019) menciona que la incorporación de AE en las películas puede alterar aspectos ingenieriles del polímero. Por ejemplo, propiedades físicas como daños en la estructura de la película, alteraciones en la barrera de gases y variaciones en la reacción con calor. Otros autores mencionan cambios en la transparencia de la película (Atarés & Chiralt, 2016), pérdida de espesor (Falguera *et al.*, 2012) y aumento de la concentración de  $CO_2$  (Quintero *et al.*, 2010). El aumento de concentración de gases como el  $CO_2$  y una deficiente permeabilidad a los gases puede causar efectos negativos en un AAP's como producción de compuestos fenólicos por parte del alimento en respuesta al estrés generado, pardeamiento indeseado, alteraciones en propiedades sensoriales o inclusive generar condiciones aptas para un proceso de fermentación no deseable (Marturano, 2019). Por ello, se indica como indispensable el control de permeabilidad de gases en el desarrollo de de AAP's y se busca un biopolímero que logre controlar esas características. Dentro de la revisión bibliográfica realizada por Bastarrachea *et al.*, (2011) se recalca el uso de films de PLA para el control de permeabilidad de los AAP's, así como también en el estudio realizado por Min *et al.*, (2019) bibliografía principal, que utilizan el PLA como matriz para AE de tomillo.

El ácido poliláctico, es un poliéster que tiene la característica de ser biodegradable y bioactivo debido a sus componentes del ácido láctico. Este compuesto es compostable por lo que podría ayudar a solucionar el problema de residuos sólidos y especialmente la contaminación de materias primas derivadas del petróleo como los plásticos. Está aceptado por la FDA como GRAS, es decir, un compuesto generalmente reconocido como seguro (Tullin-Öz *et al.*, 2017). En la actualidad, representa el bioplástico más producido en el mundo (Sin &

Tuen, 2019). El empleo de PLA para desarrollar biofilms se ha convertido en un campo de investigación cada vez más explorado, a continuación, se mencionan algunos estudios.

### **Film de PLA poroso con liberación controlada de aceite esencial.**

Para elaborar el film se realizó un electrohilado de las fibras de PLA mediante un sistema donde se controla la humedad. Estas fibras fueron recubiertas con mezclas de alcohol polivinílico, PV, y polietilenglicol, PEG, para garantizar que la porosidad de las fibras pueda generar la liberación controlada del agente antimicrobiano. Se obtuvo una película con poros uniformes que proporcionaron excelente hidrofiliidad. Se usó para empacar fresas frescas dando como resultado la inhibición mayor a 99% del crecimiento de *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus* en una humedad relativa óptima del 80%, aumentando la vida útil de las fresas y disminuyendo su pérdida de firmeza (Min *et al.*, 2019).

Por lo que, el electrohilado es una técnica nanotecnológica bastante eficiente y versátil que permite desarrollar fibras de biopolímeros con diámetros de dimensiones nano y micrométricas que poseen excelentes propiedades de transferencia de masa, lo cual permite que los films tengan características activas como liberación controlada de ciertos compuestos que preservan las características organolépticas, físico-químicas y microbianas de varios tipos de alimentos (Olvera *et al.*, 2013). Los agentes funcionales se logran encapsular en las fibras durante el proceso de electrohilado, aumentando su biodisponibilidad (García, 2013). El proceso se genera por medio de una aguja conductora de acero inoxidable colocada en la hilera que tiene un diámetro externo de 0,7 mm y un diámetro interno de 0,4 mm. El voltaje usado generalmente es de 18 kV, la distancia punta al colector es de 10 cm, la velocidad de alimentación es de 0,5 ml/h y la velocidad de rotación del tambor es de 40 rpm. La temperatura puede variar entre cantidades cercanas a 50°C para evitar que se forme gel al momento de expulsar las soluciones desde la punta de la hilera. La humedad puede controlarse dependiendo

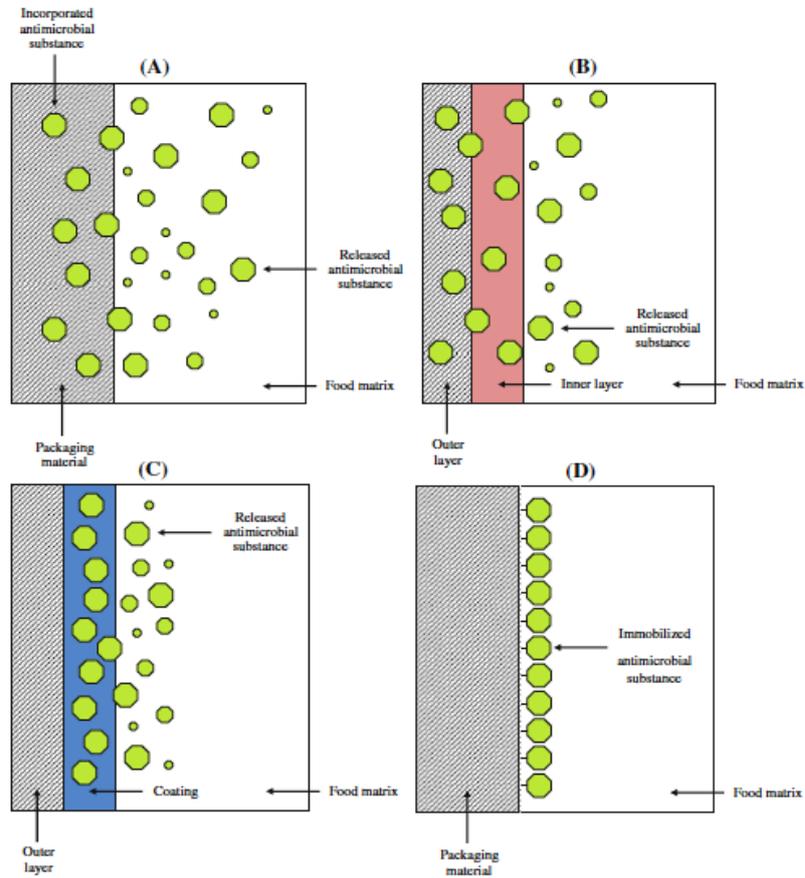
la porosidad que se quiere obtener en las fibras. El proceso puede llegar a durar entre 3 a 6 horas según varios estudios (Yang *et al.*, 2018; Jiang *et al.*, 2019; Díaz *et al.*, 2015).

