



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO®

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CONKAL

**ACTIVIDAD BIOLÓGICA DE EXTRACTOS DE PLANTAS
DE YUCATÁN Y SU EFECTO COMO ADITIVOS SOBRE
LA CONSERVACIÓN DE UNA HAMBURGUESA DE
OVINO**

TESIS

Que presenta:

Gabriel Olvera Aguirre

Como requisito parcial para obtener el título de:

Doctor en Ciencias en Agricultura Tropical Sustentable

Director de tesis:

Dr. Angel Trinidad Piñeiro Vázquez

Conkal, Yucatán, México

Junio, 2026



TecNM



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CONKAL

**ACTIVIDAD BIOLÓGICA DE EXTRACTOS DE PLANTAS
DE YUCATÁN Y SU EFECTO COMO ADITIVOS SOBRE
LA CONSERVACIÓN DE UNA HAMBURGUESA DE
OVINO**

TESIS

Que presenta:

Gabriel Olvera Aguirre

Como requisito parcial para obtener el título de:

Doctor en Ciencias en Agricultura Tropical Sustentable

Director de tesis:

Dr. Angel Trinidad Piñeiro Vázquez

Conkal, Yucatán, México

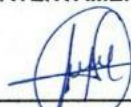
Junio, 2026

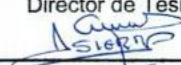


TecNM

Conkal, Yucatán, México, a 08 de junio de 2026

El comité de tesis del candidato a grado: Gabriel Olvera Aguirre, constituido por los CC. Dr. Angel Trinidad Piñeiro Vázquez, Dr. Alfonso Juventino Chay Canul, Dra. Maira Rubi Segura Campos, Dr. José Roberto Sanginés García, Dr. Ángel Carmelo Sierra Vázquez, Dr. Benjamín Ortiz de la Rosa, habiéndose reunido con el fin de evaluar el contenido teórico-metodológico y de verificar la estructura y formato de la tesis titulada: ACTIVIDAD BIOLÓGICA DE EXTRACTOS DE PLANTAS DE YUCATÁN Y SU EFECTO COMO ADITIVOS SOBRE LA CONSERVACIÓN DE UNA HAMBURGUESA DE OVINO, que presenta como requisito parcial para obtener el grado de Doctor en Ciencias en Agricultura Tropical Sustentable, según lo establece el Capítulo 2, inciso 2.13.3, de los Lineamientos para la Operación de los Estudios de Posgrado en el Sistema Nacional de Institutos Tecnológicos, dictaminaron su aprobación para que pueda ser presentada en el examen de grado correspondiente.

ATENTAMENTE

Dr. Angel Trinidad Piñeiro Vázquez
Director de Tesis

Dr. Ángel Carmelo Sierra Vázquez
Asesor de Tesis

Dr. Alfonso Juventino Chay Canul
Co-director de Tesis

Dra. Maira Rubi Segura Campos
Asesor de Tesis

Dr. José Roberto Sanginés García
Asesor de Tesis

Dr. Benjamín Ortiz de la Rosa
Asesor de Tesis

Conkal, Yucatán, México a 08 de junio de 2026.

DECLARATORIA DE PROPIEDAD

Declaro que la información contenida en las secciones de materiales y métodos, resultados y discusión de este documento, es producto del trabajo de investigación realizado durante mi estudio de posgrado y con base en los términos de la Ley Federal del Derecho de Autor y la Ley de la Propiedad Industrial le pertenece patrimonialmente al Instituto Tecnológico de Conkal. En virtud de lo manifestado reconozco que los productos intelectuales o desarrollos tecnológicos que se deriven de lo correspondiente a dicha información son propiedad de la citada institución educativa.



Gabriel Olvera Aguirre

Agradecimientos

A SECIHTI por la beca otorgada para la realización de mis estudios (num. de CVU 929660)

A mis doctores:

Al Dr. Alfonso Chay Canul que se ha convertido en mi mentor y amigo desde la maestría. Quedo sumamente agradecido por todo el apoyo intelectual, económico y emocional que me brindó en diversas ocasiones. Quedo en deuda con él.

Al Dr. Angel T. Piñeiro Vázquez porque siempre me impulsó a hacer nuevos proyectos y más grandes. Porque me enseñó el valor de un buen amigo en la academia

A la Dra. Maira Rubi Segura Campos por darme acceso a las instalaciones de los laboratorios de la UADY para la consolidación de este proyecto de tesis de posgrado.

Al Dr. Einar Vargas Bello Pérez por su amistad y profesionalismo, porque siempre ha estado al pie del cañón apoyando académicamente sin condiciones y por su retroalimentación en mi formación profesional.

Al Dr. José Roberto Sanginés García, por sus sabios consejos y sus recomendaciones (profesionales y de cultura general).

Al Dr. Ángel C. Sierra Vázquez, por su paciencia y tiempo dedicado para colaborar en este documento de tesis y por sus observaciones, por las charlas tan amenas.

