

<https://orcid.org/0000-0002-1232-3531>
<https://orcid.org/0000-0002-4084-2291>
<https://orcid.org/0000-0003-0973-4521>
<https://orcid.org/0000-0003-4318-5052>

EFECTO BACTERICIDA DEL ACEITE ESENCIAL DE CANELA CONTRA *Salmonella* spp.

BACTERICIDE EFFECT OF CINNAMON ESSENTIAL OIL AGAINST *Salmonella* spp.

María Alessandra Erosa-Rivera, José Marcos Jiménez-Morales, Jesús Ortiz-Saucedo, Natalia Johana Martínez-Sulvarán

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Facultad de Ciencias Biológicas

Licenciatura en Biotecnología

maria.erosa@alumno.buap.mx

Resumen

Las enfermedades de transmisión alimentaria siguen siendo algunas de las patologías más frecuentes en el mundo. Además, el alza en la proliferación de las superbacterias multiresistentes ha provocado que en el gremio científico surja una línea de investigación dedicada a la búsqueda de alternativas a los antibióticos actuales con énfasis en productos naturales, específicamente en aceites esenciales que cuentan con un potencial de aplicación biotecnológica. Debido a su uso ancestral en el control microbiológico, el aceite esencial de canela se propone como uno de los principales candidatos para la solución de los problemas previamente planteados. Se ha reportado que las propiedades antibacterianas de este aceite esencial están relacionadas con su composición química, ya que contiene concentraciones altas de cinamaldehído y eugenol. Entre los patógenos prioritarios, se encuentran aquéllos que pertenecen al género *Salmonella*. Este grupo de microorganismos se reconoce como el principal agente causal de mayor incidencia reportado en los casos clínicos asociados a infecciones adquiridas por consumo de alimentos contaminados, llegando a provocar la muerte de un gran número de pacientes, principalmente en países en vías de desarrollo.

Debido a estas circunstancias, diversos grupos de investigación se han dedicado a la búsqueda de sustancias dentro de los aceites esenciales que ayuden a frenar y prevenir los brotes de infecciones causadas por *Salmonella*. Actualmente, cada vez se realizan más estudios e investigaciones enfocados en tratar de comprender a fondo el efecto antagonista del aceite esencial de canela contra *Salmonella*.

Palabras clave: *Salmonella*, Cinamaldehído, Eugenol, Antimicrobiano, Seguridad alimentaria, Canela

Abstract

Foodborne diseases continue to be some of the most frequent pathologies around the world. Furthermore, the rise in the proliferation of multi-resistant superbacteria has led the scientific community to a line of research for alternatives to current antibiotics, focusing on natural products, specifically essential oils that have a considerable potential for biotechnological applications. Because of its ancestral use in microbiological control, cinnamon essential oil is proposed as one of the main candidates to solve the problems raised above. The antibacterial properties of cinnamon essential oil have been reported to be related to its chemical composition, since it contains high concentrations of cinnamaldehyde and eugenol. Among the priority pathogens are those belonging to the genus *Salmonella*, which is a group of microorganisms recognized as the causal agent with the highest incidence reported in clinical cases associated with infections transmitted by contaminated food and leading to the death of a large number of patients, mainly in developing countries. Due to these circumstances, several research groups have been searching for substances within essential oils that may help to stop and prevent outbreaks of infections caused by *Salmonella*. Currently, more and more studies and research are being carried out, focusing on a thorough understanding of the antagonistic effect of cinnamon essential oil against *Salmonella*.

Keywords: *Salmonella*, Cinnamaldehyde, Eugenol, Antimicrobial, Food security, Cinnamon

1. Introducción

La contaminación por microorganismos se considera la principal causa de enfermedades transmitidas por los alimentos y el deterioro de la calidad de los mismos. Como resultado de este problema, en la industria alimentaria surge la necesidad de desarrollar tecnologías efectivas para desactivar o eliminar los agentes patógenos de los productos destinados al consumo humano (Feng *et al.*, 2017).

Los aceites esenciales son sustancias volátiles producidas como metabolitos secundarios en las plantas y han mostrado tener numerosas propiedades de gran interés para el ser humano, entre las que se destaca su actividad antimicrobiana al conferirles un enorme potencial prometedor en diversas industrias, como la agroalimentaria, cosmética, farmacéutica y de perfumes. Estas moléculas de naturaleza aromática funcionan como agentes antimicrobianos efectivos contra una variedad de patógenos transmitidos por los alimentos, así que han sido aprobadas como sustancias generalmente reconocidas como seguras (GRAS, acrónimo inglés para la frase *generally recognized as safe*) para productos alimenticios, con efectos secundarios indeseables muy bajos (Nabavi *et al.*, 2015).