### **Liberación controlada**

Es una tecnología que junto con la encapsulación existe desde 1940 y su aplicación se ha diversificado con el tiempo. La encapsulación consiste en almacenar sustancias como sabores, vitaminas, agentes anti microbiológicos, entre otros y que ayudan a mantener características deseables en los alimentos y también a inhibir factores no deseables (Aguilar, 2012). Las sustancias encapsuladas deben ser liberadas, dependiendo de lo deseado, en contacto directo con el alimento o en el ambiente circundante. Se libera inmediatamente cuando el contacto del agente no volátil entra en contacto con los alimentos (Robertson, 2013).

La liberación controlada utiliza sustancias volátiles como  $ClO_2$ ,  $SO_2$ ,  $CO_2$ , alcoholes y aceites esenciales. Las sustancias volátiles representan una ventaja en el uso de empaques activos ya que tiene la capacidad de entrar en contacto directo con los alimentos y aumentar la eficiencia de las características deseadas (Robertson, 2013). La liberación controlada de sustancias antimicrobianas puede darse de distintas formas, como se observa en la figura 2. En la imagen (A) se observa una capa de sustancia antimicrobiana que se libera controladamente, (B) representa una capa de agente antimicrobiano con una capa interna adicional que es responsable de controlar la liberación del agente, (C) ejemplifica una matriz empapada de agente antimicrobiano y (D) representa la acción del agente antimicrobiano únicamente cuando microorganismos entran en contacto con la superficie del envase (Bastarrachea *et al.*, 2011; Kargozari & Hamedí, 2019).

**Figura 2.** Sistemas de empaque con liberación de agentes antimicrobianos.



**Fuente:** Bastarrachea *et al.*, 2011

Para poder controlar el proceso de liberación de los agentes antimicrobianos, es importante determinar la forma en que la matriz absorbe al agente. La liberación controlada depende del polímero utilizado y la utilidad que se le quiera dar al AAP, lo que agrega funcionalidad a la película (Peksen *et al.*, 2016). El ingreso del agente a la matriz del polímero puede darse utilizando varias metodologías como son: por cambios bruscos o prolongados de temperatura, por osmosis, alteraciones en el pH de la matriz, donde esta absorbe como reacción al agente, aplicación de electricidad, donde se modifica la estructura de la matriz y esto permite el ingreso del agente (Peksen *et al.*, 2016). Otras nuevas tecnologías son: el nanoencapsulado, donde el agente activo se encuentra en la matriz durante su elaboración y es liberado

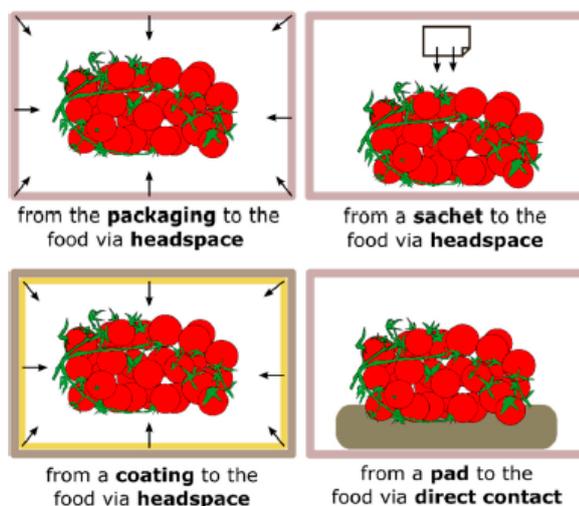
dependiendo de condiciones ambientales; y la elaboración de fibras porosas donde el agente activo pueda encapsularse (Min *et al.*, 2020; Liu *et al.*, 2017).

Por otra parte, existen metodologías suplementarias donde se puede combinar las tecnologías, sumergir las matrices en los agentes antimicrobianos y secarlas, aplicar diferentes capas de otros compuestos que protegen al agente activo o agentes adicionales que funcionan como catalizadores de la liberación controlada (Kargozari & Hamed, 2019; Bastarrachea *et al.*, 2011; Min *et al.*, 2020). En la revisión bibliográfica sobre empaques AAP's realizada por Bastarrachea *et al.* (2011) se mencionó una recopilación de las metodologías de incorporación del agente antimicrobiano a las películas junto con los resultados obtenidos en los diferentes estudios prácticos realizados; Ver Anexo A.

Otra metodología consistió en el reforzamiento del PLA con iones catiónico de cobre. Como resultado se obtuvo una película mediante electrohilado aportando mayor facilidad de encapsular agentes activos dentro y sobre la fibra de PLA (Vergara *et al.*, 2019).

En la figura 3, se pueden observar algunas formas de liberación del agente antimicrobiano en los AAP's. Dentro de las formas más conocidas se encuentran: adición de sobres o almohadillas portadoras de agentes antimicrobianos, incorporación de agentes volátiles o no en los polímeros, recubrimientos o absorción de agentes en el polímero, inmovilización de agentes antimicrobianos a polímeros mediante enlaces iónicos o covalentes y uso de polímeros que son inherentemente agentes antimicrobianos (Robertson, 2013; Rocca, 2018). En la figura 3 se puede visualizar el contacto de las diferentes formas de AAP con los alimentos.

