

Compuestos fenólicos obtenidos de chile (*Capsicum sp.*) para el control de la oxidación y el deterioro bacteriano en la carne y en productos cárnicos: revisión

Phenolic compounds obtained from chili pepper (*Capsicum sp.*) for the control of oxidation and bacterial spoilage in meat and meat products: A review

Alfredo Varela-Esquer ^{1,4}, Saul Ruiz-Cruz ^{2,5}, Luis A. Cira-Chávez ^{1,6}, María Isabel Estrada-Alvarado ^{1,7}, Enrique Márquez-Ríos ^{2,8}, Martín Valenzuela Melendres ^{3,9}.

¹Instituto Tecnológico de Sonora. Ciudad Obregón, México. ²Universidad de Sonora. Hermosillo, México. ³Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. Hermosillo, México. ⁴✉ alfredovesquer@hotmail.com; ⁵✉ saul.ruizcruz@unison.mx; ⁶✉ luis.cira@itson.edu.mx; ⁷✉ mestrada@itson.edu.mx; ⁸✉ enrique.marquez@unison.mx; ⁹✉ martin@ciad.mx



<https://doi.org/10.15446/acag.v73n1.116807>

2024 | 73-1 p 25-39 | ISSN 0120-2812 | e-ISSN 2323-0118 | Rec.: 2024-09-30 Acep.: 2024-12-20

Resumen

Los cultivos de chile (*Capsicum sp.*) tienen una relevancia económica significativa a nivel global, pero también generan una gran cantidad de subproductos a lo largo de la cadena de producción, muchos de los cuales no se utilizan y representan un desafío ambiental. Recientes investigaciones destacan que estos subproductos vegetales son una fuente rica en fitoquímicos, particularmente en compuestos fenólicos, los cuales poseen propiedades antioxidantes y antimicrobianas. En paralelo, la demanda de los consumidores por alternativas más saludables a los alimentos procesados ha impulsado la búsqueda de reemplazos naturales para antioxidantes y conservantes sintéticos, como el BHA, BHT y los nitritos, los cuales se asocian con riesgos para la salud, incluidas enfermedades inflamatorias y cardiovasculares. Ingredientes de origen vegetal, como los compuestos fenólicos presentes en el chile, tienen el potencial de generar alimentos más saludables y naturales, lo que contribuye a la reducción de enfermedades crónicas, incluyendo el cáncer. Estas propiedades sugieren que el chile y sus subproductos podrían ser utilizados como aditivos naturales para reemplazar moléculas sintéticas en productos cárnicos. No obstante, su implementación a gran escala enfrenta desafíos debido a la variabilidad en los sabores, colores y aromas que el chile puede aportar, lo cual puede afectar la consistencia en la calidad de los productos cárnicos. A pesar de estas limitaciones, estudios recientes han demostrado que los chiles pueden mejorar el color, sabor y textura de los productos cárnicos, al tiempo que ofrecen estabilidad frente a la oxidación y el deterioro microbiano. Por lo tanto, los compuestos fenólicos del chile se perfilan como una alternativa prometedora a los aditivos sintéticos en la industria cárnicia.

Palabras clave: conservantes naturales, extracción, fitoquímicos, oxidación, productos cárnicos reformulados.

Abstract

Chili pepper (*Capsicum sp.*) cultivation holds significant economic importance worldwide, but it also generates a substantial number of by-products throughout the production chain, many of which go unused and pose environmental challenges. Recent research has shown that these plant by-products are rich in phytochemicals, particularly phenolic compounds, which have antioxidant and antimicrobial properties. Concurrently, consumer demand for healthier alternatives to processed foods has driven the search for natural replacements for synthetic antioxidants and preservatives like BHA, BHT, and nitrites, which are associated with health risks, including inflammatory and cardiovascular diseases. Plant-based ingredients, such as the phenolic compounds found in chili peppers, have the potential to formulate healthier and more natural foods, contributing to the reduction of chronic diseases, including cancer. These properties suggest that chili peppers and their by-products could be used as natural additives to replace synthetic molecules in meat products. However, large-scale implementation is challenging due to the variability of flavors, colors, and aromas that chili peppers can impart, which may affect the consistency of meat product quality. Despite these limitations, recent studies have demonstrated that chili peppers can enhance the color, flavor, and texture of meat products while providing stability against oxidation and microbial spoilage. Therefore, phenolic compounds from chili peppers are emerging as a promising alternative to synthetic additives in the meat industry.

Keywords: extraction, natural preservatives, oxidation, phytochemicals, reformulated meat products.

Introducción

Actualmente existe suficiente evidencia antropológica para demostrar que los animales, como un recurso cárneo, han sido la base del desarrollo del ser humano durante miles de años. Las partes de los animales que cumplen la función alimenticia generalmente es llamada carne, pero su definición varía según la fuente. La American Meat Science Association (AMSA) incluye en su definición el músculo esquelético, órganos y tejidos musculares no esqueléticos de mamíferos, aves y otros animales utilizados como alimento (Boler y Woerner, 2017). Flores y Toldrá (2021) limitan la carne a los músculos de mamíferos como reses y cerdos, excluyendo aves y peces, pero incluyen productos cárnicos procesados. Por otro lado, la carne y sus derivados procesados son ricos en nutrientes como vitamina B12, hierro y proteínas de alto valor biológico; además, contienen colesterol, grasas saturadas, sodio y aditivos de origen sintético, vinculados con enfermedades no transmisibles (Aminzare et al., 2019). La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) ha clasificado la carne roja como “probablemente carcinógena” y los productos cárnicos procesados como “carcinógenos”. Aunque no se ha establecido una cantidad exacta de ingesta ni un umbral seguro de consumo, la IARC sugiere que un aumento de 50 g/día en el consumo de carne procesada, como jamón, tocino y salchichas, incrementa el riesgo de cáncer colorrectal (IARC, 2018). Por tal motivo, parte de la población relaciona a la carne y a los productos cárnicos procesados como alimentos potencialmente preocupantes y dañinos para la salud (Ozaki et al., 2021).

La industria cárnea enfrenta desafíos significativos debido a la oxidación y la contaminación microbiana, las cuales alteran el color, sabor, olor y textura de los productos, y afectan su calidad y aceptación por parte de los consumidores (Domínguez et al., 2019). La oxidación de lípidos y Fe (II) en hemoproteínas se desencadena por la exposición a radicales libres durante el procesamiento y almacenamiento, lo que resulta en la formación de compuestos como la metamioglobina, responsable del cambio de color de rojo a pardusco, y la pérdida de propiedades nutricionales y funcionales (Ribeiro et al., 2019). Para mitigar este deterioro, la industria ha buscado satisfacer las necesidades de los consumidores y cumplir con las leyes y normativas a través de la adopción de tecnologías como las cadenas de frío y el uso de aditivos conservantes, tanto naturales como sintéticos, para extender la vida útil de los productos y garantizar su calidad (Kalogianni et al., 2020).

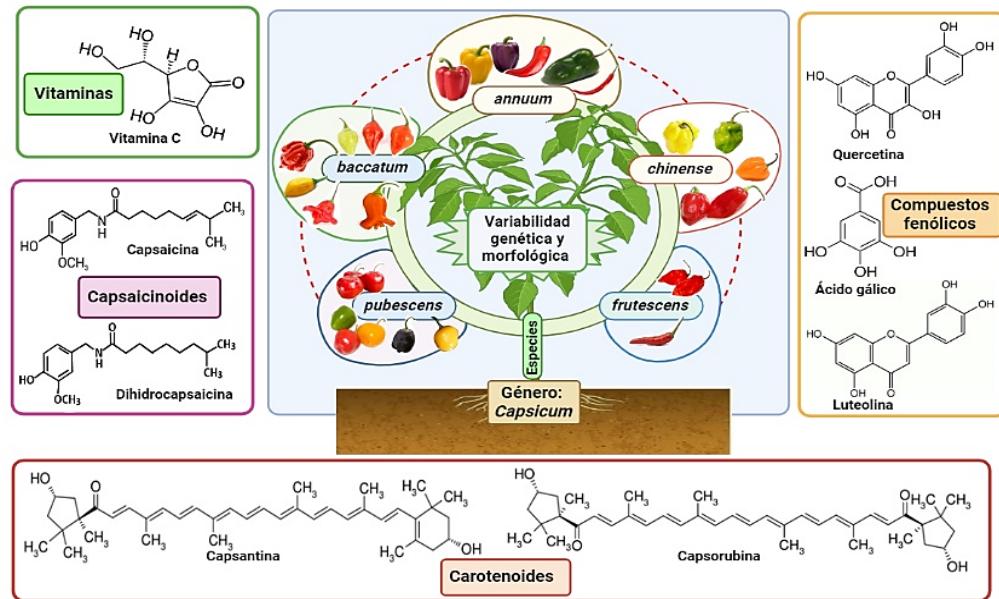
Durante décadas, la industria ha utilizado aditivos antioxidantes sintéticos como butilhidroxitolueno (BHT), butilhidroxianisol (BHA), terbutilhidroxiquinona (TBHQ), nitratos y nitritos, que han demostrado ser eficaces en la conservación de

productos cárnicos al inhibir la oxidación y combatir patógenos como *Clostridium perfringens* y *Clostridium botulinum* (Alirezalu et al., 2021). Sin embargo, el uso de nitritos está relacionado con la formación de nitrosaminas, compuestos potencialmente cancerígenos que incrementan el riesgo de tumores. Esto ha impulsado el uso de aditivos naturales que no representen riesgos para la salud (Draszanowska et al., 2021). En este contexto, los compuestos fenólicos de origen vegetal han emergido como alternativas prometedoras en alimentos y productos cárnicos, debido a sus propiedades antioxidantes y antibacterianas (Bellucci et al., 2021; Qin et al., 2021).

Los compuestos fenólicos son moléculas abundantes en el reino vegetal, y están presentes en frutas, verduras, semillas y cortezas. Son una familia con múltiples tipos de moléculas y subgrupos que constan de uno o más grupos hidroxilo conectados en al menos un anillo aromático (Cutrim y Cortez, 2018). Investigaciones indican que polifenoles como el resveratrol, galato de epigallocatequina y la quercetina poseen propiedades anticancerígenas y pueden combatir diferentes tipos de cáncer y enfermedades cardiovasculares (Farahmandfar et al., 2019). También tienen propiedades antioxidantes y antimicrobianas, lo que las convierte en alternativas viables a los aditivos sintéticos (Ribeiro et al., 2019). Por su parte, el género *Capsicum*, de la familia Solanaceae, incluye especies como *C. pubescens*, *C. baccatum*, *C. frutescens*, *C. chinense* y *C. annuum* (Figura 1). Esta última es de las más importantes económicamente, con aproximadamente 50 000 variedades (Hernández-Pérez et al., 2020) y en la última década su producción mundial alcanzó 24.9 millones de toneladas, con un crecimiento anual del 6.26 % (Echave et al., 2020).