Al Dr. Víctor Moo Huchin, por su valioso e incondicional apoyo. Por convertirse en un miembro del equipo y un amigo y por todo el conocimiento compartido con él.

A mi familia: por ser la base de mi apoyo, por escucharme y ayudarme cuando más lo necesité.

Y a todos aquellos que me ayudaron con los experimentos y con las emergencias que surgieron en el camino.

Dedicatoria

A la memoria de Esmeralda Aguirre González, mi madre, que dio su vida por ver a sus hijos triunfar, A Malina Dianah Cano Rauschenfels. No sé si puedo o debo decir porque les dedico esta tesis de doctorado. Esto es más un gesto que algo que esté a su altura. Un gesto que queda escrito por siempre como evidencia de mi amor por ellas.

Índice de contenido

Agradecimientos	v
Dedicatoria.....	vi
Índice de contenido	vii
Índice de cuadros y figuras.....	x
Resumen	xi
Abstract.....	xii
I. CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1 Introducción	1
1.2. Antecedentes	3
Incorporación de extractos de plantas en productos cárnicos	8
Deterioro oxidativo y microbiológico de los PC	18
1.3 Hipótesis	21
1.4 Objetivos	22
General.....	22
Específicos.....	22
1.5 Procedimiento experimental	23
Estrategia experimental	23
Materiales y métodos	24
Fase 1. Bioprospección de la materia vegetal	24
Materia vegetal y almacenamiento	24
Elaboración de los extractos	25
Actividad antioxidante	25
Análisis microbiológico.....	26
Identificación de compuestos volátiles mediante GC-MS análisis	27
Fase 2. Elaboración y evaluación de hamburguesas	28
Evaluación sensorial.....	29
Análisis instrumental.....	29
Análisis bromatológicos	30
Determinación de oxidación lipídica y de pigmentos.....	32

Diseño experimental	32
1.6 Literatura citada	34
II. CAPÍTULO 2. Using plant-based compounds as preservatives for meat products: A review.....	50
INTRODUCTION.....	51
Biochemistry of lipid and protein oxidation in MP.....	55
Quality and shelf life of meat products	57
Biochemistry of bioactive compounds.....	61
Vegetal material.....	65
Essential oils	65
Plant extracts	67
Antioxidant activity of bioactive compounds	68
Antimicrobial activity of BC.....	71
Conclusions	74
Future perspectives	75
Author contributions.....	76
Declaration of competing interest	76
Acknowledgments.....	76
References	76
III. CAPÍTULO 3. ANTIBACTERIAL, ANTIOXIDANT, AND GC-MS PROFILING OF FIVE YUCATÁN PLANT LEAF EXTRACTS AGAINST <i>Listeria monocytogenes</i> , <i>Salmonella enteritidis</i> , AND <i>Escherichia coli</i>	87
IV. CAPÍTULO 4. EFFECT OF <i>Gymnopodium floribundum</i> AND <i>Melicoccus oliviformis</i> EXTRACTS ON THE OXIDANTIVE STABILITY, PHYSICOCHEMICAL AND SENSORY PROPERTIES OF SHEEP BURGERS STORED UNDER REFRIGERATION.....	89
CONCLUSIONES GENERALES.....	91
ANEXO GENERAL	92
Uso de extractos de plantas para conservar productos cárnicos	92
EVALUACIÓN IN VITRO DE EXTRACTOS ETANÓLICOS SOBRE LA.....	102
INHIBICIÓN DE <i>Escherichia coli</i> , <i>Salmonella enteritidis</i> y <i>Listeria monocytogenes</i>	102
PLANTAS TROPICALES MULTIPROPÓSITO: DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE FENOLES Y FLAVONOIDES TOTALES MULTIPURPOSE TROPICAL PLANTS: DETERMINATION OF TOTAL PHENOLS	

AND FLAVONOIDS	106
¿Son los productos cárnicos de ovino una opción para el paladar en Latinoamérica?	115

Índice de cuadros y figuras

Tabla 1. Tipos de carne y su composición química.....	4
Tabla 2. Plantas usadas en México y en la Península de Yucatán en la medicina y la cocina.	9
Tabla 3. Estructuras químicas de algunos de los CB más conocidos.....	11
Tabla 4. Efecto de algunos extractos sobre PC.....	14
Tabla 5. Efecto de algunos MO sobre PC.....	20
Figura 2. Materia vegetal a utilizada para realizar las extracciones de la Fase 1	23
Figura 3. Diagrama de bloques de la bioprospección de 13 plantas de Yucatán. Elaborado con: (129).	25
Figura 4. Diagrama de bloques del análisis de los extractos. Elaborado con: (129)	27
Table1. Main bioactive compounds used in food and action against microorganisms	53
Fig. 2. Effect of BC on bacterial cells. Adapted and modified from Hao et al.....	64
[76] Created with BioRender.com [88].	64
Table 1. Antioxidant activity and yield of leaves and extracts from 5 plant species collected in the Yucatán Peninsula.....	Error! Bookmark not defined.
% yield: dry matter base; values are expressed as mean $\pm$: standard error; different superscripts indicate significant differences between plants (Tukey HDS, $p \leq 0.05$).. Error! Bookmark not defined.	
Table 2. Microbial inhibition zone in mm for <i>Listeria monocytogenes</i> , <i>Escherichia coli</i> , and <i>Salmonella enteritidis</i> with hydroalcoholic extracts.	Error! Bookmark not defined.
Table 3. Degree of inhibition for <i>Listeria monocytogenes</i> , <i>Escherichia coli</i> , and <i>Salmonella enteritidis</i> growth produced by five hydroalcoholic extracts from plant species collected in the Yucatan Peninsula.....	Error! Bookmark not defined.
Table 4. GC-MS test shows the identification of volatile compounds in ethanolic extracts.	Error! Bookmark not defined.