**Figura 3.** Métodos para la liberación de agentes antimicrobianos en tecnologías de envasado de alimentos.



**Fuente:** Marturano *et al.*, 2, 2019

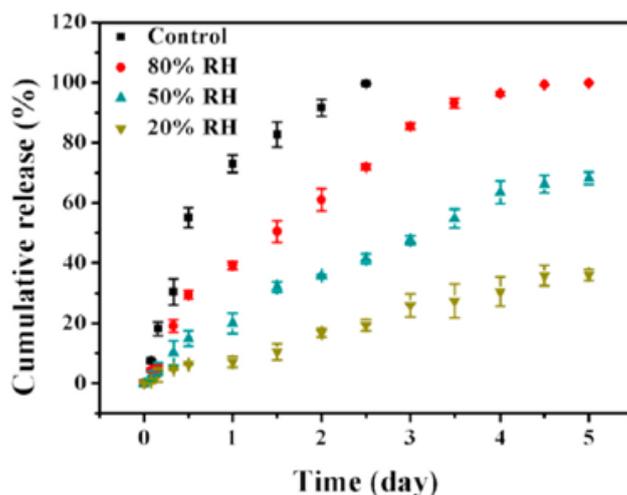
Por otro lado, el sistema de liberación controlada debe ser activado mediante un estímulo externo, ya sea temperatura, pH, campos magnéticos, luz o enzimas, ya que no es suficiente que las nanofibras de PLA sean porosas y permitan encapsular moléculas antibacterianas por su alta hidrofobicidad y capacidad de carga. De manera que, existen diversos materiales para realizar sistemas sensibles a la humedad, entre estos, la mezcla de alcohol polivinílico y polietilenglicol (PVA/PEG) tiene un comportamiento de hinchamiento que puede aumentar la permeabilidad al gas al contacto con vapor de agua (Min *et al.*, 2020; Fu *et al.*, 2010).

(Min *et al.*, 2020) elaboraron una biopelícula antimicrobiana para embalaje de alimentos. Fue fabricada con nanofibras porosas de PLA y revestimiento polimérico, tuvo un sistema de liberación controlada de aceite esencial de tomillo, TEO por sus siglas en inglés, activado por la humedad circundante. En este estudio se encapsuló el TEO sumergiendo las fibras porosas de PLA en una solución que tenía partes iguales de TEO, etanol y agua, durante 24 horas a 200 rpm. Luego las fibras se lavaron tres veces con agua desionizada y se

lioofilizaron. Posteriormente las fibras fueron sumergidas en la solución (PVA/PEG) durante 10 minutos y se sonicaron, dando como resultado una película compuesta de PLA, TEO, PVA y PEG.

Para evaluar el comportamiento de liberación de TEO, la película resultante se cortó en tres partes que fueron puestas en tres diferentes condiciones de humedad (20%, 50% y 80%) usando como control una película de PLA y TEO. Como se muestra en la figura 4, en la película de PLA y TEO más de 99% de TEO se liberó en dos días, mientras que, en la película de PLA, TEO, PVA y PEG, a los cinco días, el TEO alcanzó  $99,87 \pm 1,00\%$  a 80% de humedad relativa;  $68,16 \pm 2,16\%$  a 50% de humedad relativa y  $36,05 \pm 1,83\%$  a 20% de humedad relativa. Por lo que la velocidad de difusión de TEO aumentó a medida que aumentó la humedad (Min *et al.*, 2020).

**Figura 4.** Comportamientos de liberación in vitro de TEO en una película de PLA y TEO.



**Fuente:** Min *et al.*, 2020

Un reciente estudio desarrolló un sistema de liberación controlada usando complejos de ácido poliacrílico (PAA)/ lisozima (LYS) y aislado de proteína de suero hidrófilo. Estos compuestos permiten la adecuada actividad microbiana de la lisozima. Por otro lado, la densidad de carga de los complejos fue sensible al pH lo cual permitió una distribución uniforme en la matriz. Entre las propiedades mecánicas de la película se tuvo la carga

superficial y la hidrofilia, las cuales variaron dependiendo la relación de PAA y LYS. La película con 50% de LYS y 50% de PAA representó el mejor biopolímero. La liberación total del antimicrobiano se realizó en 72 horas, lo cual indicó una reducción logarítmica de 5,7 en la población bacteriana de listeria. Por lo que este film tuvo una acción antimicrobiana eficaz, siendo una potencial alternativa para envasar alimentos (Peksen *et al.*, 2016).

En otro estudio, donde se realizó un film de gelatina con liberación controlada de polifenoles del té nanoencapsulados en simulantes de alimentos grasos, para eso, se incorporaron nanopartículas de quitosano con diferentes eficiencias de encapsulación para garantizar la liberación controlada del antimicrobiano. La eficiencia de encapsulación dependía del nivel de agregación de las nanopartículas que se adherían por el aumento de tensión superficial de las soluciones filmógenas. Por lo que la liberación controlada resultó mejor en la encapsulación de 51,3% de eficiencia. Las películas en etanol al 50% liberaban el polifenol del té más rápidamente. Se usó la solución de etanol como un estimulante de alimentos grasos debido a la hinchazón por el agua. Este estudio puede dar lugar a nuevos diseños en la protección de alimentos grasos (Liu *et al.*, 2017).

Asimismo, en una investigación sobre el envasado activo de alimentos mediante la producción controlada in situ y liberación de hexanal, se planteó desarrollar un nuevo sistema que permita liberar de forma controlada el hexanal en empaque alimenticios que garanticen la calidad durante el transporte y almacenamiento de frutas y verduras. El hexanal es un compuesto volátil, seguro con propiedades antimicrobianas que puede ralentizar el ablandamiento y la maduración de estos alimentos. Además, confiere protección contra las reacciones de oxidación de lípidos generadas por enzimas y luz. Este film fue desarrollado con aceite de girasol en una matriz de aerogel de polisacárido cargados con hexanal y fue probado en arándanos y tomates cherry. La liberación del 100% de hexanal se realizó en 7 días, prolongando significativamente la vida útil de los alimentos en estudio. Este empaque puede

disminuir la cantidad de alimentos desechados por el deterioro causado en la cadena de distribución y almacenamiento, lo cual disminuiría la cantidad de residuos de la industria alimentaria contribuyendo con la preservación del medio ambiente (Lehtonen *et al.*, 2020).