Actualmente se están realizando esfuerzos para valorizar los subproductos de la industria agroalimentaria mediante la extracción de moléculas que puedan utilizarse como aditivos naturales. Este enfoque no solo genera ingresos para la industria, sino que también reduce la contaminación ambiental y proporciona fitoquímicos activos beneficiosos para la salud humana (Sowbhagya, 2019). Los subproductos del chile, como semillas, hojas, tallos y pulpa inutilizable, son generalmente desecharados o quemados tras la cosecha e industrialización. Por ejemplo, la producción de chile habanero genera millones de plantas y pedúnculos que terminan como residuos (Chel-Guerrero et al., 2021).

El chile jalapeño es uno de los más consumidos en México, con una producción anual de alrededor de 836 246 ton/año, principalmente destinados a la industria de los encurtidos. En este proceso, se generan aproximadamente 500 ton de subproductos como semillas y placenta, que aún no han sido explotados industrialmente, a pesar de que estudios de laboratorio han confirmado su riqueza en compuestos fenólicos como rutina, epicatequina y catequina (Sandoval-Castro et al., 2017). Las semillas



Created in BioRender.com

Figura 1. Estructura básica de algunos compuestos bioactivos que se encuentran en los chiles.
Elaboración propia con información de Hernández-Pérez et al., (2020).

del chile son una fuente importante de vitaminas, ácidos grasos, pigmentos y compuestos fenólicos como ácido cafeico, ácido gálico, rutina, catequina y epicatequina. Estos subproductos poseen actividad antioxidante, lo que ayuda a prevenir reacciones de oxidación en el cuerpo causadas por radicales libres. Además, sus propiedades antioxidantes y antibacterianas los hacen ideales para aplicaciones en las industrias farmacéutica, cosmética y alimentaria (Echave et al., 2020).

Por lo tanto, el objetivo del actual trabajo de revisión es presentar antecedentes sobre la reducción, incluso la sustitución de los antioxidantes sintéticos en los productos cárnicos, así como presentar las propiedades conservantes de los compuestos fenólicos obtenidos de diversas variedades de chiles.

Compuestos bioactivos presentes en el chile

El chile (*Capsicum* sp.) es un fruto ampliamente conocido y consumido en todo el mundo, utilizado principalmente como especia para dar color, sabor y picor a los alimentos (Ferysiuk et al., 2020). Entre las variedades más relevantes se encuentran: habanero, serrano, piquín, jalapeño, poblano y anaheim. En los últimos años, el chile ha ganado popularidad no solo por su uso como condimento, sino también por sus beneficios para la salud, que incluyen propiedades antimicrobianas, antivirales, antiinflamatorias, y antioxidantes (Dinu et al., 2018; Villasante et al., 2020). Gracias a sus propiedades antioxidantes, el consumo

del chile ayuda a reducir la oxidación celular causada por radicales libres, disminuyendo así el riesgo de desarrollar enfermedades asociadas con el estrés oxidativo, como cataratas, cáncer, alzhéimer, diabetes, parkinson y enfermedades cardiovasculares (Kaur y Kapoor, 2001; Chávez-Mendoza et al., 2015). Estos beneficios se deben principalmente a la presencia de compuestos bioactivos, como carotenoides, vitaminas C y E, minerales, capsaicinoides (capsaicina, dihidrocapsaicina, homodihidrocapsaicina, nordihidrocapsaicina y homocapsaicina) y compuestos fenólicos como los ácidos fenólicos, la quercetina y luteolina (Hernández-Pérez et al., 2020) (Figura 2).

Carotenoides

Son pigmentos naturales que producen las plantas, microorganismos y algas, responsables de los colores amarillo, naranja y rojo en muchos alimentos, como el chile y el tomate. Estos pigmentos no pueden ser sintetizados por animales ni humanos, por lo que deben obtenerse a través de la dieta. Además de aportar color, los carotenoides actúan como antioxidantes, por lo cual protegen las células de la oxidación causada por radicales libres (Cinar, 2005). Durante la maduración de los frutos del chile, los cloroplastos se transforman en cromoplastos, aumentando la concentración de carotenoides y reduciendo las clorofillas (Hernández-Pérez et al., 2020). Entre los principales carotenoides presentes en *Capsicum* sp. se incluyen capsantina, capsorubina, zeaxantina, β -criptoxantina y β -caroteno (Mohd et al., 2019).

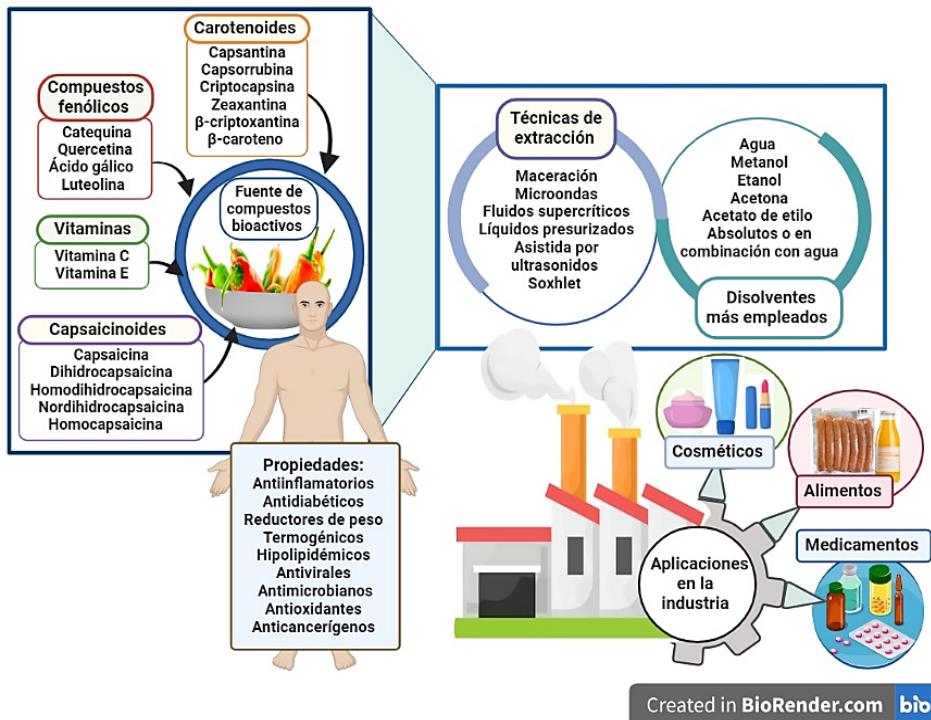


Figura 2. Representación esquemática de la extracción de los compuestos bioactivos presentes en *Capsicum* sp., y sus propiedades bioactivas. Elaboración propia con información de (Hernández-Pérez et al., 2020; Alara et al., 2021).

Vitaminas

Los frutos del chile son una fuente significativa de vitamina C, vitamina E y provitamina A. La vitamina C es esencial para funciones biológicas como la producción de colágeno, hormonas peptídicas y aminoácidos, además, tiene propiedades antioxidantes que pueden reducir el riesgo de enfermedades como el alzheimer y varios tipos de cáncer (Hamed et al., 2019). La vitamina E, un potente antioxidante liposoluble, protege la piel contra el daño oxidativo y previene la aparición de artritis y cataratas. En los frutos de *Capsicum pubescens* la vitamina E se encuentra principalmente en forma de α-tocoferol, con concentraciones que varían entre 6.8 y 18.4 mg/100 g, mientras que el β-tocoferol está presente en niveles menores (Antonious, 2018).

Capsaicinoides

Los frutos de *Capsicum* sp. contienen capsaicinoides, que son fitocompuestos característicos responsables del picor. Estos metabolitos, producidos exclusivamente por las células epidérmicas de la placenta del fruto, incluyen capsaicina, dihidrocapsaicina, nordihidrocapsaicina, homodihidrocapsaicina y homocapsaicina, dentro de las cuales la capsaicina y dihidrocapsaicina son las más potentes en términos

de pungencia, pues representan hasta el 90 % del total de capsaicinoides. Más allá del picor, los capsaicinoides tienen propiedades beneficiosas para la salud, incluido su uso como tratamiento para la artritis reumatoide, trastornos inflamatorios y como protección contra patógenos como *Bacillus cereus*, *Listeria monocytogenes* y *Salmonella* (Hamed et al., 2019).

Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos, una familia de aproximadamente 8000 fitoquímicos, se encuentran en frutas y verduras, donde actúan como defensa ante el estrés ambiental, como la exposición a rayos UV y las infecciones (Cosme et al., 2020). En los chiles que incluyen más de 200 variedades dentro de 5 especies domésticas (*C. baccatum*, *C. pubescens*, *C. chinense*, *C. frutescens* y *C. annuum*), la composición y contenido de estos compuestos varía según la madurez, el clima y las condiciones de cultivo (Hamed et al., 2019). Por ejemplo, estudios han demostrado que los chiles picantes verdes contienen 4965.2 mg equivalentes de ácido gálico por kilogramo (mg EAG/kg), mientras que los chiles rojos picantes alcanzan los 8233.7 mg EAG/kg (Dinu et al., 2018). Estos compuestos han ganado importancia por su capacidad antioxidante, que ayuda a prevenir enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo. De igual manera, se le atribuyen

propiedades antimicrobianas contra patógenos que incluyen bacterias del género *Bacillus* y hongos del género *Aspergillus* y *Penicillium* (Ferysiuk et al., 2020). Por lo tanto, los compuestos fenólicos se pueden clasificar de diferentes formas, una de las cuales se basa en su importancia para el ser humano; entre ellos, los grupos más importantes son los flavonoides, los taninos y los ácidos fenólicos (Vuolo et al., 2019).