La actividad antimicrobiana de los aceites esenciales es conferida por su naturaleza hidrofóbica, la cual permite la asociación e interacción entre lípidos de la membrana celular bacteriana y grupos funcionales específicos, perturbando así la estructura celular, haciéndola más permeable y, finalmente, provocando lisis (Bajpai *et al.*, 2012). De esta manera, los aceites esenciales representan una alternativa interesante al uso indiscriminado de antibióticos y, por lo tanto, a la resistencia emergente en los microorganismos.

La canela es una especie que se obtiene de la corteza del árbol del mismo nombre (*Cinnamomum zeylanicum*) y pertenece a la familia *Laureaceae* proveniente de Asia y África. Esta especie es una de las más conocidas e importantes en el mundo al destacar por sus propiedades culinarias, aromáticas y curativas.

La composición química del aceite de canela está constituida por 38 fitoquímicos, de los cuales el compuesto más prominente es el cinamaldehído (70-80%), seguido del eugenol (4-10%), limoneno (2.42%), acetato de cinamilo (2.03%), linalol (1.16%) y α -terpineol (0.87%). Los compuestos químicos restantes están presentes en cantidades trazas (menos de 0.5%). El cinamaldehído es una de las moléculas de mayor interés para el desarrollo como agente antimicrobiano alimentario debido a su amplio espectro contra microorganismos tanto Gram positivos como Gram negativos. Cabe resaltar que esta sustancia está registrada y autorizada por la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA, acrónimo inglés de la *Food and Drug Administration*) como agente saborizante añadido (Rattanachaikunsopon y Phumkhachorn, 2012).

Salmonella es uno de los géneros de enterobacterias patógenas más comúnmente asociadas a enfermedades transmitidas por alimentos. Hasta la fecha se conocen más de 2,000 serotipos de *Salmonella*, pero sólo una pequeña fracción de éstos están comúnmente asociados a enfermedades transmitidas por los alimentos, como *Salmonella* Typhimurium (responsable de la salmonelosis) y *Salmonella* Typhi (responsable de la fiebre tifoidea), consideradas los principales agentes causales (Gómez-Aldapa *et al.*, 2012).

Se ha reportado que el cinamaldehído actúa de manera antagónica inhibiendo el crecimiento bacteriano, lo que incluye *Clostridium botulinum*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* Typhimurium, entre otros (Park *et al.*, 2017).

Este artículo presenta una investigación bibliográfica sobre la canela y las propiedades antimicrobianas de los compuestos fenólicos de su corteza, principalmente el cinamaldehído, contra *Salmonella* spp.

2. Control de *Salmonella* por Antimicrobianos Naturales de Origen Vegetal

2.1. *Salmonella* y los Alimentos

La salmonelosis y la fiebre tifoidea son dos de las principales infecciones bacterianas del sistema gastrointestinal que han plagado a la humanidad desde sus orígenes y, en la

actualidad, siguen representando un enorme problema de salud pública alrededor del mundo.

La etiología de estos padecimientos está en la familia de las enterobacterias y el género *Salmonella*, donde destacan *S. Typhimurium* y *S. Typhi*. Estos microorganismos son bacilos flagelados anaerobios facultativos Gram negativos móviles no esporulados.

Aunque estas enterobacterias carecen de una exotoxina para promover la enfermedad, son sumamente antigénicas y causan una intensa respuesta inflamatoria en los tejidos (Mouton, 2017).

Hoy en día, la ingesta de alimentos contaminados representa 95% del origen de los casos asociados a infecciones por *Salmonella* (Johnson *et al.*, 2018). Aunque estas bacterias pueden utilizar una incuantificable cantidad de alimentos como vectores de infección, la carne y sus derivados, los vegetales regados con aguas negras, el agua no tratada y los productos lácteos son los principales focos de infección. Asimismo, el manejo inadecuado de la cadena de producción y las prácticas deficientes de higiene en la manipulación de los alimentos propician un incremento en el riesgo de infección.



Figura 1. Imagen de *Salmonella Typhi* resistente a antibióticos y uno de los principales agentes patógenos de los alimentos. Imagen tomada de los *Centers for Disease Control and Prevention* (2019).