En un estudio se mencionó que la liberación controlada ayuda a la gestión de riesgos de los individuos, y específicamente expresó que este sistema podría eliminar las bacterias patógenas que pueden adherirse durante la distribución de los alimentos. Para lo cual se elaboró una biopelícula antilisterial a base de zeína hidrófoba con aislado de proteína de soya hidrófila (SPI), proteína aislada de lenteja (LPI) y lisozima (LYS). La liberación de LYS se controló mediante el pH que variaba entre 4,3 y 7,3, resultando como pH óptimo de la liberación un valor de 4,5. Las muestras sobre las que se usó el film fueron: carne de res, cordero y salmón ahumado. El mecanismo de acción se enfocó en aumentar el estrés antimicrobiano patógeno que cambió el pH y generó la liberación controlada de LYS (Boyacı & Yemenicioglu, 2018).

### **Aceites esenciales como agentes antimicrobianos**

#### **Caracterización del aceite esencial de tomillo.**

El aceite esencial de tomillo se extrae de la planta del tomillo (*Thymus vulgaris*) perteneciente a la familia de las *Lamiaceae* (Balanta *et al.*, 2013). El aceite esencial del tomillo contiene cincuenta por ciento de carvacrol y cuarenta por ciento de timol que son fenoles y por ello este aceite posee un efecto antimicrobiano (Balanta *et al.*, 2013). El timol y el carvacrol son inhibidores de microorganismos y de bacterias, el timol se utiliza en muchos productos de higiene por estas propiedades y por su olor característico (Acevedo *et al.*, 2013; Morales, 2015). Las características del aceite esencial de tomillo pueden verse en la figura 5.

**Figura 5.** Características del aceite esencial de tomillo.

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>AE DE TOMILLO</b>
<b>Densidad relativa (g/mL)</b>	0.91
<b>pH</b>	5.45
<b>Olor</b>	Característico, aromático e irritante.
<b>Color</b>	Amarillo levemente oscuro.
<b>Sabor</b>	Picante, penetrante y levemente irritante.
<b>Aspecto general</b>	Líquido fluido, levemente turbio.

**Fuente:** Morales, 2015

La composición química del aceite esencial de tomillo puede observarse en el Anexo B, los datos fueron obtenidos por cromatografía del aceite esencial de tomillo en la Universidad Militar Nueva Granada en Colombia.

#### **Aplicación del aceite esencial de tomillo.**

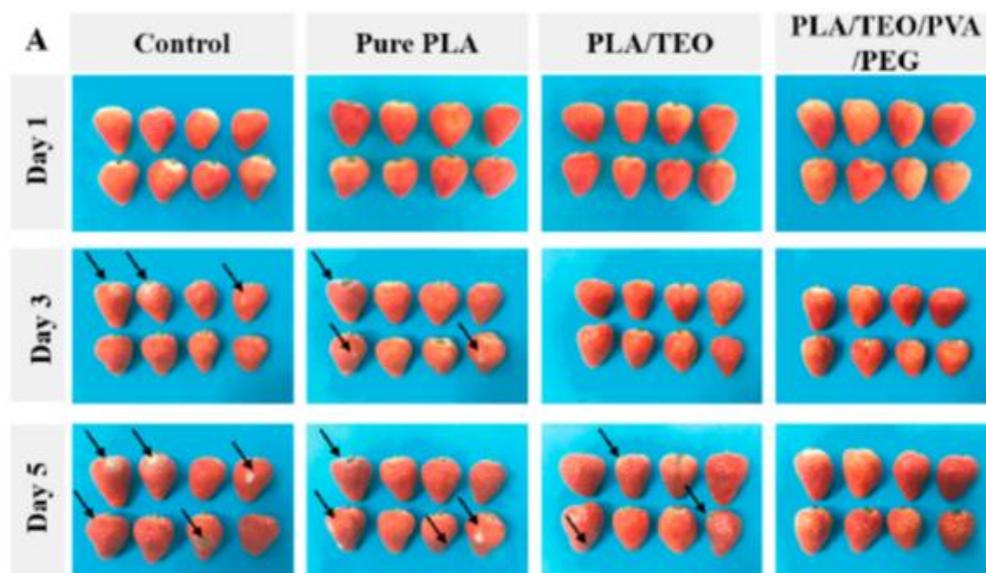
Se ha utilizado aceite esencial de tomillo en varios estudios tanto para analizar su efecto antimicrobiano, como para inhibir el crecimiento de *Listeria Monocytogenes* y *Staphylococcus aureus* en queso tipo ricotta donde se encontró que este aceite esencial no sólo inhibió los microorganismos mencionados, sino además a otras seis cepas bacterianas. Posteriormente se realizó un estudio en carne donde se obtuvo un mayor tiempo de conservación por el uso del aceite esencial de tomillo así también como para el queso ricotta (Morales, 2015; Chambi, & Quiroz, 2017).

En un estudio realizado con aceite esencial de tomillo y de romero, se demostró que estos aceites tienen una acción de inhibición muy alta y que puede ser comparada con la acción que posee la ampicilina, en contra de microorganismos como *S. aureus* donde se logró detener el crecimiento hasta en un sesenta por ciento, para *E. faecalis* en un cincuenta por ciento y para

las bacterias *E. coli* y *S. typhi* no existió un porcentaje de inhibición relevante por lo que se descarta la acción antimicrobiana para estos dos microorganismos (Coy & Eunice, 2013; Argote *et al.*, 2017).

Por otro lado, en un estudio, en una biopelícula de embalaje antimicrobiana elaborada con nanofibras porosas de ácido poliláctico y revestimiento polimérico se incorporó aceite de tomillo en las fibras de PLA poroso electrohilado y se cubrió con una mezcla de alcohol polivinílico y polietilenglicol (PVA/PEG) con la finalidad de que el TEO se libere de forma controlada en condiciones específica de humedad relativa (20%, 50% y 80%). Se aplicó un aceite esencial de tomillo mayor o igual al 98% de pureza debido a que es un agente antimicrobiano de amplio espectro. Para evaluar la actividad antimicrobiana del TEO en la película PLA/TEO/PVA/PEG se eligieron cuatro grupos de fresas colocados en los siguientes empaques: PLA puro, PLA/TEO, PLA/TEO/PVA/PEG y un grupo sin embalaje (control) como se ve en la Figura 6 (Min *et al.*, 2020).