Flavonoides

Los flavonoides, el grupo más amplio de compuestos fenólicos, con unas 4000 variantes, se derivan de las rutas biosintéticas del ácido shikímico y los policétidos en las plantas. Estructuralmente, consisten en un esqueleto difenilpropanoide (C6-C3-C6), compuesto por 2 anillos bencénicos unidos por una cadena de 3 carbonos que forma un heterociclo con oxígeno. Estos compuestos, que contienen grupos hidroxilo, se sintetizan en respuesta al estrés biótico y abiótico. Según su estructura química, se clasifican en chalconas, isoflavonas, flavanonas, flavonoles, flavonas y flavanonoles (Panche et al., 2016). Jiménez-García et al. (2023) informaron valores de 8896.08 y 229.73 µg/g para epicatequina y quer cetina, respectivamente, en pimiento dulce.

Ácidos fenólicos

Estos compuestos se agrupan en ácidos hidroxibenzoicos (HBA) y ácidos hidroxicinámicos (HCA). Los HBA tienen una estructura C6-C1 y presentan variaciones en sus anillos aromáticos mediante metoxilaciones e hidroxilaciones (Vuolo et al., 2019). Entre los HBA destacan el ácido salicílico, protocatecuico, vanílico, siríngico, elágico y gálico. Los HCA, con una estructura C6-C3 y un doble enlace lateral, se encuentran usualmente como ésteres simples con glucosa y ácido quínico; entre los más abundantes están el ácido cafeico, p-cumárico, ferúlico y sináptico (Cosme et al., 2020). Jiménez-García et al. (2023) informaron valores de 4229.29, 1353.34 y 98.59 µg/g para el ácido clorogénico, ácido cafeico y ácido sináptico, respectivamente, en pimiento dulce.

Taninos

Los taninos son compuestos fenólicos complejos de sabor astringente, sintetizados por las plantas para repeler herbívoros. Se clasifican en taninos condensados e hidrolizables. Los taninos condensados, o proantocianidinas, no poseen un centro de azúcar y consisten en polímeros de flavonoides (flavan-3-ol o flavan-3,4-diol) unidos por enlaces carbono-carbono, resistentes a la hidrólisis. Los hidrolizables están formados por un núcleo de carbohidrato, generalmente D-glucosa, esterificado total o parcialmente con moléculas como los ácidos fenólicos, entre ellos, el ácido gálico o el elágico (Das et al., 2020). Olatunji y Afolayan (2019) reportaron

valores de proantocianidinas de 709.99 y 629.22 mg/g para *C. annuum* var. Grossum y *C. annuum* var. Acuminatum, respectivamente.

Técnicas de extracción de compuestos fenólicos

Los frutos del chile son reconocidos por su diversidad en colores, sabores y niveles de picor, además de su contenido en compuestos fenólicos, que son moléculas fitoquímicas con propiedades bioactivas benéficas para la salud humana. Entre los compuestos fenólicos que más destacan en diversas variedades del chile se encuentran el ácido clorogénico, ácido cafeico, la miricetina, quer cetina y luteolina (Blanco-Ríos et al., 2013). Sin embargo, la concentración de estos compuestos varía debido a factores como el grado de madurez, condiciones de almacenamiento y tipo de cultivo, así como por la naturaleza de las uniones entre las moléculas fenólicas y la matriz vegetal. Estas moléculas pueden encontrarse como agliconas o glucósidos, estructurados de forma monomérica o polimerizada, lo que complica su extracción (Alara et al., 2021). Por tanto, la elección de la técnica de extracción adecuada es crucial para evitar la degradación de estos compuestos y maximizar su recuperación. Esta sección se enfocará en revisar las técnicas de extracción de compuestos fenólicos utilizadas en frutos de distintas variedades de chiles (Tabla 1).

Actualmente se emplean diversas tecnologías para la extracción de compuestos fenólicos en chiles; el primer paso crucial es la selección de un solvente adecuado, ya sea puro o en combinación. Los solventes más utilizados incluyen etanol, metanol, agua, acetona y acetato de etilo, aunque debido a la toxicidad del metanol, el etanol es preferido, especialmente en la industria alimentaria (Tanase et al., 2019). La solubilidad y concentración de los compuestos fenólicos dependen de la polaridad del solvente. Los compuestos polares se disuelven mejor en solventes acuosos, mientras que los alcohólicos, como el etanol en concentraciones de 50, 70 y 80 % disuelto en agua, permiten la extracción de compuestos con polaridad variable, por lo cual es identificado como el solvente óptimo para esta tarea (Assis et al., 2019; Villasante et al., 2020). Sin embargo, la extracción con solventes es una técnica no selectiva, capaz de extraer tanto compuestos hidrofílicos como lipofílicos, lo que puede incluir clorofilas, carotenos, vitamina C y azúcares, además de los compuestos fenólicos (Ferysiuk et al., 2020). Para optimizar la extracción es fundamental considerar factores como el volumen del solvente, tiempo, temperatura, relación solvente/muestra y la técnica de extracción empleada, entre las que destacan la maceración, el microondas, los fluidos supercríticos, los líquidos presurizados y la extracción asistida por ultrasonidos (EAU) y Soxhlet (De Aguiar et al., 2019; Al Khalaf et al., 2020).

Tabla 1. Técnicas y condiciones de extracción aplicadas en la recuperación de compuestos fenólicos de matrices vegetales

Variedad del chile	Técnica de extracción	Solvente	Condiciones	Relación solvente/muestra	Recuperación	Unidades	Referencias
Habanero semilla, pericarpio y fruto Serrano semilla, pericarpio y fruto	SOX	Metanol	180 min	70 mL/3 g	3.18, 34.07 y 232.51 46.25, 144.18 y 336.42	mg EAG/100 g PS	Cerón-Carrillo et al. (2017).
Péndulo dedo de moça	EFS asistida con US. EFS	CO ₂	Presiones (15, 20 y 25 MPa), Temperatura (40 °C), potencias ultrasónicas (200, 400 y 600 W), tiempos (40, 60 y 80 min), caudal mísico del CO ₂ de 1.7569×10^{-4} kg/s. Temperaturas (40, 50 y 60 °C), presiones (15, 20 y 25 MPa), caudal mísico del CO ₂ de 1.7569×10^{-4} kg/s.	5 g	0.13 a 0.62 0.07 a 0.23	mg EAG/g PS	Dias et al. (2016).
Capsicum frutescens	EFS	CO ₂	Temperatura (35 °C), presión (100 bar), tiempo (30 min), diclorometano (5 mL)	10 g	705.90	mg EAG/g EXT	Farahmandfar et al. (2017).
Jalapeño crudo y escaldado	EAU	Etanol al 80 %	30 min	40 mL/500 mg	10.01 y 13.09	g EAG/kg PS	Sandoval-Castro et al. (2017).
Chile pimiento Biquinho	ELP pretratado con EFS. ELP	ELP (etanol al 50, 75 y 100 %) y EFS (CO ₂). ELP (etanol al 50, 75 y 100 %).	ELP (etanol al 50 °C, caudal de 2.43×10^{-4} kg/s, durante 120 min) y EFS (10 MPa, 60 min; caudales para el solvente fueron de 3.30, 3.52 y 3.82 mL/min para el etanol al 50, 75 y 100 %, respectivamente y caudal mísico de 3.0 g/min).	15 g	8.0 a 11.95 23.4 a 31.5	mg EAG/g MP mg EAG/g EXT	De Aguiar et al. (2019).
Péndulo	SOX	Etanol al 70 %	4 h	1 g/10 mL	7.45 a 985.33	Mg EAG/g EXT	Assis et al. (2019).
Capsicum annuum	SOX. EAM	Acetona Acetona al 50 % Agua	5 h a 50 °C 5 h a 70 °C Horno de 80 W, 2 min a 98 °C	350 g 50 g	1.03 0.81 0.75	Mg EAG/mL	Al Khalaf et al. (2020).
Morrón var. Aifos	EAU	Etanol al 80 %	10 min	10 mL/1 g	139.45	mgAC/g ES	Ferysiuk et al. (2020).
Morrón	EAU	Etanol al 50 %	30 min a 50 °C	10 mL/1 g	7.03	Mg EAG/g PS	Villasante et al. (2020).
Péndulo	SOX	Etanol al 70 %	4 h	10 mL/1 g	274.35	Mg EAG/g EXT	Cabral et al. (2021).

*EAU: Extracción asistida por ultrasonido; SOX: Soxhlet; EFS: fluidos supercríticos; US: ultrasonidos; ELP: extracción con líquidos presurizados; EAM: extracción asistida por microondas; mg: miligramos; mL: mililitros; g: gramos; °C: grados Celsius; h: horas; min: minutos; MPa: megapascal; W: watts; kg/s: kilogramos por segundo; EAG: equivalente de ácido gálico; AC: ácido clorogénico; PF: peso fresco; PS: peso seco; EXT: extracto; MP: muestra pretratada; ES: extracto seco.

Fuente: elaboración propia.

Maceración

La maceración es una técnica convencional de extracción como lo son la digestión, la percolación, la decocción, la infusión y Soxhlet. Este proceso implica sumergir en un solvente una matriz previamente pulverizada, controlando factores como agitación, temperatura, iluminación y tiempo para optimizar la extracción. Después del tiempo de extracción es necesario separar la fase sólida de la líquida mediante decantación, clarificación o filtración (Alara et al., 2021). Aunque es un método sencillo, presenta desventajas como el elevado volumen de solvente necesario, baja recuperación del solvente y tiempos prolongados de extracción (Tanase et al., 2019).

Extracción asistida por ultrasonido (EAU)

La extracción asistida por ultrasonido (EAU) es una técnica eficaz para extraer compuestos fenólicos de matrices complejas como los chiles, aprovechando el fenómeno de cavitación acústica. Este proceso se desencadena cuando las ondas sonoras generan la formación, crecimiento y colapso rápido de burbujas en el solvente, lo que aumenta la temperatura y la presión localizadas, facilitando la ruptura de la pared celular vegetal y aumentando el área de contacto entre las partículas vegetales y el solvente. Esto mejora la transferencia de compuestos fenólicos al solvente (Azmir et al., 2013).

Extracción asistida por microondas (EAM)

La extracción asistida por microondas (EAM) es una técnica moderna que utiliza la energía de radiación de microondas para calentar una muestra disuelta en un solvente, lo que facilita la extracción de compuestos bioactivos. El rango de frecuencia en la que operan las microondas es de 300 MHz a 300 GHz, y su energía se distribuye en 2 campos: uno magnético y otro eléctrico. Estos campos inducen la conducción iónica y la rotación de dipolos en los compuestos polares generando calor (Azmir et al., 2013). Este proceso provoca un aumento en la presión y la temperatura, que favorecen la disociación de compuestos en la matriz vegetal y su transferencia al solvente. Los solventes adecuados para este método son aquellos que absorben eficientemente la energía de las microondas: etanol, metanol y agua, mientras que solventes como el hexano y diclorometano son inadecuados debido a su inestabilidad térmica bajo radiación de microondas (Alara et al., 2021).