2.2. Canela

El árbol de la canela, también llamado canelo, es una planta del género *Cinnamomum* nativa de Sri Lanka en Asia. Existen alrededor de 250 especies de árboles de canela, entre las cuales destacan *C. burmannii*, *C. camphora*, *C. cassia*, *C. osmophloeum* y *C. zeylanicum* (Vangalapati *et al.*, 2012). La canela se obtiene del proceso de pelado de la

corteza interna de los árboles y se usa como especia en la cocina en todo el mundo, para elaborar remedios caseros y en la medicina ancestral (Rao y Gan, 2014). Sin embargo, también se sabe que su corteza y hojas poseen efectos antibacterianos, antifúngicos, antioxidantes, antidiabéticos, antiinflamatorios y anticancerígenos (Melo *et al.*, 2015).

Los árboles de canela, entre otras plantas, sintetizan metabolitos secundarios como compuestos volátiles para ahuyentar depredadores y ser más competentes en el medio (Vasconcelos *et al.*, 2018). Estos compuestos volátiles incluyen cinamaldehído, cinamato, ácido cinámico, eugenol, borneol, alcanfor, óxido de cariofileno, limoneno, α -humeleno, α -terpineol, y terpineno (Tung *et al.*, 2010). Las concentraciones y la presencia de cada compuesto pueden variar según el género del árbol y el órgano vegetativo.



Figura 2. *Cinnamomum zeylanicum*: (A) Árbol de canela. (B) Proceso de pelado de la corteza del canelo para la obtención de canela. (C) Canela. Imagen tomada de Sánchez (2013).

2.3. Compuesto Activos del Aceite Esencial de Canela: Cinamaldehído y Eugenol

Los metabolitos secundarios derivados de los árboles de canela son las pentosas fosfato, el ácido shikímico y los fenilpropanoides, considerados de importancia fisiológica y morfológica para las plantas ya que desempeñan un papel importante en su crecimiento y reproducción, promueven su protección contra patógenos y depredadores y, al mismo tiempo, contribuyen a sus características sensoriales.

Los aceites esenciales del género *Cinnamomum*, destilados de la corteza, se distinguen por contener fenoles (expresados como eugenol de 4 a 10%) y aldehídos (expresados como cinamaldehído de 70 a 80%) como los principales compuestos (Sánchez, 2013).

El eugenol es un derivado fenólico de consistencia líquida y aceitosa, de color amarillo claro, con aroma característico, poco soluble en agua y soluble en alcohol. Su fórmula molecular es $C_{10}H_{12}O_2$, con masa molecular de 164.20 g/mol y tiene un punto de ebullición de 254 °C. En altas concentraciones puede ser tóxico para la salud (Sánchez, 2013).

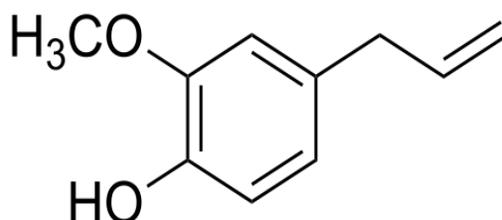


Figura 3. Eugenol. Imagen tomada de *Creative Commons*, 2014.

El cinamaldehído es un compuesto orgánico que le da sabor y olor a la canela, de fórmula molecular C_9H_8O , con masa molecular de 136.2 g/mol y un punto de ebullición de 252 °C. Este compuesto está presente en la naturaleza como trans-cinamaldehído, el cual está compuesto por un aldehído insaturado unido a un grupo fenilo que le brinda aromaticidad, es de color amarillo pálido, de baja solubilidad en agua, pero muy soluble en aceites (Carrizosa, 2014).

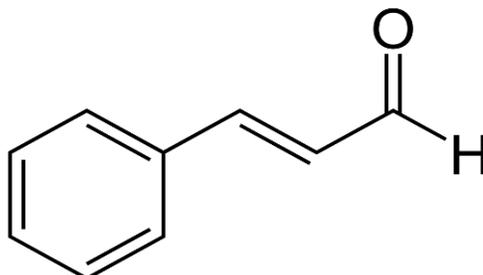


Figura 4. Cinamaldehído. Imagen tomada de Carrizosa (2014).