Resumen

El objetivo de este estudio fue evaluar una hamburguesa elaborada a partir de carne de ovino y adicionada con extractos hidroalcohólicos vegetales de plantas de Yucatán como conservadores, esto con la finalidad de retrasar el proceso de oxidación preservando las características sensoriales del producto. Para ello, se realizó bioprospección de los extractos de *Piscidia piscipula*, *Gymnopodium floribundum*, *Citrus × aurantium*, *Citrus × aurantifolia*, *Psidium guajava*, *Bixa orellana*, *Cnidoscolus aconitifolius*, *Mimosa bahamensis*, *Melicoccus oliviformis*, *Pipper auritum*, *Cnidoscolus aconitifolius*, *Lippia origanoides* y *Mentha spicata*, especies vegetales utilizadas por la cultura maya. Después de estudiar su inhibición contra *Escherichia coli*, *Salmonella enteritides* y *Listeria monocitogenes*, analizar su actividad antioxidante y contabilizar compuestos biológicamente activos (ácido gálico y catequinas) se eligieron *M. oliviformis* y *G. floribundum* para adicionarlas a una hamburguesa de ovino y evaluar sus características de calidad y nutricionales a través del tiempo. *Melicoccus oliviformis* y *G. floribundum* presentaron la mayor actividad bacteriostática y antioxidante, una moderada cantidad de flavonoides totales y una gran cantidad de fenoles totales en comparación con los otros extractos ($p < 0.05$). Gran parte de la actividad biológica de estos extractos es explicada por la bioactividad de los principales compuestos volátiles tentativamente identificados en *M. oliviformis* y *G. floribundum* mediante GC-MS, los cuales fueron: fitol, 4,4-Ethylenedioxy-1-pentylamina, ácido n-Hexadecanoico, ácido oleico y etoloxamina. También fueron identificados mediante HPLC en *M. oliviformis* ácido gálico, ácido vanílico, ácido caféico, ácido p-cumárico, epicatequina y galato. En *G. floribundum* ácido gálico, 2-2,4-hydroxyfenyl etanol, catequina, epicatequina, galato y ácido ferúlico. Los extractos se adicionaron a una dosis de 1g/kg en una hamburguesa de ovino preservaron las características nutricionales y de calidad de estas mejor que el eritorbato de sodio ($p < 0.05$). Esto al reducir significativamente la producción de MDA a lo largo de 14 días en refrigeración. En las pruebas bromatológicas e instrumentales no existió un efecto significativo en comparación con eritorbato de sodio ($p > 0.05$). Por último, las pruebas sensoriales revelaron que la aceptabilidad general de *M. oliviformis* a través del tiempo no era diferente a los testigos ($p > 0.05$). Por el contrario, *G. floribundum* obtuvo la aceptabilidad más baja ($p < 0.05$), pero sin diferencias de color ($p > 0.05$). Por el momento, este es el primer reporte del uso de extractos de *M. oliviformis* y *G. floribundum* en la conservación de un producto cárnico elaborado con carne ovina.