Extracción con fluidos supercríticos (EFS)

La extracción con fluidos supercríticos (EFS) utiliza fluidos en condiciones de temperatura y presión por encima de su punto crítico, lo que les confiere una densidad similar a la de los líquidos, pero con la viscosidad de los gases y una capacidad de difusión intermedia. Estas propiedades permiten una penetración más eficiente y rápida en las matrices vegetales, lo que mejora la extracción de compuestos bioactivos (Al Jitan et al., 2018). El dióxido de carbono (CO_2) es el solvente más comúnmente empleado en EFS debido a su no toxicidad, bajo costo, no inflamabilidad y su capacidad para preservar la integridad de las moléculas durante la extracción. Sin embargo, el CO_2 no es eficaz para extraer compuestos polares, por lo que se suele añadir un codisolvente, como el etanol o el metanol, para mejorar la eficiencia de extracción (Abhari y Khaneghah, 2020).

Extracción con líquidos presurizados (ELP)

La ELP es una técnica que se realiza a presiones entre 35 y 200 bar, y temperaturas de 50 a 200 °C. Estas condiciones permiten que el solvente permanezca en estado líquido por debajo de su punto de ebullición, aumentando su permeabilidad y eficacia en la extracción (Abhari y Khaneghah, 2020).

Soxhlet

La técnica Soxhlet, desarrollada por Franz Ritter Von Soxhlet en 1879, fue inicialmente diseñada para la extracción de lípidos, pero actualmente se utiliza también para extraer compuestos fenólicos y otras

moléculas bioactivas, por lo que es considerada la técnica de referencia en comparación con métodos modernos de extracción (Azmir et al., 2013). La extracción Soxhlet se basa en la lixiviación, donde la muestra pulverizada se somete a un solvente, permitiendo la separación continua de los compuestos deseados. Una de sus principales ventajas es el uso eficiente de solventes, lo que requiere menor volumen y tiempo en comparación con técnicas como la maceración. Además, es compatible con una variedad de solventes, incluidos propanol, acetona, cloroformo, acetato de etilo, n-hexano, metanol, etanol y agua (Alara et al., 2021).

Composición química de la carne

La carne, definida como el músculo esquelético comestible de animales como bovinos, ovinos, caprinos, porcinos y aves de corral, es esencial en la dieta humana por su alto valor nutricional. Su composición típica incluye aproximadamente un 75 % de agua, 19 % de proteínas (11.5 % miofibrilares, 5.5 % sarcoplásmicas y 2 % de tejido conectivo), 2.5 % de lípidos, 1.2 % de carbohidratos y 2.3 % de sustancias solubles no proteicas, aunque estos porcentajes pueden variar según la especie (Olaoye, 2011). En su composición se incluyen minerales (hierro y zinc), vitaminas, ácidos grasos y aminoácidos esenciales. Se ha reportado que factores como la dieta animal pueden influir en el perfil de ácidos grasos. La carne roja, por ejemplo, es rica en proteínas (22 %) y contiene ácidos grasos poliinsaturados y trans, como el omega-3 y el ácido linoleico conjugado, que benefician la salud cardiovascular. De igual manera, el hierro varía según el tipo de músculo, y es más abundante en músculos rojos debido a la mayor presencia de mioglobina (Domínguez et al., 2019).

Deterioro de la carne y de los productos cárnicos

La carne, reconocida por su alto valor nutricional, también es susceptible a un rápido deterioro debido a su composición química. Este deterioro afecta propiedades organolépticas como la textura, el color, el sabor, el aroma y la jugosidad, lo que puede llevar a un rechazo por parte de los consumidores. La oxidación de ácidos grasos poliinsaturados es la segunda causa principal de deterioro, después de la contaminación microbiana (Olaoye, 2011; Ozaki et al., 2021). Las especies reactivas de oxígeno (ROS) son radicales libres que se forman de manera natural en los organismos vivos, cuya presencia se encuentra regulada por diversos mecanismos de homeostasis celular. Pero, cuando estas regulaciones desaparecen en los músculos post mortem, las ROS tienden a acumularse e interactuar con las proteínas, ácidos grasos y ácidos nucleicos, generando productos secundarios que comprometen la calidad e inocuidad de la carne (Manessis et al., 2020).

La oxidación degrada vitaminas y ácidos grasos esenciales, además de alterar propiedades sensoriales como el color. La mioglobina, presente en las fibras musculares, es responsable del color rojo de la carne. Al oxidarse, la mioglobina se convierte en metamioglobina, lo que produce colores marrones que disminuyen la aceptación del producto (Bellucci et al., 2021). Asimismo, la oxidación de ácidos grasos poliinsaturados genera subproductos como hidroperóxidos y aldehídos, entre ellos el malondialdehído, con efectos citotóxicos, oxidativos y mutagénicos que pueden contribuir a generar enfermedades como artritis reumatoide, atherosclerosis, parkinson, alzheimer y cáncer (Ribeiro et al., 2019; Villasante et al., 2020).

La principal causa de deterioro de la carne es la contaminación microbiana, favorecida por la presencia de nutrientes como ácidos grasos, fosfolípidos, hemoproteínas, minerales y agua. Microorganismos como *Micrococcus*, *Escherichia coli*, entre otros, pueden provocar putrefacción a través de la descarboxilación de aminoácidos y la formación de aminas biogénicas, como la tiramina, putrescina y cadaverina, que pueden reaccionar con nitritos y formar nitrosaminas, moléculas cancerígenas (Carmona-Escutia et al., 2019).

Oxidación lipídica

La oxidación lipídica en la carne es un proceso de degradación que comienza cuando los ácidos grasos, tanto saturados como insaturados, reaccionan con el oxígeno a través de la autooxidación. El

proceso consta de 3 fases: iniciación, propagación y terminación (Figura 3). Durante la iniciación, no ocurre una reacción directa entre el oxígeno y los ácidos grasos insaturados debido a que estos últimos tienen dobles enlaces en forma singlete, mientras que el oxígeno está en forma triplete. Para que la reacción ocurra, el oxígeno debe activarse a un estado electrónico singlete, lo cual se logra mediante la exposición a luz, temperatura y metales de transición que generan radicales libres. Estos radicales atacan a los ácidos grasos, ocasionando la pérdida de hidrógenos y la formación de radicales alquilo y compuestos no radicales como dienos o trienos conjugados (Domínguez et al., 2019).

En la propagación, los radicales alquilo reaccionan con el oxígeno molecular, formando radicales peroxy. Estos, al reaccionar con otros lípidos, generan hidroperóxidos y más radicales alquilo. Los hidroperóxidos se descomponen, produciendo compuestos como pentanal, 4-hidroxinonenal, hexanal y malondialdehido, que alteran las características nutricionales y sensoriales de la carne. Además, estos productos pueden inducir enfermedades inflamatorias, atherosclerosis y algunos tipos de cáncer (Manessis et al., 2020). Finalmente, en la terminación, los radicales libres forman productos estables e inestables que reducen la calidad sensorial de la carne. Este proceso puede ocurrir de dos maneras: a través de la reacción entre radical-radical, formando un aducto no radical, o mediante la acción de antioxidantes, que estabilizan los radicales donando átomos de hidrógeno (Tomović et al., 2017).

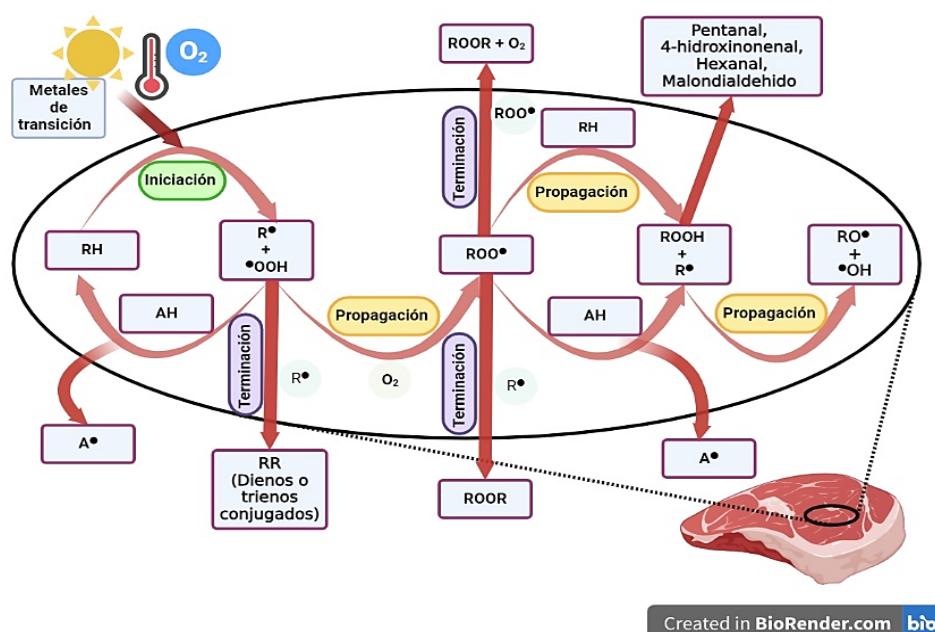


Figura 3. Mecanismo de oxidación de los lípidos en la carne. Elaboración propia con modificaciones de Kumar et al. (2015).

*ROS: especies reactivas de oxígeno; RH: ácidos grasos; R•: radical alquilo; •OOH: radical hidroperóxido; RR: especies no radicales; ROOR: peróxido orgánico; ROOH: hidroperóxidos; RO•: radical alcoxí; •OH: radical hidroxilo; O₂: oxígeno; AH: antioxidante eliminador de radicales libres; A•: radical eliminador (relativamente muy estable).