En las células vegetales hay enzimas conocidas colectivamente como amonio liasas, cuya función es quitar un grupo amino sin oxidar la molécula. Estas enzimas desempeñan un papel importante en el metabolismo del nitrógeno dentro de los tejidos vegetales, donde la fenilalanina amonio liasa es la enzima principal que cataliza sin oxidar ni inhibir la fenilalanina (precursora del cinamaldehído) y la tirosina; produciendo trans-cinamato y trans-p-cumarato respectivamente, los cuales son intermediarios importantes en la biosíntesis de muchos metabolitos en las plantas (Sánchez, 2013).

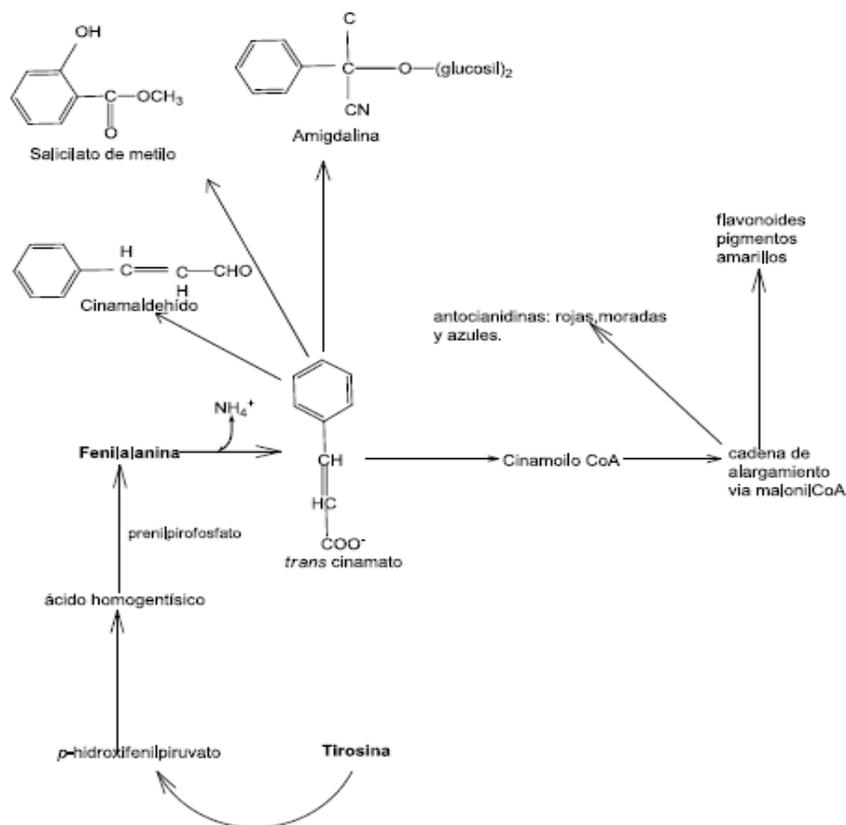


Figura 5. Tirosina y fenilalanina como precursores dentro de la biosíntesis del cinamaldehído. Imagen modificada de Sánchez (2013).

2.4. Extracción y Purificación del Aceite Esencial de Canela

El método más utilizado para la obtención de compuestos aromáticos es la destilación por arrastre de vapor, debido a que dentro del sistema y una vez que el agua alcanza su

punto de ebullición, el vapor arrastra los compuestos volátiles almacenados en los reservorios del tejido vegetal de la corteza u hojas, ejerciendo su propia presión de vapor como si los componentes volátiles estuvieran ausentes para inmediatamente después condensar los vapores en un refrigerante y obtener un destilado con dos fases, una acuosa y otra orgánica, donde se encuentran los compuestos aromáticos de interés. Este destilado es separado por algún solvente orgánico, desechando la fase acuosa y recuperando la fase orgánica, que por diferencia de puntos de ebullición evapora el solvente del aceite esencial. El resultado de la obtención es un aceite esencial líquido poco denso, de color café, con olor penetrante característico de la canela y una consistencia oleosa proporcionada por la mezcla de terpenos, alcoholes, compuestos carbonílicos, aldehídos aromáticos y fenoles que lo componen (Giraldo *et al.*, 2014).

2.5. Mecanismo de Acción Antimicrobiana del Aceite Esencial de Canela

El potencial antimicrobiano de la canela está principalmente asociado a la gran concentración de cinamaldehído. Debido a su naturaleza hidrofóbica, el cinamaldehído es capaz de unirse a la superficie de la célula y a las enzimas ligadas a ésta, penetrando en la membrana plasmática (Pisoschi *et al.*, 2017) y logrando alterar la estructura de las moléculas para aumentar la permeabilidad celular, lo que provoca la pérdida subsecuente del gradiente iónico, de modo que se interrumpen muchas actividades celulares, incluida la actividad de la enzima ATPasa y, por lo tanto, también la actividad respiratoria y la producción de energía (Huang *et al.*, 2014), así como el transporte de la membrana, la disrupción en las vías metabólicas, entre otras, ocasionado, finalmente, la muerte celular (Tariq *et al.*, 2019).