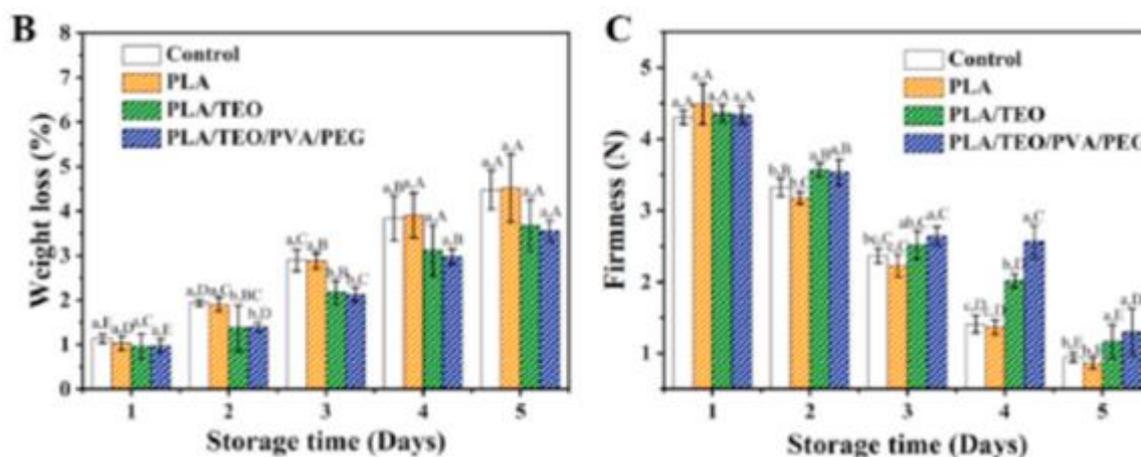
**Figura 6.** Aplicaciones antibacterianas para envasado de fresas.



**Fuente:** Min *et al.*, 2020

Las fresas de la película de PLA/TEO/PVA/PEG se mantuvieron frescas. Por lo que este empaque prolongó la vida útil de las fresas durante cinco días en almacenamiento. En cuanto al peso y firmeza de las fresas, todos los grupos perdieron peso luego del periodo de almacenamiento, sin embargo, las fresas contenidas en el empaque de PLA/TEO/PVA/PEG mostraron diferencia significativa en la reducción de la pérdida de tersura y firmeza provocada por la pérdida de agua de acuerdo al análisis estadístico aplicado al 5% de probabilidad como se observa en la Figura 7. Por otro lado, las tasas de inhibición para *E. coli* y *S. aureus* alcanzaron más del 99% en las películas de PLA/TEO y PLA/TEO/PVA/PEG, según el análisis estadístico aplicado al 5% de probabilidad. Por lo que la presencia de TEO inhibió significativamente la supervivencia de las bacterias patógenas (Min *et al.*, 2020).

**Figura 7. (B)** Cambios de pérdida de peso y (C) cambios de firmeza durante el almacenamiento.



**Fuente:** Min *et al.*, 2020

Adicionalmente, se han realizado muchas investigaciones para poder determinar que los aceites esenciales generalmente tienen acción contra microorganismos, bacterias, virus, insectos y parásitos. Algunos aceites esenciales actúan mejor frente a ciertos microorganismos

que contra otros y esto depende de su composición y principalmente de tres factores que son: el microorganismo al que se quiere atacar y el carácter hidrofílico e hidrofóbico del microorganismo, dado que de estas maneras se puede alterar la pared celular y desnaturalizar las proteínas de tal forma que por lisis los microorganismos mueren (Reyes *et al.*, 2012; Alzamora *et al.*, 2001). Se ha determinado que los aceites esenciales tienen un mejor efecto sobre la capacidad de inhibición para bacterias gram positivas en comparación con las gram negativas; donde su efecto es menor debido a que estas presentan un recubrimiento de lipopolisacáridos que protege a los microorganismos y de esta forma el aceite no entra en contacto directo y su acción inhibitoria se ve reducida (Morales, 2015). La acción inhibitoria depende de los agentes químicos del AE y también de su concentración en el empaque, a esta concentración se la conoce como concentración mínima inhibitoria, CMI, (Andrews, 2001).

Existen varios aceites esenciales disponibles que también han sido estudiados por sus propiedades antimicrobianas. En un estudio realizado en Colombia, se analizaron aceites esenciales del género *Citrus* como el aceite esencial de mandarina y pomelo, donde se encontró que estos poseen una CMI de alrededor del noventa por ciento para inhibir el crecimiento de *S. aureus*, *S. epidermidis*, *E. Coli* y *K. pneumoniae* (Torrenegra *et al.*, 2017).

Los aceites esenciales no han sido ampliamente estudiados por lo que las dosis letales que se presentan en la bibliografía son pocas y variables respecto unas con otras, por ello es necesario realizar estudios donde se determinen las dosis letales permitidas para el uso de cada aceite esencial (Pina, 2012). Dado que existen muchos aceites esenciales disponibles, se recomienda buscar estudios donde se apliquen dependiendo del microorganismo al que se quiera inhibir. En el Anexo C se muestra una tabla de algunos aceites esenciales comunes y sus componentes.

## CONCLUSIONES

La presente revisión bibliográfica examinó la viabilidad de un empaque plástico tipo film de PLA con acción antimicrobiana mediante la liberación controlada de aceite esencial de tomillo. Tras la revisión de fuentes bibliográficas, la lectura de estudios prácticos con objetivos similares y libros científicos con información teórica se puede mencionar que el uso del biopolímero PLA, es factible para la elaboración de empaques alimenticios ya que actúa favorablemente como matriz de empaques activos usando agentes antimicrobianos.

Varias fuentes bibliográficas mencionan la importancia de la interacción del material biopolimérico con el alimento y la metodología de elaboración del mismo para lograr un empaque activo exitoso, viable y comercializable. Se mencionan varios procedimientos para la elaboración, siendo el electrohilado, dentro de las fuentes bibliográficas consideradas el método sugerido para generar la matriz. Concluyendo así que el uso de PLA en la matriz del empaque favorece en la interacción que tiene con el alimento, facilidad de fabricación y excelente acoplamiento con el agente antimicrobiano debido a su textura fibrosa.