Deterioro microbiano

El deterioro microbiano en la carne y en productos cárnicos es un problema crítico, especialmente en países en desarrollo donde las enfermedades transmitidas por alimentos son una causa significativa de morbilidad y mortalidad. A pesar de que los músculos de animales sanos son estériles, la carne es susceptible a la contaminación debido a su alto contenido de nutrientes, pH adecuado y actividad de agua, lo que favorece el crecimiento microbiano (Pellissery et al., 2020). Durante el sacrificio y desollado, microorganismos pueden contaminar la carne a partir de superficies, equipos, agua, pelo, piel o un manejo inadecuado. Este entorno facilita la proliferación de bacterias como *Enterococcus* sp., *Lactobacillus* sp., *Pseudomonas* sp. y *Enterobacteriaceae*, que deterioran la calidad de la carne al descomponer proteínas y lípidos (Papuc et al., 2017). Además, patógenos como *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* sp., *Escherichia coli* O157:H7 y *Clostridium perfringens* están asociados con brotes de enfermedades transmitidas por carne contaminada (Olaoye, 2011); en los productos cárnicos secos se ha establecido un límite de 6 log UFC/g (Ozaki et al., 2020). Para abordar este desafío, la industria cárnia e investigadores buscan y aplican aditivos antimicrobianos naturales y sintéticos, buscando mejorar la inocuidad y extender la vida útil de productos cárnicos (Villasante et al., 2020).

Antioxidantes utilizados en sistemas cárnicos

La carne y sus derivados ofrecen beneficios para la salud debido a su rica composición química y bioquímica, pero el uso de conservantes sintéticos, como galato de propilo (PG), butilhidroxitolueno (BHT), butilhidroxianisol (BHA), butilhidroxiquinona (TBHQ) y el nitrito de sodio, ha generado preocupaciones debido a sus posibles efectos toxicológicos y cancerígenos (Tomović et al., 2017). Aunque estos conservantes son eficaces en la preservación de productos cárnicos y el nitrito de sodio en la inhibición de patógenos como *Clostridium botulinum*, la industria cárnia ha comenzado a buscar alternativas naturales (Efenberger-Szmechtyk et al., 2021). Se ha reportado que antioxidantes naturales derivados de compuestos fenólicos (ácido gálico, catequina y la quer cetina) son efectivos en la prevención de la oxidación y degradación microbiana, además de ofrecer propiedades antiinflamatorias y anticancerígenas (Aminzare et al., 2019).

Antioxidantes y conservantes de origen sintético

En la elaboración de productos cárnicos, antioxidantes y conservantes sintéticos como nitritos, BHT, BHA, y TBHQ son comúnmente utilizados por su capacidad para mantener la vida útil de los alimentos y prevenir

la oxidación, además de garantizar la seguridad frente a patógenos como *Clostridium botulinum* (Flores y Toldrá, 2021). Aunque son efectivos y de bajo costo, su uso está estrictamente regulado por las autoridades legales con base en la concentración máxima permitida. Las regulaciones establecidas por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) indican que se permite hasta un 0.01 % de BHA en salchichas frescas y 0.003 % en salchichas deshidratadas (Movileanu et al., 2013). La concentración de BHT en la industria cárnea está limitada al 0.02 %, mientras que la concentración máxima de nitritos en productos cárnicos (triturados, masajeados o bombeados y curados) en Estados Unidos se encuentra entre 156 y 200 ppm. En cambio, en la Unión Europea (UE) y países europeos el nivel máximo de nitritos es de 150 ppm para productos cárnicos enlatados y curados (Lee et al., 2018). Investigaciones previas han vinculado el uso de antioxidantes sintéticos en concentraciones superiores a los límites establecidos con riesgos para la salud, como neoplasias y mutaciones del ADN, entre los cuales las nitrosaminas, formadas a partir de nitritos, son especialmente peligrosas por su potencial teratogénico, mutagénico y cancerígeno (Ribeiro et al., 2019).

La creciente preocupación por los riesgos asociados al uso de conservantes sintéticos ha motivado a los consumidores a reducir su consumo y ha llevado a la industria a buscar alternativas naturales, que no constituyan un riesgo para la salud y que además sean saludables para la conservación de la carne y productos cárnicos (Villasante et al., 2020) (Figura 4).

Compuestos fenólicos como conservantes y antioxidantes de origen natural

El aumento de enfermedades no transmisibles, como la obesidad y el síndrome metabólico, relacionadas con una dieta rica en alimentos procesados y ultraprocesados ha impulsado la búsqueda de alternativas para mitigar estos riesgos. Con investigaciones actuales se ha buscado mantener las ventajas de los productos cárnicos procesados, como su practicidad y vida útil prolongada, pero con un enfoque en reducir los riesgos para la salud mediante la incorporación de moléculas naturales, como los compuestos fenólicos (Villasante et al., 2020). Los compuestos fenólicos, presentes en plantas, son una opción prometedora debido a sus propiedades antioxidantes (por la donación de átomos de hidrógeno y electrones) y son capaces de interrumpir las reacciones de oxidación y estabilizar moléculas oxidantes como el peróxido de hidrógeno, formando agua como subproducto, lo cual mejora la estabilidad y seguridad de los productos cárnicos (Papuc et al., 2017; Efenberger-Szmechtyk et al., 2021).

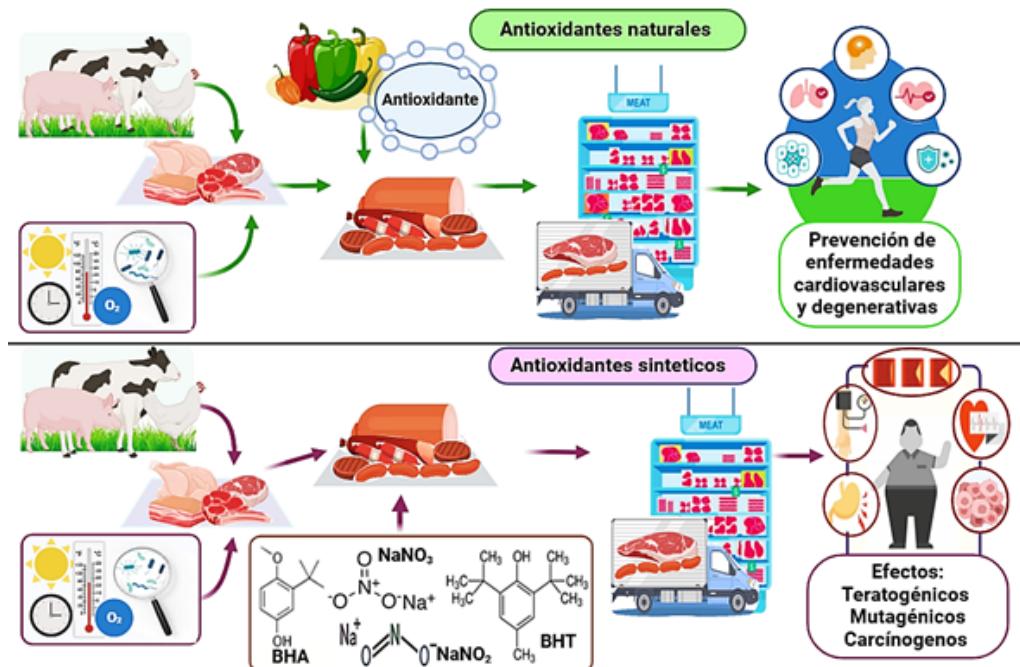


Figura 4. Integración de antioxidantes naturales de *Capsicum* sp. en la conservación de carnes y productos cárnicos en la cadena de producción, en comparación con los conservantes y antioxidantes tradicionales. Elaboración propia con información de (Aminzare et al., 2019; Ribeiro et al., 2019; Villasante et al., 2020; Flores y Toldrá, 2021).

Estos compuestos también tienen efectos antimicrobianos, aunque su mecanismo exacto no se comprende completamente. Sin embargo, se ha reportado que los grupos hidroxilo interactúan con la membrana bacteriana a través de enlaces de hidrógeno, causando cambios en la permeabilidad de la membrana, alteraciones como la pérdida del contenido celular, alteraciones metabólicas y muerte celular (Romero-Luna et al., 2023). Debido a estas propiedades, se investigan para ser ofrecidos como alternativas a los conservantes sintéticos. Se ha reportado que los compuestos fenólicos no solo prolongan la vida útil al reducir la oxidación de lípidos, sino que también mejoran las propiedades sensoriales y microbiológicas (Ribeiro et al., 2019; Ferysiuk et al., 2020).

En este contexto, Papuc et al. (2017) reportaron varios indicadores clave de deterioro de la carne, como el color, dienos conjugados y sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS), entre otros. El método TBARS se considera el más representativo para evaluar la calidad de la carne, ya que mide el malondialdehído (MDA), un producto secundario clave en la oxidación de lípidos (Ozaki et al., 2020). De tal manera, se ha establecido un valor máximo de 2 mg MDA/kg para los productos cárnicos, aunque algunos estudios sugieren que es preferible mantener los valores entre 0.7 y 1.0 mg MDA/kg para evitar la aparición de sabores y olores desagradables (Ghafouri-Oskuei et al., 2020; Kim, 2020). Bellucci et al. (2021) evaluaron el extracto de

pitaya roja y demostraron una reducción significativa en los valores de TBARS en hamburguesas de cerdo, lo que mejoró la aceptación sensorial. Por otro lado, el extracto de *Allium senescens* ha demostrado una actividad antioxidante comparable al BHT en salchichas secas (Qin et al., 2021). Otro estudio destacó que el uso de pulpa de tomate en polvo como antioxidante en salchichas de res no solo redujo la oxidación de lípidos, sino que también mejoró el color y la aceptación sensorial del producto (Ghafouri-Oskuei et al., 2020).

Uso del chile en productos cárnicos

El chile, en sus diversas formas (extracto, polvo u oleoresina), se presenta como una alternativa natural eficaz para sustituir o reducir el uso de antioxidantes sintéticos en la industria cárnica. Esta efectividad podría deberse a los compuestos fenólicos, vitaminas, capsaicinoides y carotenoides presentes, los cuales poseen propiedades antioxidantes y antimicrobianas (Riquelme y Matiacevich, 2017). Diversas investigaciones han demostrado que ciertas variedades de chile, cuando se utilizan en lugar o en combinación con antioxidantes y conservantes sintéticos, no solo mantienen la estabilidad antioxidante de los productos cárnicos, sino que también mejoran su color y sabor, extienden la vida útil y no provocan alteraciones indeseadas, con lo cual se logra un desempeño similar al de los antioxidantes sintéticos (Ferysiuk et al., 2020; Draszanowska et al., 2021).