Como resultado, también se inhibe el mecanismo *quorum sensing* (percepción de autoinducción) de la bacteria, que básicamente es un sistema de comunicación que se encarga de medir la densidad poblacional a través de moléculas llamadas autoinductores, que divergen en la producción del factor de virulencia o en la producción de biopelículas (Doyle *et al.*, 2019).

2.6. Aceite de Canela como Potente Antibiótico

La prevalencia a la resistencia de los microorganismos a los antimicrobianos sintéticos convencionales continúa siendo uno de los principales problemas mundiales de preocupación. Cada vez resulta menos sencillo eliminar exitosamente a microorganismos altamente patógenos por la capacidad que éstos poseen de formar biopelículas, o *biofilms*, como una respuesta de defensa más segura ante el huésped y a diferentes tratamientos con antibióticos, lo que origina infecciones más persistentes. Por consiguiente, la biotecnología se ha visto obligada a desarrollar nuevos antibióticos, preferentemente de origen natural que puedan ayudar a solucionar este problema, ya que se ha observado que el uso de químicos sintéticos puede provocar algunos efectos secundarios como cáncer, nefrotoxicidad y ototoxicidad (Tariq *et al.*, 2019) y contribuir considerablemente a la contaminación ambiental, que es otro problema mundial alarmante.

Una alternativa viable al uso de aditivos artificiales y fármacos utilizados en la industria alimentaria, incluyendo la producción animal, es el uso de aceites esenciales en el que destaca el cinamaldehído. Tariq *et al.* (2019) reportaron que el cinamaldehído y el eugenol son sustancias capaces de inhibir la contaminación de alimentos por enterobacterias, principalmente por *Escherichia coli* y *Salmonella* spp.

Silva *et al.* (2019) investigaron el efecto del cinamaldehído en las biopelículas formadas por *Salmonella* Typhimurium ATCC 14028, descubriendo que, tras la exposición del aceite esencial, la actividad metabólica y la biomasa de la biopelícula disminuyen de forma proporcional a la concentración empleada de cinamaldehído. Además, encontraron una disminución en la expresión de la cadena alfa de la ATP sintasa con ayuda de un análisis proteómico, lo que demuestra que efectivamente este complejo enzimático es un blanco de la actividad antimicrobiana del aceite esencial como se mencionó anteriormente.

La aparición de *Salmonella* resistente a antibióticos se ha vuelto una preocupación para los procesadores de alimentos. Ravishankar *et al.* (2010) realizaron un estudio con apio

y ostras contaminadas con *Salmonella enterica* resistente a antibióticos en solución salina tamponada (PBS, acrónimo inglés de la frase *phosphate buffered saline*), donde se probó la efectividad del cinamaldehído y carvacrol (aceite esencial del orégano) a diferentes concentraciones. Los resultados mostraron la inactivación completa de la bacteria en PBS y la reducción de manera importante de las poblaciones microbianas en el apio y las ostras, lo cual refleja el efecto antimicrobiano del cinamaldehído y carvacrol contra *S. enterica* resistente a antibióticos *in vitro* y en los alimentos.