Dentro de la información teórica correspondiente a los empaques activos se incluye la liberación controlada de un agente con una función determinada. Dentro de la presente revisión bibliográfica se revisó metodología, diferentes mecanismos y se determina que por efecto de evaporación del agente antimicrobiano se puede lograr la acción activa de control microbiológico utilizando agentes naturales y un plástico con características biodegradables.

Por su parte, el aceite esencial de tomillo es considerado dentro de una amplia variedad de agentes antimicrobianos provenientes de plantas o especias. El aceite esencial de tomillo presenta efectos antimicrobianos contra varios microorganismos como *L. Monocytogenes*, *S. aureus*, *E. faecalis*, *E. coli* y además seis cepas bacterianas adicionales. Siendo dichos microorganismos los causantes de la mayoría de las enfermedades transmitidas por los

alimentos cumpliendo así con el objetivo de generar un empaque activo que aporte a la seguridad alimentaria. El uso del aceite esencial de tomillo determina un efecto importante sobre la conservación de alimentos por lo que su uso es recomendable para la elaboración de empaques con liberación controlada de aceites esenciales.

## REFERENCIAS

- Acevedo, D., Navarro, M., & Monroy, L. (2013). Composición Química del Aceite de Hojas de Orégano (*Origanum vulgare*). *Información tecnológica*, 24, pp 43-48.
- Adams, M., Moss, M., & McClure, P. (2016). *Food Microbiology*. 4th Edition. Royal Society of Chemistry
- Aguilar, J. (2012). *Métodos de conservación de alimentos*. México: Red Tercer Milenio
- Alarcón, I. (2020). Consumo de plástico de un solo uso aumenta en la pandemia. *El Comercio*.  
Obtenido el 25 de septiembre 2020: <https://www.elcomercio.com/tendencias/consumo-plastico-aumenta-pandemia-quito.html>
- Alcalde, S. (2019). El film plástico es tan práctico como contaminante. *National Geographic. Ciencia*.  
Obtenido el 25 de septiembre 2020: [www.nationalgeographic.com.es.https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/film-transparente-es-tan-practico-como-contaminante\\_14549](https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/film-transparente-es-tan-practico-como-contaminante_14549)
- Alzamora, L., Morales, L., Armas, L., & Fernández, G. (2001). *Medicina Tradicional en el Perú: Actividad Antimicrobiana in vitro de los Aceites Esenciales Extraídos de Algunas Plantas Aromáticas*. Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos
- Andrews, J. (2001). Determination of minimum inhibitory concentrations. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, Volume 48, Oxford Academic.
- Argote, F., Suarez, Z., Tobar, M., Perez, J., Hurtado, A., & Delgado, J. (2017). Evaluación de la capacidad inhibitoria de aceites esenciales en *Staphylococcus aureus* y *Escherichia Coli*. Colombia: *Bioteología en el sector agropecuario y agroindustrial*
- Atarés, L., & Chiralt, A. (2016). Essential oils as additives in biodegradable films and coatings for active food packaging. *Trends Food Sci. Technol.* 2016, 48, 51–62.

- Balanta, J., Ramirez, L., & Caicedo, L. (2013). Características fisicoquímicas y actividad antimicótica del extracto de tomillo sobre cepas *Fusarium oxysporum*. Universidad Santiago de Cali. Colombia.
- Báez, J. (2010). Cómo obtener un polímero degradable en el laboratorio: síntesis de la poli(d,l-láctida) y caracterización por RMN 1. *Educación Química*, 170-178.
- Bastarrachea, L., Dhawan, S., & Sablani, S. (2011). Engineering Properties of Polymeric-Based Antimicrobial Films for Food Packaging: A Review. *Food Eng Rev* 3, 79–93. <https://doi.org/10.1007/s12393-011-9034-8>
- Blanco, M., & Herryman, G. (2005). Ácido láctico y poliláctico: Situación actual y tendencias. Cuba: Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar.
- Boyacı, D., & Yemenicioglu, A. (2018). Expanding horizons of active packaging: Design of consumer controlled release systems helps risk management of susceptible individuals. *Food Hydrocolloids*, 291-300.
- Castro, K. (2010). Tecnología de alimentos. Capítulo 1: Conservación de alimentos. Ediciones de la U. Bogotá. ISBN 978-958-8675-38-1
- Chambi, L., & Quiroz, K. (2017). Extracción de aceites esenciales de tomillo (*Thymus Vulgaris* L.) y su evaluación aplicada a la conservación de embutidos tipo chorizo. Perú: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa
- Coy, C., & Eunice, G. (2013). Actividad antibacteriana y determinación de la composición química de los aceites esenciales de romero (*Rosmarinus officinalis*), tomillo (*Thymus vulgaris*) y cúrcuma (*Curcuma longa*) de Colombia. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 18.
- Díaz, C., Kim, S., & Pao, H. (2015). Film Performance of Poly (lactic acid) Blends for Packaging Applications. *Applied packaging research*, 43-53.