Actividad antioxidante de los compuestos fenólicos de chile (*Capsicum sp.*) en la carne

Aunque son limitados, algunos estudios han evaluado los efectos antioxidantes de los compuestos fenólicos presentes en diferentes variedades del chile, con el objetivo de conservar e incluso mejorar la calidad organoléptica de los productos cárnicos (Tabla 2). En particular, Draszanowska et al. (2021) investigaron la adición de chile guindilla en polvo al 3 % en carne de cerdo enlatada, pasteurizada y almacenada durante 50 días. Los resultados mostraron que el chile guindilla mejoró la aceptación del producto al reducir el aroma graso y mantener características sensoriales agradables durante el almacenamiento, en comparación con el BHT, que mostró sabores y olores indeseados.

Actividad antimicrobiana de los compuestos fenólicos del chile en la carne

El chile (*Capsicum sp.*), además de su uso alimentario, ha sido valorado en la medicina tradicional por sus propiedades antimicrobianas, atribuibles a compuestos bioactivos como los compuestos fenólicos. Estas moléculas han mostrado eficacia contra bacterias como *Bacillus cereus*, *Salmonella*

typhimurium, *Listeria monocytogenes* y *Staphylococcus aureus* en estudios *in vitro* (Careaga et al., 2003). Por su parte, Villasante et al. (2020) confirmaron la actividad antimicrobiana del extracto de chile morrón rojo contra bacterias Gram positivas, como *L. monocytogenes* y *M. luteus*. Cerón-Carrillo et al. (2017), también reportaron que extractos de chile serrano y habanero son más efectivos contra *L. monocytogenes* que contra *E. coli*. A pesar de estos hallazgos, el número de estudios que exploran el efecto antimicrobiano de los compuestos fenólicos del chile en sistemas cárnicos es aún limitado (Tabla 3).

Limitaciones y regulaciones legales del uso de los compuestos fenólicos en la carne

El concepto de alimento funcional, originado en Japón en la década de 1980, ha experimentado un crecimiento considerable, especialmente en mercados como Europa y Estados Unidos, donde su valor se estima en \$8 mil millones y \$21.3 mil millones, respectivamente (Butnariu y Sarac, 2019). Aunque no existe una definición única de alimento funcional, en general, se refiere a aquellos alimentos que, además de nutrir, mejoran la salud y reducen el riesgo de enfermedades no transmisibles, siempre y cuando haya evidencia científica que lo respalde (Holdt y Kraan, 2011).

Tabla 2. Productos cárnicos reformulados con compuestos fenólicos de chile

Producto cárneo	Fuente de antioxidantes	Concentración	Efectos principales	Referencia
Salchicha fresca de cerdo	Extracto de chile péndulo.	0.5, 1 y 1.5 %	Los valores TBARS en las salchichas frescas no presentaron diferencias significativas entre tratamientos (0.017 y 0.028 mg MDA/kg) en los primeros 30 días de almacenamiento y posteriormente aumentaron hasta 0.065 mg MDA/kg a los 60 días de almacenamiento a -18 °C. En las salchichas ahumadas los tratamientos no presentaron diferencias significativas, con valores entre 0.013 y 0.069 mg MDA/kg durante los 60 días de almacenamiento a -18 °C.	De Oliveira-Cabral et al. (2020).
Carne de cerdo enlatada	Polvo de chile guindilla.	3 %	El polvo de guindilla presentó baja capacidad antioxidante en los lípidos de la carne de cerdo enlatada y almacenada por 50 días a 5 °C, valores TBARS (1.5 y 1.8 mg MDA/kg). Pero, el extracto mejoró la textura, el color y la calidad sensorial.	Draszanowska et al. (2021).
Carne de cerdo enlatado en conserva	Extracto de chile morrón variedad afios. BHT. A todos los tratamientos se les adicionó (NaCl y NaNO ₃).	0.005, 0.01 y 0.015 % 0.01 % Sales de curado (22 g/kg y 50 mg/kg).	Los tratamientos con extracto de chile mostraron un efecto reductor de los valores TBARS en la carne almacenada durante 270 días a 4 °C, en comparación con el tratamiento con BHT. Los valores TBARS para los extractos de chile variaron de 0.46 a 0.64 mg MDA/kg, el BHT se encontró entre 0.44 y 0.74 mg MDA/kg durante el almacenamiento.	Ferysiuk et al. (2020).
Salchichas de pollo	Extracto de semilla de morrón con polvo de semilla de morrón.	7 y 1 %	El valor TBARS en la salchicha con tratamiento se encontró entre 0.28 y 0.38 mg MDA/kg durante el día 0 hasta el día 14 de almacenamiento a 4 °C. La salchicha control sin tratamiento, presentó valores entre 0.29 y 0.47 mg MDA/kg durante los 14 días de almacenamiento a 4 °C. El tratamiento mejoró las propiedades sensoriales de color, sabor y aceptabilidad.	Kim (2020).
Hamburguesa de res	Extracto de pimiento rojo picante.	0.35 %	El extracto de chile mantuvo niveles de TBARS por debajo de 0.633 mg MDA/kg durante los 12 días de almacenamiento a 4 °C. En cuanto al análisis sensorial, mostró una disminución en la aceptabilidad debido a alteraciones del sabor.	Villasante et al. (2020).

*TBARS: sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico; MDA: malondialdehído; mg: miligramos; kg: kilogramos; °C: grados Celsius; BHT: butilhidroxitolueno.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Actividad antimicrobiana *in situ* de compuestos fenólicos del chile en productos cárnicos

Carne/ Producto cárneo procesado	Tratamiento	Microorganismos evaluados	Resultados	Referencias
Carne de res cruda en trozos	Extracto de pimiento morrón entero con semillas. Para <i>S. typhimurium</i> de 0.02 a 2.5 mL/100 g de carne. Para <i>P. aeruginosa</i> de 0.02 a 5 mL/100 g de carne.	<i>S. typhimurium</i> (ATCC 14028) y <i>P. aeruginosa</i> (ATCC 27853).	Concentraciones de extracto de 1.5 y 2.5 mL/100 g de carne inactivaron <i>S. typhimurium</i> y su concentración mínima letal fue de 1.5 mL/100 g de carne. En el caso de <i>P. aeruginosa</i> informaron que concentraciones del extracto de 4 y 5 mL/100 g de carne es efectiva después de los 3 días de almacenamiento, pero concentraciones de 3 mL/100 g de carne las inhibe después de los 5 días. La concentración mínima letal fue 3 mL/100 g de carne.	Careaga et al. (2003).
Chorizo de cerdo madurado en seco	Polvo de pimentón de 22 g/kg de carne.	BMA y bacterias coliformes.	Las BMA aumentaron durante el almacenamiento hasta el día 19 y comenzaron a disminuir. Los coliformes al día 0 de almacenamiento fueron de 4.1 log UFC/g y al final del almacenamiento de 33 días fue de 1.6 log UFC/g.	Carmona-Escutia et al. (2019).
Salchicha fresca de cerdo	Extracto de chile péndulo (0.5, 1 y 1.5 %).	Coliformes, <i>Staphylococcus coagulasa positivo</i> , <i>Salmonella</i> sp. y <i>Clostridium</i> .	Muestras tratadas con distintas concentraciones del extracto mostraron valores menores a 3.0 NMP para coliformes, mientras que el resto de las bacterias no se presentaron.	Cabral et al. (2021).
Salchicha de pollo	Extracto a base de aceite de oliva con semilla de morrón (1:5 p/p).	BMA	No se detectaron bacterias durante los 14 días de almacenamiento.	Kim (2020).
Hamburguesa de res	Extracto de pimiento rojo picante (0.35 %).	BMA	A los 6 días de almacenamiento se encontraron entre 6 y 7 log UFC/g.	Villasante et al. (2020).

*ATCC: American Type Culture Collection; S: *Salmonella*; P: *Pseudomonas*; BMA: bacterias mesofílicas aerobias; mL: mililitros; g: gramos; log: logaritmo; UFC: unidad formadora de colonias; NMP: número más probable.

Fuente: elaboración propia.

La aplicación de extractos de plantas en la medicina tradicional ha impulsado la investigación de compuestos bioactivos y su interacción con alimentos, con el fin de garantizar su seguridad a través de estudios *in vitro* e *in vivo*. En particular, los compuestos fenólicos, como la epigalocatequina, quercetina y antocianinas, han demostrado potencial para disminuir la incidencia de enfermedades cardiovasculares, diabetes, obesidad e incluso distintos tipos de cáncer (Konstantinidi y Koutelidakis, 2019). No obstante, para su uso comercial en alimentos, es esencial que sus propiedades funcionales se demuestren mediante ensayos clínicos controlados y aleatorios, además de asegurar su seguridad mediante estudios toxicológicos. Cumplir con las normativas de seguridad alimentaria es crucial, con regulaciones específicas en lugares como la Unión Europea, bajo la supervisión de la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA), y en Estados Unidos, a través de la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) (Granato et al., 2020).

Actualmente existen regulaciones estrictas sobre el uso de aditivos y extractos en alimentos, incluidos los productos cárnicos. En la Unión Europea, los Reglamentos (UE) n. 1333/2008 y n. 1129/2011 establecen límites para el uso de extractos como el de pimentón (E 160c), con un límite de 10 mg/kg solo en embutidos, patés y terrines, mientras que el extracto de romero (E 392) tiene como límite 100 mg/kg solo en embutidos secos, 15 mg/kg en carne con un contenido graso no superior al 10 %, 150 mg/kg en

carne con un contenido superior al 10 % de materia grasa y 150 mg/kg en carne deshidratada (EUR-Lex, 2008; EUR-Lex, 2011).

Por otra parte, la FDA (2020), a través del título 21 de regulaciones federales en el subcapítulo B de alimentos para el consumo humano, informa que las especias, condimentos, aromatizantes naturales, extractos naturales (sin solventes), aceites esenciales, oleoresinas (sin solventes), entre los que se incluyen *C. frutescens* L., y *C. annuum* L., pueden considerarse sustancias generalmente reconocidas como seguras (GRAS). Sin embargo, existen limitaciones sobre su uso en productos cárnicos debido a que pueden ocasionar alteraciones indeseadas en las propiedades organolépticas, especialmente en casos de ingredientes con sabores y olores fuertes, como el clavo, pimienta negra y otros condimentos.