Abstract

The aim of this study was to evaluate burgers made from sheep meat with added hydroalcoholic extracts from plants of the Yucatán as preservatives in order to delay the oxidation process while preserving the sensory characteristics of the meat product. For this purpose, bioprospecting was carried out on the following extracts: *Piscidia piscipula*, *Gymnopodium floribundum*, *Citrus × aurantium*, *Citrus × aurantifolia*, *Psidium guajava*, *Bixa orellana*, *Cnidoscolus acontifolius*, *Mimosa bahamensis*, *Melicoccus oliviformis*, *Pipiper auritum*, *Cnidoscolus aconitifolius*, *Lippia origanoides* y *Mentha spicata* – all plant species used in Mayan culture. After studying their inhibition against *Escherichia coli*, *Salmonella enteritides* and *Listeria monocitogenes*, analyzing their antioxidant activity and accounting for biologically active compounds (gallic acid and catechins) *M. oliviformis* and *G. floribundum* were chosen to be added to a sheep burger for further evaluation of their quality and nutritional characteristics over time. *Melicoccus oliviformis* and *G. floribundum* showed the highest bacteriostatic and antioxidant activity, a moderate quantity of total flavonoids and a large amount of total phenols compared to the other extracts ($p < 0.05$). Much of the biological activity of these extracts is explained by the bioactivity of the main volatile compounds which were tentatively identified in *M. oliviformis* and *G. floribundum* by GC-MS as fitol, 4,4-ethylenedioxy-1-pentylamine, n-hexadecanoic acid, oleic acid and etoloxamine. They were also identified by HPLC in *M. oliviformis* as gallic acid, vanillic acid, caffeic acid, p-coumaric acid, epicatechin and gallate. In *G. floribundum* gallic acid, 2,2,4-hydroxyphenyl ethanol, catechin, epicatechin, gallate and ferulic acid were found. The extracts were added at a dosage of 1g/kg to sheep burgers and preserved its nutritional and quality characteristics better than sodium erythorbate ($p < 0.05$). This was achieved by significantly reducing the production of MDA over 14 days in refrigeration. In the bromatological and instrumental tests, there was no significant effect in comparison to sodium eritorbate ($p > 0.05$). Finally, sensory tests revealed that the general acceptability of *M. oliviformis* over time was no different from the controls. By contrast, *G. floribundum* obtained the lowest acceptability, but one of the best color scores in the sensory testing. At the present time, this is the first report of the use of the extracts *M. oliviformis* and *G. floribundum* in the preservation of a meat product made from sheep meat.

I. CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL.

1.1 Introducción

La carne es el producto pecuario de mayor valor debido a sus componentes nutricionales (1). Estos nutrientes también la convierten en altamente susceptible a autooxidación de lípidos, proteínas, pigmentos y deterioro microbiano (2–5).

La carne de ovino se caracteriza por tener una gran composición nutricional y un flavor distintivo. Sumado a esto, los ovinos son rústicos y adaptables a climas agrestes. Es por estas razones que esta carne tiene el valor más alto en el mercado en México (\$94.65 por kg en canal, 2024), (6). Al ser mercancía de alto valor, se unen esfuerzos para mejorar sus características nutricionales desde la etapa primaria, la transformación y el comercio (7).

Las tecnologías de transformación de la carne en productos cárnicos (PC) son procesos en los que se pueden aprovechar los cortes o partes de calidad inferior y subproductos de la matanza como la grasa y algunos ingredientes no cárnicos denominados aditivos (8). Sin embargo, estos procesos aumentan la exposición al oxígeno en los PC. Sumado a esto, algunas ocasiones, existe un manejo deficiente y falta de higiene, estos factores externos los convierten en un medio susceptible a pro-oxidación de sus componentes y proliferación microbiana (2,9,10). Las consecuencias son degradación de nutrientes y formación de compuestos citotóxicos que terminan con la vida útil del alimento y en muchos casos desencadenan enfermedades alimentarias (11).

La oxidación de los nutrientes en los PC se denomina autooxidación porque sucede instantáneamente, ésta, modifica de manera negativa las propiedades fisicoquímicas del producto promoviendo la formación de especies reactivas de oxígeno (ERO's) y de nitrógeno (ERN) que pueden ocasionar mutaciones y cáncer en humanos al ser consumidos de manera frecuente y prolongada (12–16).

Los oxidantes más importantes son el anión superóxido ($O_2^{\bullet-}$), oxígeno singlete (1O_2), ozono (O_3), peróxido de hidrógeno (H_2O_2), ácido nitroso (HNO_2), hipoclorito (ClO^-), óxidos nítrico o nitroso (NO , N_2O) y se les llama ERO's (17). Las reacciones de la cadena

de los radicales libres se compone de tres reacciones, en la primera llamada de iniciación el radical libre es propagado atacando otras moléculas y el sustrato de los radicales libres puede ser un lípido, una proteína, carbohidratos, compuestos orgánicos o inorgánicos o un átomo de metal, en la segunda reacción llamada de propagación se multiplican las ERO's y en la tercera se detienen la formación de ERO's y se obtienen moléculas neutras (17).

A la vez que sucede la autooxidación de los PC, se ven involucrados microorganismos patógenos que contribuyen a la aceleración del deterioro de la calidad. Los patógenos que causan más muertes en el mundo son: *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes* y *Salmonella spp* (18).

Para detener la autooxidación y el deterioro microbiano en los PC, se usan antioxidantes sintéticos los cuales extienden la vida de anaquel, son altamente efectivos y la mezcla de estos, presenta actividad antimicrobiana en comparación con la misma dosis de uno solo, esto es debido a un efecto sinérgico entre ellos (12,13,19,20).

Sin embargo, se ha comprobado que el consumo prolongado de antioxidantes sintéticos utilizados para preservar los PC se asocia con prejuicios sobre la salud humana y el ambiente, pues provoca cambios en la mucosa intestinal, intoxicaciones alimentarias, carcinogénesis, mutagénesis y persistencia ambiental (10,21–24).

Estos problemas son las razones por la cual los investigadores evalúan compuestos fenólicos (CF) obtenidos de plantas y sus extractos para conservar de la misma forma o incluso mejor que los antioxidantes sintéticos los atributos de calidad de los PC, sin que su uso impacte de forma negativa en la salud y el ambiente (10,11,24–26).