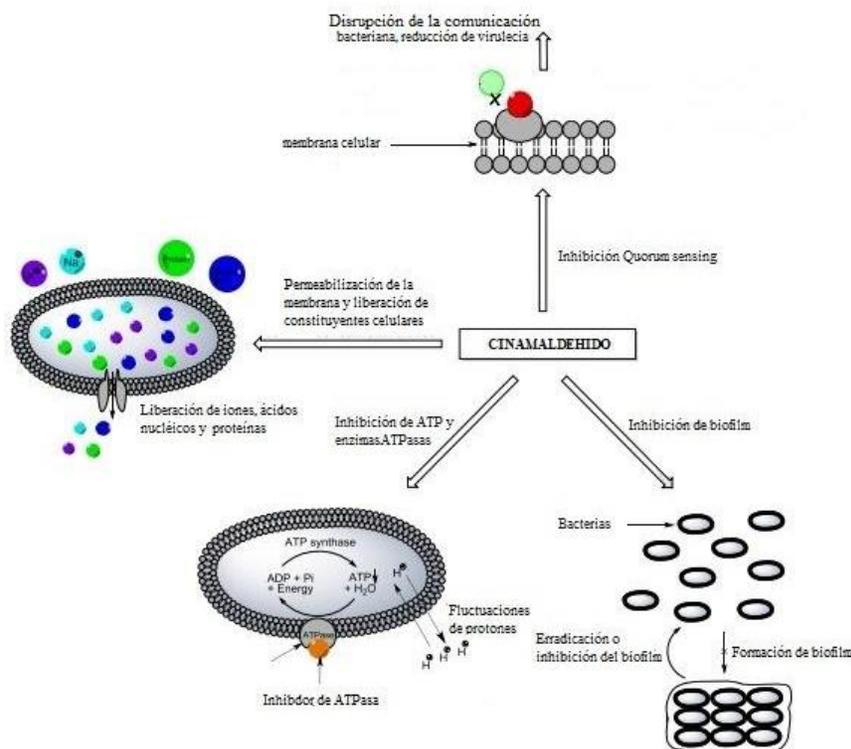


Figura 6. Mecanismo de acción del cinamaldehído: aumento de la permeabilidad en la célula e inhibición enzimática de las ATPasas, las biopelículas y el mecanismo *quorum sensing*. Imagen modificada de Doyle y Stephens (2019).

3. Uso del Aceite Esencial de Canela en la Tecnología del Empaque

Una de las limitantes del uso de aceites esenciales en la industria de los alimentos es la disrupción de los sabores originales a grandes concentraciones. Es preferible que estas

sustancias y su combinación con otros compuestos con actividad antimicrobiana se encuentren en cantidades más pequeñas en los materiales de empaque.

Con base en esta idea, se desarrollaron distintas metodologías para incluir aceites esenciales con actividad antimicrobiana como un aditivo funcional para proporcionar seguridad microbiológica al consumidor.

Una de estas metodologías es el uso de una membrana protectora electrohilada hecha a base de una nanopelícula fabricada a partir de la mezcla de alcohol de polivinilo, β -ciclodextrina, aceite esencial de canela y lisozima (PVA / β -CD / CEO / LYS, respectivamente), donde los agentes antimicrobianos fueron el CEO y la LYS.

Para probar su actividad antimicrobiana, la película fue incitada contra bacterias y hongos. Los microorganismos de prueba fueron *Listeria monocytogenes*, *Salmonella enteritidis*, *Aspergillus niger* y *Penicillium* sp, mismos que resultaron ser inhibidos al final del ensayo (Feng *et al.*, 2017).

De esta manera, se abre un campo para aplicar esta tecnología a la industria de los comestibles a través del desarrollo de un empaque con potencial para asegurar la inocuidad ante algunos de los principales patógenos de enfermedades transmitidas por los alimentos.

Siguiendo esta misma línea, surge la creación de un prototipo de empaque comestible adicionado con cinamaldehído contra *Salmonella* Typhimurium. Este ensayo consistió en la creación de una película de alginato como base, que antes de su polimerización fue adicionada en su mezcla con una emulsión de cinamaldehído y polisorbato para asegurar una mejor distribución de pequeñas micelas con actividad antimicrobiana. Una vez que la película estuvo lista, ésta se colocó en cajas Petri previamente inoculadas con *S. Typhimurium* y fue llevada a incubación. Los resultados obtenidos fueron prometedores, llegando a inhibir al patógeno blanco de manera eficiente (Kporwodu *et al.*, 2018).

Al mismo tiempo, Zhu *et al.* (2019) plantearon y pusieron a prueba una serie de películas comestibles hechas a base de zanahoria, manzana e hibiscos con pectina y adicionadas con cinamaldehído y carvacrol en ensaladas orgánicas empaquetadas. En este ensayo, el microorganismo blanco fue *Salmonella* Newport, que después de ser inoculada en las

hojas y empaquetada junto con las películas, fue inhibida significativamente. Estos resultados sugieren que los vapores antimicrobianos que emanan de las películas podrían mantenerse sellados en las bolsas de ensalada para preservar la actividad antimicrobiana.

Con esto, una vez más se pone en evidencia una innovación potencial para ser empleada en el desarrollo de un empaque funcional que reduzca las probabilidades de contraer una enfermedad de transmisión alimentaria por un vector bacteriano.