Referencias

- Abhari, K. y Khanegah, A. M. (2020). Alternative extraction techniques to obtain, isolate and purify proteins and bioactive from aquaculture and by-products. *Advances in Food and Nutrition Research*, 92, 35-52. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2019.12.004>
- Alara, O. R.; Abdurrahman, N. H. y Ukaegbu, C. I. (2021). Extraction of phenolic compounds: A review. *Current Research in Food Science*, 4, 200-214. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.03.011>
- Alirezalzu, K.; Hesari, J.; Yaghoubi, M.; Khanegah, A. M.; Alirezalzu, A.; Pateiro, M. y Lorenzo, J. M. (2021). Combined

- effects of ϵ -polylysine and ϵ -polylysine nanoparticles with plant extracts on the shelf life and quality characteristics of nitrite-free frankfurter-type sausages. *Meat Science*, 172, 108318. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108318>
- Al Jitan, S.; Alkhoori, S. A. y Yousef, L. F. (2018). Phenolic acids from plants: Extraction and application to human health. *Studies in Natural Products Chemistry*, 58, 389-417. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-64056-7.00013-1>
- Al Khalaf, A.; Issa, R. y Khattabi, A. (2020). Content of vitamin c, phenols and carotenoids extracted from *Capsicum annuum* with antioxidant, antimicrobial and coloring effects. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 23(9), 1154-1161. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2020.1154.1161>
- Aminzare, M.; Hashemi, M.; Ansarian, E.; Bimakr, M.; Azar, H.; Mehrasbi, M. R.; Daneshamooz, S.; Raeisi, M.; Jannat, B. y Afshari, A. (2019). Using natural antioxidants in meat and meat products as preservatives: A review. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*, 7(5), 417-426. <http://dx.doi.org/10.17582/journal.aavs/2019/7.5.417.426>
- Antonious, G. F. (2018). Capsaicinoids and vitamins in hot pepper and their role in disease therapy. InTech. <https://doi.org/10.5772/intechopen.78243>
- Assis, M. L. D.; Gomes, M. A. G. B.; Da Cruz, L. L.; Passos, M. d. S.; Pereira, S. M.; Arantes, M.; Oliveira, D. B. y Vieira, I. J. C. (2019). Determination of antioxidant potential and quantitation of phenolic compounds by HPLC in accession of *Capsicum baccatum* var. *pendulum*. *Química Nova*, 42(1), 17-21. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170294>
- Azmir, J.; Zaidul, I. S. M.; Rahman, M. M.; Sharif, K. M.; Mohamed, A.; Sahena, F.; Jahurul, M. H. A.; Ghafoor, K.; Norulini, N. A. N. y Omar, A. K. M. (2013). Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review. *Journal of Food Engineering*, 117(4), 426-436. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.01.014>
- Blanco-Ríos, A. K.; Medina-Juárez, L. Á.; González-Aguilar, G. A. y Gámez-Meza, N. (2013). Antioxidant activity of the phenolic and oily fractions of different sweet bell peppers. *Journal of the Mexican Chemical Society*, 57(2), 137-143. <https://doi.org/10.29356/jmcs.v57i2.226>
- Bellucci, E. R. B.; Munekata, P. E.; Pateiro, M.; Lorenzo, J. M. y Da Silva Barretto, A. C. (2021). Red pitaya extract as natural antioxidant in pork patties with total replacement of animal fat. *Meat Science*, 171, 108284. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108284>
- Boler, D. D. y Woerner D. R. (2017). What is meat? A perspective from the American Meat Science Association. *Animal Frontiers*, 7(4), 8-11. <https://doi.org/10.2527/af.2017.0436>
- Butnariu, M. y Sarac I. (2019). Functional Food. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 3(3), 7-16. <https://doi.org/10.14302/issn.2379-7835.ijn-19-2615>
- Cabral, N. O.; Oliveira, R. F.; Henry, F. C.; Oliveira, D. B.; Santos Junior, A. C.; Maia Junior, J. A. y Martins, M. L. L. (2021). Effect of the fruit aqueous extract of balloon pepper (*Capsicum baccatum* var. *Pendulum*) on lipid oxidation, microbiological quality and consumer acceptance of fresh pork sausage and smoked. *Food Science and Technology*, 42, 1-8. <https://doi.org/10.1590/fst.09221>
- Careaga, M.; Fernández, E.; Dorantes, L.; Mota, L.; Jaramillo, M. E. y Hernández-Sánchez, H. (2003). Antibacterial activity of *Capsicum* extract against *Salmonella typhimurium* and *Pseudomonas aeruginosa* inoculated in raw beef meat. *International Journal of Food Microbiology*, 83(3), 331-335. [https://doi.org/10.1016/s0168-1605\(02\)00382-3](https://doi.org/10.1016/s0168-1605(02)00382-3)
- Carmona-Escutia, R. P.; Urias-Silvas, J. E.; García-Parra, M. D.; Ponce-Alquicira, E.; Villanueva-Rodríguez, S. J. y Escalona-Buendía, H. B. (2019). Influence of paprika (*Capsicum annuum* L.) on quality parameters and biogenic amines production of a ripened meat product (chorizo). *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 18(3), 949-966. <https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbl/revmexingquim/2019v18n3/carmona>
- Cerón-Carrillo, T. G.; Santesteban-López, N. A. y Acle-Mena, R. S. (2017). Composition and antimicrobial activity of two *Capsicum* extracts. *CIBA Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 5(10), 87-107. <https://doi.org/10.23913/ciba.v5i10.63>
- Chávez-Mendoza, C.; Sánchez, E.; Muñoz-Márquez, E.; Sida-Arreola, J. P. y Flores-Cordova, M. A. (2015). Bioactive compounds and antioxidant activity in different grafted varieties of bell pepper. *Antioxidants*, 4(2), 427-446. <https://doi.org/10.3390/antiox4020427>
- Chel-Guerrero, L. D.; Oney-Montalvo, J. E. y Rodríguez-Buenfil, I. M. (2021). Phytochemical characterization of by-products of habanero pepper grown in two different types of soils from Yucatán, México. *Plants*, 10(4), 779. <https://doi.org/10.3390/plants10040779>
- Cinar, I. (2005). Effects of cellulase and pectinase concentrations on the colour yield of enzyme extracted plant carotenoids. *Process Biochemistry*, 40(2), 945-949. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2004.02.022>
- Cosme, P.; Rodríguez, A. B.; Espino, J. y Garrido, M. (2020). Plant phenolics: Bioavailability as a key determinant of their potential health-promoting applications. *Antioxidants*, 9(12), 1263. <https://doi.org/10.3390/antiox9121263>
- Cutrim, C. S. y Cortez, M. A. S. (2018). A review on polyphenols: Classification, beneficial effects and their application in dairy products. *International Journal of Dairy Technology*, 71(3), 564-578. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12515>
- Das, A. K.; Islam, M. N.; Faruk, M. O.; Ashaduzzaman, M. y Dungani, R. (2020). Review on tannins: Extraction processes, applications and possibilities. *South African Journal of Botany*, 135, 58-70. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.08.008>
- De Aguiar, A. C.; Da Fonseca Machado, A. P.; Angolini, C. F. F.; De Morais, D. R.; Baseggio, A. M.; Eberlin, M. N.; Maróstica, M. R. J. y Martínez, J. (2019). Sequential high-pressure extraction to obtain capsinoids and phenolic compounds from biquinho pepper (*Capsicum chinense*). *The Journal of Supercritical Fluids*, 150, 112-121. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2019.04.016>
- De Oliveira-Cabral, N.; De Oliveira, R. F.; Henry, F. D. C.; De Oliveira, D. B.; Dos Santos, A. C.; De azevedo-Maia, J. y Martins, M. L. L. (2020). Effect of the extract of balloon pepper (*Capsicum baccatum* var. *Pendulum*) on lipid peroxidation and microbiology of pork sausage. *Agricultural Research & Technology*, 24(5), 165-167. <https://doi.org/10.19080/artoaj.2020.24.556283>
- Dias, A. L. B.; Sergio, C. S. A.; Santos, P.; Barbero, G. F.; Rezende, C. A. y Martínez, J. (2016). Effect of ultrasound on the supercritical CO_2 extraction of bioactive compounds from dedo de moça pepper (*Capsicum baccatum* L. var. *pendulum*). *Ultrasonics Sonochemistry*, 31, 284-294. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.01.013>
- Dinu, M.; Soare, R.; Hoza, G. y Băbeanu, C. (2018). Changes in phytochemical and antioxidant activity of hot pepper fruits on maturity stages, cultivation areas and genotype. *South Western Journal of Horticulture, Biology and Environment*, 9(2), 65-76. https://biozoojournals.ro/swjhbe/v9n2/02_swjhbe_v9n2_Dinu.pdf