- Falguera, V., Quintero, J., Jimenez, A., Muñoz, J., & Ibarz, A. (2011). Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. *Trends Food Science and Technology*. doi:10.1016/j.tifs.2011.02.004
- FAO. (2020). Sistemas alimentarios y COVID-19 en América Latina y el Caribe: Hábitos de consumo de alimentos y malnutrición. *Boletín N° 10*. Obtenido el 25 de septiembre 2020: <http://www.fao.org/3/cb0217es/CB0217ES.pdf>
- Fu, X., Wang, J., & Jin Z. (2010). Preparation and Properties of Functionalization for PLA Film . *Scientific Research*, 254-259.
- García, L., & Villalobos, S. (2013). Empaques Plásticos Biodegradables en Alimentos Frutícolas en las Empresas colombianas. Universidad de San Buenaventura. Colombia. Obtenido el 25 de septiembre 2020: <http://biblioteca.usbbog.edu.co:8080/Biblioteca/BDigital/74366.pdf>
- García, N. (2013). Electrospinning: una Técnica Fascinante para la Obtención de Nanofibras Poliméricas. *Revista Plásticos Modernos*, 163-173.
- Jiang Y., Yan C., Wang K., Shi D., Liu Z., & Yang M. (2019). Super-Toughed PLA Blown Film with Enhanced Gas Barrier Property Available for Packaging and Agricultural Applications. *Materials*, 1-10.
- Kargozari, M., & Hamed, H. (2019). Incorporation of essential oils (EOs) and nanoparticles (NPs) into active packaging systems in meat and meat products: A review. Branch, Islamic Azad University.
- Lehtonen, M., Kekäläinen S., Nikkilä I., Kilpeläinen P., Tenkanen M., & Mikkonen S. (2020). Active food packaging through controlled in situ production and release of hexanal. *Food Chemistry: X*, 1-17.
- Liu, F., Avena, J., Chiou, B., Li, Y., Ma, Y., Williams, T., Wood, D., McHugh, T., & Zhong, F. (2017). Controlled-release of tea polyphenol from gelatin films incorporated with

- different ratios of free/nanoencapsulated tea polyphenols into fatty food simulants. *Food Hydrocolloids*, 212-221.
- Luck, E., & Jager, M. (2000). Conservación química de los alimentos. Características, usos, efectos. Segunda Edición. Alemania: Acribia
- Marturano, V., Bizarro, V., Ambrogi, V., Cutignano, A., Tommonaro, G., Abbamondi, G., Giamberini, M., Tylkowski, B., Carfagna, C., & Cerruti, P. (2019). Light-Responsive Nanocapsule-Coated Polymer Films for Antimicrobial Active Packaging. doi:10.3390/polym11010068
- Min, T., Sun, X., Yuan, Z., Zhou, L., Jiao, X., Zha, J., Zhu, Z., & Wen, Y. (2020). Novel antimicrobial packaging film based on porous poly (lactic acid) nanofiber and polymeric coating for humidity-controlled release of thyme essential oil. China: Elsevier
- Morales, A. (2015). Efecto Antimicrobiano del Aceite Esencial del Tomillo (*Thymus vulgaris*) sobre la contaminación de *Listeria monocytogenes* en queso Ricotta. Colombia: Universidad Nacional de Colombia
- Muller, J., Gonzalez-Matinez, C., & Chirat, A. (2017). Active films for food packaging based on poly(lactic) acid and starch. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Olvera, G., Aguilar, J., & Tetyana, K. (2013). Procesamiento de micro y nanofibras de polipirrol/óxido de polietileno/nylon-6 por la técnica de electrohilado. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 575-581.
- Peksen, B., Uz, M., Oymaci, P., & Altinkaya, S. (2016). Development of a novel strategy for controlled release of lysozyme from whey protein isolate based active food packaging films. Elsevier
- Pina, J. (2012). Clasificación Toxicológica y Etiquetado de Productos Fitosanitarios. Criterios Regulatorios Locales e Internacionales. Argentina: International Life Science Institute

- Pitarch, C. (2000). Evaluación de la actividad antimicrobiana de los aceites esenciales. Valencia: Natura Medicatrix
- Quintero, J., Falguera, V., Muñoz, H. (2010). Películas y recubrimientos comestibles: importancia y tendencias recientes en la cadena hortofrutícola. Colombia: Revista científica Tumbaga, 1,5
- Rocca, J. (2018). A contribution of understanding the stability of commercial PLA films for food packaging and its surface modifications. Besanzón: Université Bourgogne Franche-Comté.
- Rodríguez, Y., & Molano, H. (2020). Estrategias ambientales y caracterización del diseño de empaques plásticos utilizados en la comercialización de alimentos procesados. Universidad Santo Tomás. Colombia. Obtenido el 25 de septiembre 2020: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/29838/2020helbertmolano.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rodríguez-Sauceda, R., Rojo, E., Martínez, R., Piña, H., Ramírez, B., Vaquera, H., & Cong, M. (2014). Envases Inteligentes para la Conservación de alimentos. <https://www.redalyc.org/pdf/461/46132135012.pdf>
- Robertson, L. (2013). Food Packaging Principles and Practice. Australia: CRC Press
- Revista Líderes. (2014). El consumo será analítico, con más servicios y tecnología. *Revista Líderes. Informe* (Abril 13). N,1,169. Obtenido el 25 de septiembre 2020: <https://www.revistalideres.ec/lideres/consumo-analitico-servicios-tecnologia-empresas.html>
- Reyes, J., Palou, E., & López, A. (2012). Vapores de aceites esenciales: alternativa de antimicrobianos naturales. México: Universidad de las Américas Puebla
- Sin, L., & Tuen, B. (2019). Polylactic Acid: a practical guide for the processing, manufacturing, and applications of PLA. Oxford: William Andrew.

- Torrenegra, E., Pájaro, N., & León, G. (2017). Actividad antibacteriana in vitro de aceites esenciales de diferentes especies del género *Citrus*. *Revista Colombiana de Ciencias Químico- Farmacéuticas*, 46.
- Tullin-Oz, A., Süfer, Ö., Celebi, Y. (2017). Poly (Lactic Acid) Films in Food Packaging Systems. *Food Science and Nutrition Technology* , 1-5.
- Vergara, J., Gacitúa, W., & Martín, S. (2019). Desarrollo de un biofilm en base a PLA cargado con iones de cobre soportados en nanopartículas de zeolita natural chilena y reforzado con nanofibras de celulosa para el empaque de alimentos cárnicos. *Biopolímeros*, 73-115.
- Yang, W., Zhang, M., Li, X., Jiang, J., Sousa, M., Zhao, Q., Pontious, S., & Liu, L. (2018). Incorporation of Tannic Acid in Food-Grade Guar Gum Fibrous Mats by Electrospinning Technique. *Polymers*, 1-99.
- Zuluaga, F. (2013). Algunas aplicaciones del ácido poli-l-láctico. Cali: Universidad del Valle.