4. Conclusión

Considerando la prevalencia actual de las infecciones de transmisión alimentarias causadas por *Salmonella* spp. y el alarmante incremento de la resistencia a los antibióticos por parte de este y muchos otros patógenos, tanto la comunidad científica como la industria alimentaria están enfocados en la búsqueda de alternativas que protejan la integridad de los alimentos y, al mismo tiempo, la de sus consumidores.

Con base en la literatura disponible sobre las investigaciones y los resultados experimentales de sustancias con actividad antimicrobiana, el aceite esencial de canela y, específicamente, uno de sus principales componentes, el cinamaldehído, representan una solución potencial a la contaminación de los alimentos.

Actualmente, alrededor del mundo diversos grupos de investigación trabajan en el mejoramiento y la optimización del uso del cinamaldehído para garantizar una seguridad microbiológica en los productos destinados al consumo humano, siempre tratando de preservar la calidad y las propiedades sensoriales de éstos. Estas innovaciones apuntan a la producción de un empaque funcional que se incorpore a la corriente de nuevos y mejores materiales, lo que cada día se convierte en una posibilidad más tangible.

Agradecimientos

Este trabajo fue posible gracias al apoyo del Doctor en Química Enrique González Vergara del Instituto de Ciencias de la Universidad Autónoma de Puebla (ICUAP) y de la comunidad de la Licenciatura en Biotecnología de la BUAP.

Referencias

- Bajpai, V. K., Baek, K.-H. y Kang, S. C. (2012). Control of *Salmonella* in foods by using essential oils: A review. *Food Research International*, 45, 722-734. DOI: 10.1016/j.foodres.2011.04.052.
- Carrizosa, C. (2014). Cinamaldehído: no sólo un dulce aroma. *MoleQla: Revista de Ciencias de la Universidad Pablo de Olavide*. ISSN-e 2173-0903.
- Centers for Disease Control and Prevention. (2019). Drug-Resistant *Salmonella* Serotype Typhi. Recuperado de: <https://www.cdc.gov/drugresistance/pdf/threats-report/salmonella-typhi-508.pdf>.
- Creative Commons. (2014). Eugenol. Recuperado de: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=31652140>.
- Doyle, A. A. y Stephens, J. C. (2019). A review of cinnamaldehyde and its derivatives as antibacterial agents. *Fitoterapia*, 104405. DOI: 10.1016/j.fitote.2019.104405.
- Feng, K., Wen, P., Yang, H., Li, N., Lou, W. Y., Zong, M. H. y Wu, H. (2017). Enhancement of the antimicrobial activity of cinnamon essential oil-loaded electrospun nanofilm by the incorporation of lysozyme. *Royal Society of Chemistry Advances*, 7, 1572-1580. DOI: 10.1039/c6ra25977d.
- Giraldo, P. A., Gómez, L. M. y Medina, C. D. (2014). Obtención del cinamaldehído presente en las astillas de canela por arrastre de vapor. Universidad del Valle, Cali, Colombia.
- Gómez-Aldapa, C. A., Torres-Vitela, M. R., Villarruel-López, A. y Castro-Rosas, J. (Ed.). (2012) *Salmonella—A Dangerous Foodborne Pathogen*. Rijeka, Croacia: Editorial InTech.
- Huang, D. F., Xu, J.-G., Liu, J.-X., Zhang, H. y Hu, Q. P. (2014). Chemical constituents, antibacterial activity and mechanism of action of the essential oil from *Cinnamomum cassia* bark against four food-related bacteria. *Microbiology*, 83(4), 357-365. DOI: 10.1134/s0026261714040067.
- Johnson, R., Ravenhall, M., Pickard, R., Dougan, G., Byrne, A. y Frankel, A. (2018). Comparison of *Salmonella enterica* Serovars Typhi and Typhimurium Reveals Typhoidal Serovar-Specific Responses to Bile. *Infection and Immunity*, 86, 1-16. DOI: 10.1128/IAI.00490-17.
- Kporwodu, F., Coralia, V., Gye, H. y Jun, Tae Kim. (2018). Alginate Biocomposite Films Incorporated with Cinnamon Essential Oil Nanoemulsions: Physical, Mechanical, and Antibacterial Properties. *International Journal of Polymer Science*, 2018, 1-8. DOI: 10.1155/2018/1519407.
- Melo, A. D., Amaral, A. F., Schaefer, G., Luciano, F. B., de Andrade, C., Costa, L. B. y Rostagno, M. H. (2015). Antimicrobial effect against different bacterial strains and bacterial adaptation to essential oils used as feed additives. *Canadian journal of veterinary research = Revue canadienne de recherche vétérinaire*, 79(4), 285-289.
- Mouton, F., Ohuoba, E., Evans F. M. y Desalu, I. (2017). Typhoid enteric fever. *Update in Anaesthesia*, 32, 13-16.
- Nabavi, S., Di Lorenzo, A., Izadi, M., Sobarzo-Sánchez, E., Daglia, M. y Nabavi, S. (2015). Antibacterial Effects of Cinnamon: From Farm to Food, Cosmetic and Pharmaceutical Industries. *Nutrients*, 7(9), 7729-7748. DOI: 10.3390/nu7095359.