Los CF son llamados también antioxidantes fenólicos. Estos antioxidantes son CB que están presentes en una cantidad relativamente pequeña en algunos alimentos o plantas, son adicionados de manera intencional en los PC, y su objetivo es el de inhibir, retrasar o controlar la oxidación de los alimentos y por consiguiente prevenir el deterioro y extender la vida útil de estos (17).

Los CB son metabolitos secundarios producidos por algunas plantas. Se obtienen principalmente de las hojas y la forma más eficiente de uso es mediante extractos de plantas (EP) en forma líquida, en polvo o aceites esenciales (AE) (27, 28). La actividad biológica de los EP se acentúa cuanto mayor es la calidad y cantidad de sus CB y esto se determina caracterizándolos y realizando pruebas de actividad antioxidante(10).

La adición de EP a dosis adecuadas sobre PC proporciona un valor agregado pues alargan la vida útil al retardar la velocidad de autooxidación (VA) de nutrientes y el deterioro microbiano, lo cual coadyuva a reducir la producción de desechos de alimentos (29). La SAGARPA y la FAO en México han venido realizando un gran esfuerzo por reducir las pérdidas de alimentos en nuestro país y la producción de desechos sólidos (30, 31).

En este sentido, en México y la península de Yucatán se albergan algunas plantas con gran actividad biológica que hasta ahora no ha sido investigadas sino solo utilizadas de manera generacional. Por otra parte, Yucatán es un mercado activo y en aumento de carne de cordero desde el año 2003. Estas son las principales razones de investigar plantas utilizadas de manera tradicional en la cultura Maya de Yucatán en ámbitos como la cocina, la medicina y la agricultura y sus posibles aplicaciones para conservar PC de carne de ovino.

Por lo antes expuesto, es importante estudiar la adición de EP para extender la vida útil, mejorar las características químicas, mejorar las características organolépticas de los PC, evitar el uso de aditivos sintéticos para reducir efectos adversos en la salud y reducir la generación de desperdicios de alimentos. Es por ello que, el objetivo de este estudio fue evaluar una hamburguesa elaborada a partir de carne de ovino y adicionada con extractos hidroalcohólicos vegetales de plantas de Yucatán como conservadores, esto con la finalidad de retrasar el proceso de oxidación preservando las características sensoriales del producto.

1.2. Antecedentes

La carne se describe como el producto alimentario obtenido de animales de caza, de cría y silvestres, siempre que se apliquen todas las medidas higiénicas exigidas por la autoridad competente. Esta se compone, dependiendo su procedencia (Tabla 1) por un porcentaje de agua, proteínas de alta calidad con gran biodisponibilidad, grasas, minerales, vitaminas y

pequeñas cantidades de carbohidratos (32,33).

Tabla 1. Tipos de carne y su composición química

Carne	Humedad (%)	Proteína (%)	Grasa cruda (%)	Cenizas (%) cruda	Autor
Cordero	74.12	21.2	3.5	1.24	(34)
	73	21	5	1	(7)
Res	75	22.3	1.8	1.2	(8)
	73.98	17.93	1.81	1.09	(35)
Cerdo	68.7	20.9	9.8	1	(36)
	75	22.8	1.2	1.0	(8)
Pollo	75	22.8	0.9	1.2	(8)
	74.26	15.76	1.79	1.08	(35)
Cabra	75.04	20.8	2.8	1.23	(34)
Nutria	75.5	20.9	1.78	1.21	(37)
Venado	75.7	21.4	1.3	1.2	(8)

El consumo total de carne en el mundo en 2020 fue de 254.4 millones de toneladas y México se posicionó en el lugar 6 con un consumo total de 8.4 millones de toneladas. El desarrollo de las sociedades, el aumento en el nivel de ingresos y la urbanización elevan la demanda de carne y PC (5).

En este sentido, a nivel mundial las fuentes de carne más consumidas son de cerdo (*Sus scrofa*) (36%), ave de corral (*Gallus gallus domesticus*) (35%), res (*Bos Taurus*) (22%) y en menor medida la de búfalo (*Bison bison*), oveja (*Ovis aries*) y cabra (*Capra hircus*), además de especies silvestres y exóticas como camellos, avestruces, caballos, cocodrilos, serpientes y lagartos (8). De las diferentes carnes, el consumo *per cápita* de carne ovina fue de 0.6 kg para 2020 (38,39).

En México en 2014 se produjeron 8.23 millones de toneladas de carne de los cuales 2,469 miles de toneladas fueron de carne ovina. El precio medio de la carne en canal de ovino creció el 11% ese mismo año, con los mayores aumentos en Nayarit, Yucatán, Durango,

Morelos, Oaxaca, Chihuahua, Edo de México, Tlaxcala, Aguascalientes y San Luis Potosí (40).