- Domínguez, R.; Pateiro, M.; Gagaoua, M.; Barba, F. J.; Zhang, W. y Lorenzo, J. M. (2019). A comprehensive review on lipid oxidation in meat and meat products. *Antioxidants*, 8(10), 429. <https://doi.org/10.3390/antiox8100429>
- Draszanowska, A.; Karpińska T. M. y Olszewska, M. A. (2021). The effect of the addition of chilli pepper fruits and refrigerated storage time on the quality of pasteurised canned meat. *Czech Journal of Food Sciences*, 38(5), 301-307. <https://doi.org/10.17221/52/2020-cjfs>
- Echave, J.; Pereira, A. G.; Carpena, M.; Prieto, M. Á. y Simal-Gandara, J. (2020). Capsicum seeds as a source of bioactive compounds: Biological properties, extraction systems, and industrial application. In IntechOpen eBooks. <https://doi.org/10.5772/intechopen.91785>
- Efenberger-Szmechtyk M.; Nowak, A. y Czyzowska, A. (2021). Plant extracts rich in polyphenols: Antibacterial agents and natural preservatives for meat and meat products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(1), 149-178. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1722060>
- EUR-Lex. (2008). Reglamento (CE) n. 1333/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de diciembre de 2008 sobre aditivos alimentarios. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:02008R1333-20170612&from=HU>
- EUR-Lex. (2011). Reglamento (UE) n. 1129/2011 de la Comisión de 11 de noviembre de 2011 por el que se modifica el anexo II del Reglamento (CE) no 1333/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo para establecer una lista de aditivos alimentarios de la Unión. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2011/1129/oj?locale=es>
- Farahmandfar, R.; Asnaashari, M. y Sayyad, R. (2017). Antioxidant activity and total phenolic content of *Capsicum frutescens* extracted by supercritical CO₂, ultrasound and traditional solvent extraction methods. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 20(1), 196-204. <https://doi.org/10.1080/0972060x.2017.1280420>
- Farahmandfar, R.; Kenari, R. E.; Asnaashari, M.; Shahrampour, D. y Bakhshandeh, T. (2019). Bioactive compounds, antioxidant and antimicrobial activities of *Arum maculatum* leaves extracts as affected by various solvents and extraction methods. *Food Science & Nutrition*, 7(2), 465-475. <https://doi.org/10.1002/fsn.3.815>
- FDA. (2020). Food for human consumption. Part 182: substances generally recognized as safe. <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm?fr=182.10>
- Ferysiuk, K.; Wójciak, K. M.; Materska, M.; Chilczuk, B. y Pabich, M. (2020). Modification of lipid oxidation and antioxidant capacity in canned refrigerated pork with a nitrite content reduced by half and addition of sweet pepper extract. *LWT- Food Science and Technology*, 118, 108738. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108738>
- Flores, M. y Toldrá, F. (2021). Chemistry, safety, and regulatory considerations in the use of nitrite and nitrate from natural origin in meat products-Invited review. *Meat Science*, 171, 108272. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108272>
- Ghafoori-Oskuei H.; Javadi, A.; Asl, M. R. S.; Azadmard D. S. y Armin, M. (2020). Quality properties of sausage incorporated with flaxseed and tomato powders. *Meat Science*, 161, 107957. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.107957>
- Granato, D.; Barba, F. J.; Bursać Kovačević, D.; Lorenzo, J. M.; Cruz, A. G. y Putnik, P. (2020). Functional foods: Product development, technological trends, efficacy testing, and safety. *Annual Review of Food Science and Technology*, 11(1), 93-118. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-032519-051708>
- Hamed, M.; Kalita, D.; Bartolo, M. E. y Jayanty, S. S. (2019). Capsaicinoids, polyphenols and antioxidant activities of *Capsicum annuum*: Comparative study of the effect of ripening stage and cooking methods. *Antioxidants*, 8(9), 364. <https://doi.org/10.3390/antiox8090364>
- Hernández-Pérez, T.; Gómez-García, M. D. R.; Valverde, M. E. y Paredes-López, O. (2020). *Capsicum annuum* (hot pepper): An ancient Latin-American crop with outstanding bioactive compounds and nutraceutical potential. A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(6), 2972-2993. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12634>
- Holdt, S. L. y Kraan, S. (2011). Bioactive compounds in seaweed: Functional food applications and legislation. *Journal of Applied Phycology*, 23(3), 543-597. <https://doi.org/10.1007/s10811-010-9632-5>
- IARC. Red Meat and Processed Meat volume 114. Lyon, France: IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. 2018. ISBN 978-92-832-0180-9. Available from: <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Red-Meat-And-Processed-Meat-2018>
- Jiménez-García, S. N.; García-Mier, L.; Ramírez-Gómez, X. S.; Guevara-González, R. G.; Aguirre-Becerra, H.; Escobar-Ortiz, A.; Contreras-Medina, L. M.; García-Trejo, J. F.; Vázquez-Cruz, M. A. y Feregrino-Pérez, A. A. (2023). Characterization of the key compounds of bell pepper by spectrophotometry and gas chromatography on the effects of induced stress on the concentration of secondary metabolite. *Molecules*, 28(9), 3830. <https://doi.org/10.3390/molecules28093830>
- Kalogianni, A. I.; Lazou, T.; Bossis, I. y Gelasakis, A. I. (2020). Natural phenolic compounds for the control of oxidation, bacterial spoilage, and foodborne pathogens in meat. *Foods*, 9(6), 794. <https://doi.org/10.3390/foods9060794>
- Kaur, C. y Kapoor, H. C. (2001). Antioxidants in fruits and vegetables-the millennium's health. *International Journal of Food Science & Technology*, 36(7), 703-725. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2001.00513.x>
- Kim, Y. K. (2020). Quality improvement of the chicken sausage with pepper seed (*Capsicum annuum* L.). *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, 8(3), 829-836. <https://doi.org/10.12944/crnfsj.8.3.14>
- Konstantinidi, M. y Koutelidakis, A. (2019). Functional foods and bioactive compounds: A review of its possible role on weight management and obesity's metabolic consequences. *Medicines*, 6(3), 94. <https://doi.org/10.3390/medicines6030094>
- Kumar, Y.; Yadav, D. N.; Ahmad, T. y Narsaiah, K. (2015). Recent trends in the use of natural antioxidants for meat and meat products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(6), 796-812. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12156>
- Lee, S.; Lee, H.; Kim, S.; Lee, J.; Ha, J.; Choi, Y.; Oh, H.; Choi, K. H. y Yoon, Y. (2018). Microbiological safety of processed meat products formulated with low nitrite concentration. A review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 31(8), 1073-1077. <https://doi.org/10.5713/ajas.17.0675>
- Manessis, G.; Kalogianni, A. I.; Lazou, T.; Moschovas, M.; Bossis, I. y Gelasakis, A. I. (2020). Plant-derived natural antioxidants in meat and meat products. *Antioxidants*, 9(12), 1215. <https://doi.org/10.3390/antiox9121215>
- Mohd, H. N.; Yusof, N. A.; Yahaya, A. F.; Mohd Rozali, N. N. y Othman, R. (2019). Carotenoids of *Capsicum* fruits: Pigment profile and health-promoting functional attributes. *Antioxidants*, 8(10), 469. <https://doi.org/10.3390/antiox8100469>

- Movileanu, I.; De González, M. T. N.; Hafley, B.; Miller, R. K. y Keeton, J. T. (2013). Comparison of dried plum puree, rosemary extract, and BHA/BHT as antioxidants in irradiated ground beef patties. *International Journal of Food Science*, 2013, 1-7. <https://doi.org/10.1155/2013/360732>
- Olaoye, O. A. (2011). Meat: An overview of its composition, biochemical changes and associated microbial agents. *International Food Research Journal*, 18(3), 847-855. <https://www.researchgate.net/publication/277018609>
- Olatunji, T. L. y Afolayan, A. J. (2019). Comparative quantitative study on phytochemical contents and antioxidant activities of *Capsicum annuum* L. and *Capsicum frutescens* L. *The Scientific World Journal*, 2019(1), 4705140. <https://doi.org/10.1155/2019/4705140>
- Ozaki, M. M.; Munekata, P. E. S.; Lopes, A. S.; Nascimento, M. D. S. D., Pateiro, M.; Lorenzo, J. M. y Pollonio, M. A. R. (2020). Using chitosan and radish powder to improve stability of fermented cooked sausages. *Meat Science*, 167, 108165. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108165>
- Ozaki, M. M.; Munekata, P. E.; Jacinto-Valderrama, R. A.; Efraim, P.; Pateiro, M.; Lorenzo, J. M. y Pollonio, M. A. R. (2021). Beetroot and radish powders as natural nitrite source for fermented dry sausages. *Meat Science*, 171, 108275. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108275>
- Panche, A. N.; Diwan, A. D. y Chandra, S. R. (2016). Flavonoids: An overview. *Journal of Nutritional Science*, 5, e47. <https://doi.org/10.1017/jns.2016.41>
- Papuc, C.; Goran, G. V.; Predescu, C. N.; Nicorescu, V. y Stefan, G. (2017). Plant polyphenols as antioxidant and antibacterial agents for shelf-life extension of meat and meat products: Classification, structures, sources, and action Mechanisms. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(6), 1243-1268. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12298>
- Pellissery, A. J.; Vinayamohan, P. G.; Amalaradjou, M. A. R. y Venkitanarayanan, K. (2020). Chapter 17. Spoilage bacteria and meat quality. En Ashim Kumar Biswas y Prabhat Kumar Mandal (Eds.), *Meat Quality Analysis* (pp. 307-334). Connecticut: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819233-7.00017-3>
- Qin, L.; Yu, J.; Zhu, J.; Kong, B. y Chen, Q. (2021). Ultrasonic-assisted extraction of polyphenol from the seeds of *Allium senescens* L. and its antioxidative role in Harbin dry sausage. *Meat Science*, 172, 108351. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108351>
- Ribeiro, J. S.; Santos, M. J. M. C.; Silva, L. K. R.; Pereira, L. C. L.; Santos, I. A.; da Silva Lannes, S. C. y Da Silva, M. V. (2019). Natural antioxidants used in meat products: A brief review. *Meat Science*, 148, 181-188. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.10.016>
- Riquelme, N. y Matiacevich, S. (2017). Characterization and evaluation of some properties of oleoresin from *Capsicum annuum* var. *cacho de cabra*. *CyTA-Journal of Food*, 15(3), 344-351. <https://doi.org/10.1080/19476337.2016.1256913>
- Romero-Luna, H. E.; Colina, J.; Guzmán-Rodríguez, L.; Sierra-Carmona, C. G.; Fariñas-Campomanes, Á. M.; García-Pinilla, S.; González-Tijera, M. M.; Malagón-Alvira, K. O. y Peredo-Lovillo, A. (2023). Capsicum fruits as functional ingredients with antimicrobial activity: An emphasis on mechanisms of action. *Journal of Food Science and Technology*, 60, 2725-2735. <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05578-y>
- Sandoval-Castro, C. J.; Valdez-Morales, M.; Oomah, B. D.; Gutiérrez-Dorado, R.; Medina-Godoy, S. y Espinosa-Alonso, L. G. (2017). Bioactive compounds and antioxidant activity in scalped Jalapeño pepper industrial byproduct (*Capsicum annuum*). *Journal of Food Science and Technology*, 54, 1999-2010. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2636-2>
- Sowbhagya, H. B. (2019). Value-added processing of by-products from spice industry. *Food Quality and Safety*, 3(2), 73-80. <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyy029>
- Tanase, C.; Coşarcă, S. y Muntean, D. L. (2019). A critical review of phenolic compounds extracted from the bark of woody vascular plants and their potential biological activity. *Molecules*, 24(6), 1182. <https://doi.org/10.3390/molecules24061182>
- Tomović, V.; Jokanović, M.; Šojić, B.; Škaljac, S. y Ivić, M. (2017). Plants as natural antioxidants for meat products. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 85(1), 1-9. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/85/1/012030>
- Villasante, J.; Ouerfelli, M.; Bobet, A.; Metón, I. y Almajano, M. P. (2020). The effects of pecan shell, roselle flower and red pepper on the quality of beef patties during chilled storage. *Foods*, 9(11), 1692. <https://doi.org/10.3390/foods9111692>
- Vuolo, M. M.; Lima, V. S. y Junior, M. R. M. (2019). Chapter 2. Phenolic compounds: Structure, classification, and antioxidant power. Maira Rubi Segura Campos (Ed.), *Bioactive compounds* (pp. 33-50). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814774-0.00002-5>