Park, J.-B., Kang, J.-H. y Song, K. B. (2017). Antibacterial activities of a cinnamon essential oil with cetylpyridinium chloride emulsion against *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella* Typhimurium in basil leaves. *Food Science and Biotechnology*, 27(1), 47-55. DOI: 10.1007/s10068-017-0241-9.

Pisochi, A. M., Pop, A., Gerogescu, C., Turcus, V., Olah, N. K. y Mathe, E. (2018). An overview of natural antimicrobials role in food. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 143, 922-935. DOI: 10.106/j.ejmech.2017.11.095.

Rao, P. V. y Gan, S. H. (2014). Cinnamon: A Multifaceted Medicinal Plant. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2014, 1-12. DOI: 10.1155/2014/642942.

Rattanachaikunsopon, P. y Phumkhachorn, P. (2010). Potential of cinnamon (*Cinnamomum verum*) oil to control *Streptococcus iniae* infection in tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fisheries Science*, 76(2), 287-293. DOI: 10.1007/s12562-010-0218-6.

Ravishankar, S., Zhu, L., Reyna-Granados, J., Law, B., Joens, L. y Friedman, M. (2010). Carvacrol and Cinnamaldehyde Inactivate Antibiotic-Resistant *Salmonella enterica* in Buffer and on Celery and Oysters. *Journal of Food Protection*, 73(2), 234-240. DOI: 10.4315/0362-028x-73.2.234.

Sánchez, L. (2013) Determinación de compuestos funcionales en Canela (*Cinnamomum zeylanicum*) Instituto Politécnico Nacional. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas.

Silva, A. F., dos Santos, A. R., Coelho Trevisan, D. A., Ribeiro, A. B., Zanetti Campanerut-Sá, P. A., Kukulj, C., ... Graton Mikcha, J. M. (2018). Cinnamaldehyde induces changes in the protein profile of *Salmonella* Typhimurium biofilm. *Research in Microbiology*, 169(1), 33-43. DOI: 10.1016/j.resmic.2017.09.007.

Tariq, S., Wani, S., Rasool, W., Bhat, M. A., Prabhakar, A., Shalla, A. y Rather, M. (2019). A comprehensive review of the antibacterial, antifungal and antiviral potential of essential oils and their chemical constituents against drug-resistant microbial pathogens. *Microbial Pathogenesis*, 134, 103580. DOI: 10.106/j.micpath.2019103580.

Tung, Y.-T., Yen, P.-L., Lin, C.-Y. y Chang, S.-T. (2010). Anti-inflammatory activities of essential oils and their constituents from different provenances of indigenous cinnamon (*Cinnamomum osmophloeum*) leaves. *Pharmaceutical Biology*, 48(10), 1130-1136. DOI: 10.3109/13880200903527728.

Vangalapati, M., Sree Satya, N., Surya Prakash, D. V. y Avanigadda, S. (2012). A review on pharmacological activities and clinical effects of Cinnamon species. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 3(1), 653-663.

Vasconcelos, N. G., Croda, J. y Simionatto, S. (2018). Antibacterial mechanisms of cinnamon and its constituents: A review. *Microbial Pathogenesis*, 120, 198-203. DOI: 10.1016/j.micpath.2018.04.036.

Zhu, L., Olsen, C., McHugh, T., Friedman, M., Jaroni, D. y Ravishankar, S. (2013). Apple, Carrot, and hibiscus edible films containing the plant antimicrobials carvacrol and cinnamaldehyde inactivate *Salmonella* Newport on organic leafy greens in sealed plastic bags. *Journal of Food Science*, 79, 61-66. DOI:10.1111/1750-3841.12318.