Asimismo, en el periodo de 2000 a 2021 la producción nacional de carne de ovino en canal bajó de 3037 a 2941 miles de toneladas. Por el contrario, la producción ovina en Yucatán se elevó de 6 a 47 ton de 2003 a 2021 y respecto al precio, la tendencia al alta siguió en el país y en Yucatán como se muestra en la Figura 1.

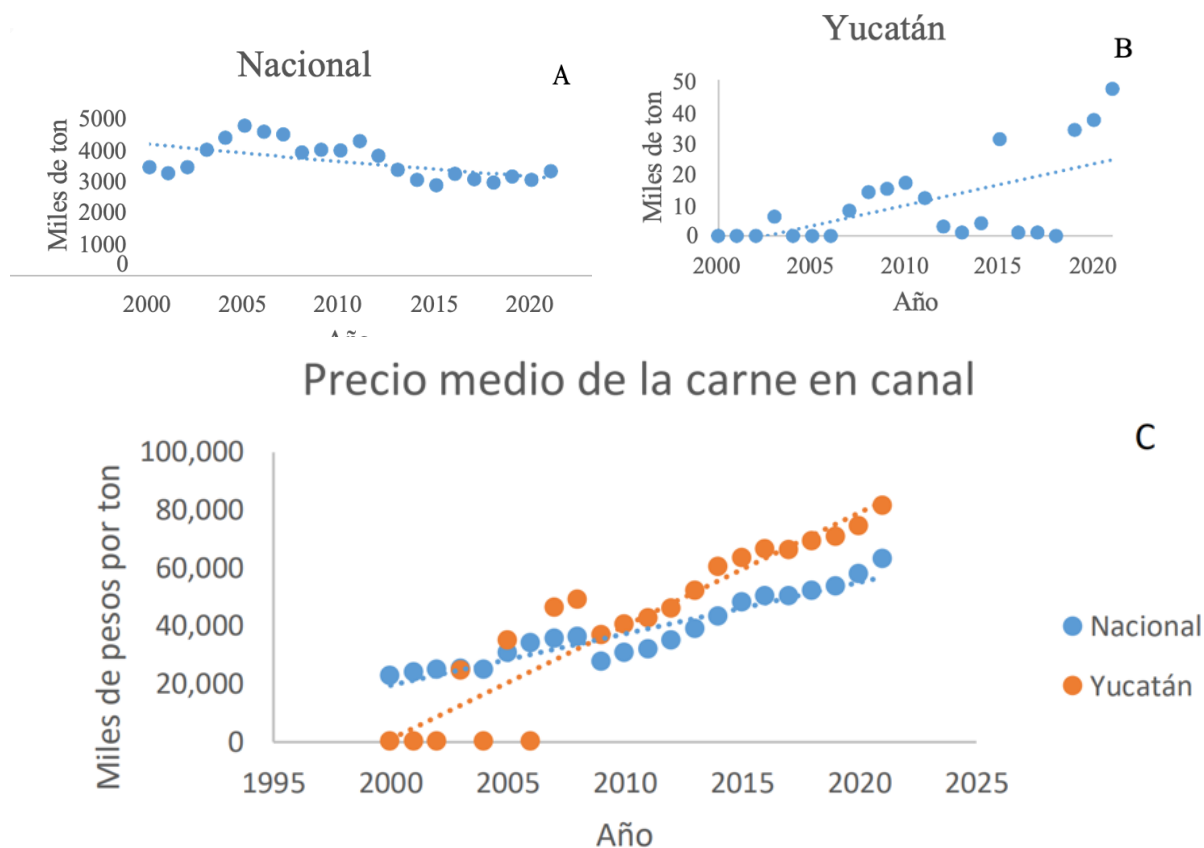


Fig 1. A) producción de carne de oveja en canal en México del 2000 al 2021, B) producción de carne de oveja en canal en Yucatán del 2000 al 2021, C) comparativa del precio medio de la tonelada de carne ovina en México y en Yucatán.

Como se puede observar en la Figura 1, en los rastros TIF de México para el año 2000 el precio medio del kg de carne de ovino en canal fue de \$23.00 y en 2021 de \$63.00, en Yucatán para el año 2003 la producción de carne de cordero comenzó y tenía un valor de

\$24.52 y para el año 2021 alcanzó un costo de \$81.31 (41). En México, es la carne en canal mejor pagada seguida por la de bovino, caprino, porcino y pollo (42). La carne de ovino también es la carne mejor pagada en pie (43).

En general en México hay un aumento en el precio y la producción de carne de ovino, lo cual demuestra que es un mercado potencial, además, es una actividad noble, genera empleos y presenta una de las más altas tasas de rentabilidad agropecuaria. A pesar de esto, existe una demanda insatisfecha, puesto que cerca del 45% de la carne consumida se importa de Australia, Nueva Zelanda, Canadá, EUA y Uruguay (42, 44). Esto quiere decir que en el país existe una demanda insatisfecha de carne de ovino que se debe cubrir.