## ANEXOS

### ANEXO A: Propiedades de diferentes películas de polímeros incorporados con agentes antimicrobianos

Film	Antimicrobial	Antimicrobial incorporation method	Tensile properties without the antimicrobial substance			Tensile properties with the antimicrobial substance			Source
			Elastic modulus (KPa)	Tensile strength (KPa)	Elongation at break (%)	Elastic modulus (KPa)	Tensile strength (KPa)	Elongation at break (%)	
PE/PA/PE	Nisin	Solution coating with HPMC (hydroxypropyl methylcellulose)	110*		271*	420*		130*	Guiga et al. [8]
Multilayer polyethylene film	Silver nanoparticles (0.6% w)	Lamination and extrusion	27,000		460	24,000		445	Sánchez-Valdez et al. [34]
Multilayer polyethylene film	Silver nanoparticles (0.6% w)	Blending through sonication and solution-casting method	27,000		460	25,500		495	Sánchez-Valdez et al. [34]
Multilayer polyethylene film	Silver nanoparticles (0.6% w/w)	Spraying	27,000		460	26,000		480	Sánchez-Valdez et al. [34]
Cellulose derivative polymer	Natamycin formulation (8% w/w)	Blending and solution-casting method		0.09*	4.54*		0.0573*	1.69*	Pires et al. [25]
Cellulose derivative polymer	Nisin formulation (50% w/w)	Blending and solution-casting method		0.09*	4.54*		0.0260*	1.03*	Pires et al. [25]
Cellulose derivative polymer	Natamycin and Nisin formulation (8% and 50% w/w, respectively)	Blending and solution-casting method		0.09*	4.54*		0.0113*	0.72*	Pires et al. [25]
Vinylidene chloride copolymer	Sorbic acid (1.5% w/v)	Blending and solution-casting method		34,032.52*	11.9		20,753.22*	16.2	Limjaroen et al. [20]
Vinylidene chloride copolymer	Sorbic acid (2% w/v)	Blending and solution-casting method		34,032.52*	11.9		20,580.85*	15.4	Limjaroen et al. [20]
Vinylidene chloride copolymer	Sorbic acid (3% w/v)	Blending and solution-casting method		34,032.5*	11.9		19,594.90*	16.7	Limjaroen et al. [20]
Vinylidene chloride copolymer	Potassium sorbate (2% w/v)	Blending and solution-casting method		34,032.5*	11.9		13,251.72*	12.7	Limjaroen et al. [20]
Vinylidene chloride copolymer	Potassium sorbate (3% w/v)	Blending and solution-casting method		34,032.5*	11.9		8,673.60*	13.9	Limjaroen et al. [20]
Vinylidene chloride copolymer	Nisin (1% w/v)	Blending and solution casting		34,032.5*	11.9		7 191.23*	11.1	Limjaroen et al. [20]
Vinylidene chloride copolymer	Nisin (2% w/v)	Blending and solution casting		34,032.5*	11.9		6,563.81*	10	Limjaroen et al. [20]
Vinylidene chloride copolymer	Nisin (2.5% w/v)	Blending and solution casting		3,4032.5*	11.9		5,488.23	11	Limjaroen et al. [20]

Fuente: Bastarrachea *et al.*, 2011

**ANEXO B:** Tabla de composición química del aceite esencial de tomillo

No.	Compuestos	Índice de refracción	%
1	Isobutirato de isobutilo	892	0,8
2	$\alpha$ -tujeno	922	0,3
3	$\alpha$ -pineno	931	29
4	Sabineno	971	0,6
5	Mirceno	981	0,2
6	$\delta$ -3-careno	998	0,2
7	p-cimeno	1013	0,2
8	Limoneno	1025	0,3
9	1,8-cineol	1028	21,5
10	o-cimeno	1038	17,9
11	$\gamma$ -terpinoleno	1051	0,1
12	Terpinoleno	1082	0,6
13	Linalool	1122	0,3
14	$\alpha$ -camfolenal	1130	10,4
15	Trans-pinocarveol	1154	0,03
16	$\gamma$ -terpineol	1169	0,07
17	Terpineno-4-ol	1180	0,09
18	$\alpha$ -terpineol	1213	0,5
19	trans-carveol	1217	3,17
20	cis-carveol	1242	0,4
21	Geraniol	1248	0,07
22	Acetato de linalilo	1310	1,1
23	Geranilato de metilo	1342	4,8
24	Acetato de terpinilo	1351	0,2
25	Acetato de nerilo	1369	1,3
26	Metileugenol	1430	0,09
27	B-cariofileno	1463	1,6
28	$\alpha$ -humuleno	1562	0,2
29	Spatulenol	1586	0,07
30	Epóxido de cariofileno	1608	0,1

**Fuente:** Coy & Eunice, 2013

## ANEXO C: Componentes de algunos aceites esenciales comunes

Nombre común	Nombre científico	Componente mayoritario	Composición aproximada (%)
Cilantro	<i>Coriandrum sativum (seeds)</i>	Linalol	70%
		E-2-decanal	-
Canela	<i>Cinnamomum zeylandicum</i>	Trans-cinamaldehído	65%
Orégano	<i>Origanum vulgare</i>	Carvacrol	traza 80%
		Timol	traza 64%
		γ-Terpineno	2-52%
		p-cimeno	traza 52%
Romero	<i>Rosmarinus officinalis</i>	α-pineno	2-25%
		Acetato de bornilo	0-17%
		Alcanfor	2-14%
Salvia	<i>Salvia officinalis L.</i>	1,8 cineol	3-89%
		Alcanfor	6-15%
		α-pineno	4-5%
		β-pineno	2-10%
		1,8-cineol	6-14%
Clavo	<i>Syzygium aromaticum</i>	α-tujona	20-42%
		Eugenol	75-85%
Tomillo	<i>Thymus vulgaris</i>	Acetato de eugenilo	8-15%
		Timol	10-64%
		Carvacrol	2-11%
		γ-Terpineno	2-31%
		p-cimeno	10-56%

Fuente: Balanta et al., 2013