Hernández-Marín et al. (44) describen como se distribuye la producción de carne de ovino en el país en las diferentes regiones:

- Norte del país: razas de carne con sistemas tecnificados y producen lana.
- Centro: regularmente producen ganado cruzado de Suffolk, Hampshire y razas de pelo.
- Sur y sureste: se producen razas de pelo como Pelibuey, Black Belly, Dorper y Kathadin.

La carne de oveja es valorada de entre otras por contener proteínas de alta calidad, es rica en vitaminas B2, B6 y B12, hierro, zinc, manganeso, selenio y cobre (45, 46). Un consumo de 75 g/día de carne de ovino proporciona el 50% de la ingesta de hierro recomendado y mejora la absorción de hierro proveniente de vegetales (1). La carne de cordero contiene tres ácidos grasos ramificados característicos del olor de esta carne: ácido 4-metiloctanoico, ácido 4-etiloctanoico y ácido 4-metilnonanoico (47).

En México el 95% de la carne de ovino se consume en forma del platillo tradicional denominado barbacoa y el resto en productos cárnicos como cortes finos, carnes frías, embutidos, barbacoa y mixiotes enlatados (42, 44, 48). Algunas veces también se utiliza la tecnología de empacado a alto vacío para conservar por más tiempo los diversos cortes (49).

Los PC son una gran alternativa para ofrecer productos procesados con alto valor nutricional y atractivo para el consumidor (50). En la legislatura mexicana los PC se

clasifican como cocidos, cocidos listos para su consumo, crudos, crudos listos para su consumo, crudos no listos para el consumo humano, curados, desecados secos o salados, precocidos, madurados y procesados (18).

Actualmente en México y en La Península de Yucatán la demanda de productos cárnicos de carne ovina tiene el reto de producir carne con características más saludables, con un índice aterogénico mejor equilibrado (menor cantidad de grasa saturada) y de alta calidad (51).

Las investigaciones realizadas en el sureste de México, en los estados de Tabasco y de Yucatán, están desarrollando PC de ovino como, chorizo, longaniza, productos ahumados, marinados y hamburguesas (52,53). Muchos de estos PC están adicionados con conservadores naturales para conservar sus características nutricionales y de calidad.

Plantas que contribuyen a la alimentación y la medicina en México y en Yucatán

México destaca en el mundo por tener una de las más grandes variedades de plantas, con aproximadamente 23400 plantas vasculares y unas 3000 de ellas con propiedades medicinales que han sido usadas durante muchas generaciones desde tiempos remotos, pero gran parte de ese conocimiento solo se ha transmitido de forma oral (54).

El motivo por el que se usan las plantas es por su rico aporte de metabolitos secundarios, los cuales son moléculas con actividad biológica producidas por determinados géneros, familias o incluso especies (55). En Yucatán las familias más representativas de plantas medicinales son: *Leguminosae*, *Eupobiaceae*, *Asteraceae*, *Verbenaceae* y *Solanaceae* (54).

El ser humano ha seleccionado algunas de estas plantas medicinales desde hace miles de años que por sus características organolépticas se utilizaron y utilizan con fines alimenticios para curar enfermedades crónicas, conservar, dar color, sabor o mejorar la textura de los alimentos. Desde hace algunos años se estudian los CB que les confieren estos atributos. En la Tabla 2 se muestran algunas plantas que se han utilizado por generaciones en la cocina, en la medicina o en ambas de manera tradicional y algunas en diferentes industrias.

Incorporación de extractos de plantas en productos cárnicos

Los extractos de plantas son una de las maneras más efectivas de aprovechar los CB contenidos en estas y usualmente se obtienen de las hojas puesto que suele ser la parte con mayor concentración de estos, aunque también se pueden extraer de las semillas, raíces, frutos o tallos (25,29,54).

Tabla 2. Plantas usadas en México y en la Península de Yucatán en la medicina y la cocina.

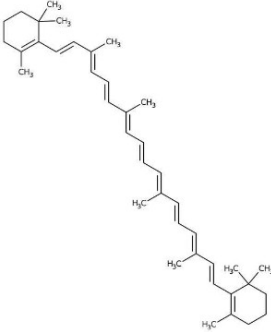
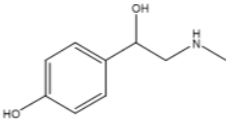
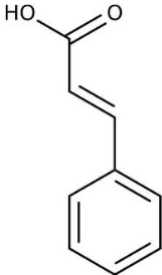
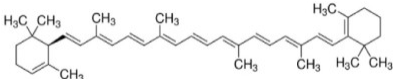
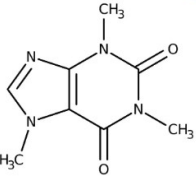
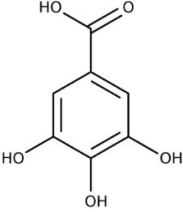
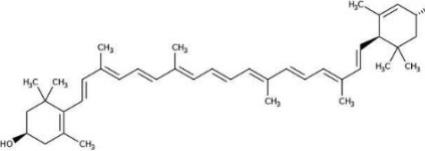
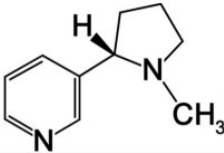
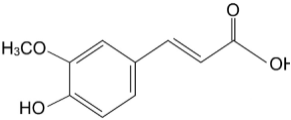
Planta	Composición fitoquímica	Uso medicinal o en la cocina	Autor
<i>Lippia origanoides</i> , <i>Lippia graveolens</i> (Orégano mexicano, xaak- il-ché, xak'il-ché, xkakaltun)	Iridioides, flavanonas, kaemmpferol, pilosina, cirsimaritina	Estimulante de la menstruación, antidiarreico, envenenamiento, gripe, estomacal, tranquilizante, bactericida, y saborizante de comida	(56–58)
<i>Ocimum micranthum</i> Willd. <i>Ocimum campechianum</i> (albahaca de monte)	Flavonoides	Cáncer en el estómago, cortaduras, disentería, gastritis, antibiótico, viruela, diabetes, fiebre, dolor de estómago, conjuntivitis y afecciones de la piel. Antifúngico, repelente y anestésico	(59,60)
<i>Citrus aurantium</i> (naranja agria)	Eucaliptol, sabineno, eugenol, metil eugenol, linalool, nerol, limoneno, 1,8-cineol y elemicina, ácido ascórbico	Antibacteriano, antifúngico, antiviral, anticancer, antidiabetes, anti-obesidad, ansiolítico y saborizante de carnes o ensaladas	(61,62)
<i>Persea americana</i> var. <i>Drymifolia</i> (aguacate local)	Sinensitina, cinamilglucosa, ácido cafeoilártico, cianidina 3-0, esculina, kaempferida	Asma, bronquitis, tos, bajar de peso, colesterol, diarrea, reumatismo, caída del cabello y caspa, flatulencias e infección urinaria Especia de algunos platillos	(57,63,64)
<i>Piscidia piscipula</i> (jabín)	Fenoles, flavonoides, saponinas, taninos	Asma, bronquitis, heridas, tos seca. Nauseas, entumecimiento, temblores, salivación y sudoración. Especia en platillos	(54,65)
<i>Bixa orellana</i> (achiote)	Compuestos alifáticos, carotenoides, apocarotenoides, esteroides, monoterpenos, sesquiterpenos y triterpenoides	Quemaduras, asma y catarro, mal de pinto, úlceras, diarrea, fiebre, asma, diabetes, alergia, lepra, gonorrea, tumores, infecciones urinarias y colorante y saborizante de platillos	(57,66–68)
<i>Mentha spicata</i> (yerbabuena)	Mentol, mentona, limoneno, eucaliptol, carvona, linalool, ácido rosmarinico, quercetina, rutina, luteolina-7-0-glucosida	Gripa y resfriado, heridas que no sanan, llagas, dolor de estómago, vomito, nauseas, lombrices, gastritis, flatulencias, se ha usado para bebidas y comidas	(57,69,70)

<i>Piper auritum</i> (hoja santa, momo)	Eugenol, timol, terpinoleno, safrol, polifenilpropanoides	Condimento, eliminar plagas en las plantas, contra veneno de serpiente	(71,72)
<i>Shinus molle</i> (Pirul)	ND	Enfermedades respiratorias	(73)
<i>Moringa oleifera</i> (moringa)	Calcio, hierro, vitamina A y C, beta caroteno, proteína, polifenoles, flavonoides y ácidos fenólicos	Antiinflamatorio, hipoglucémico, energético, antioxidante, antimicrobiano, antiviral, analgésico, forraje, suplemento alimenticio	(74–77)
<i>Trigonella foenumgraecum</i> (Fenogreco, alholva)	Beta caroteno, ascorbato, hierro, calcio, zinc	Producción de leche, expectorante, emoliente, hipoglucemiante, antiinflamatorio, suplemento alimenticio	(78)
<i>Urtica dioica</i> (Ortiga)	Polifenoles, flavonoides, cumarinas, lecitina, vitaminas, esteroides	Artritis, próstata, analgésico, antiviral, antifúngico, antidiabético, cardiovascular, suplemento alimenticio	(27,79,80)
<i>Melicoccus oliviformis</i> (Huaya india)	ND	Infecciones intestinales, fiebre, dolor Forraje para animales	(81)
<i>Randia aculeata</i> (Cruz k' iix, tinta che')	Betacitoesterol, ácido palmítico y vanillico	Contrarresta el veneno de serpientes e insectos. Se usa como forraje	(82,83)
<i>Sida acuta</i> (Chi'chi'bej)	Ácido hidroxicinámico e hidroxibenzoico, tocoferoles, triterpenoides	Anticarcinógena, antioxidante, inhibidora de actividad enzimática, reumas, problemas hepáticos, renales y relajante. Se usa como forraje	(82,84)
<i>Cnidoscolus aconitifolius</i>		Saponinas, taninos condensados, xantonas, cumarinas, flavonoides, fenoles, terpenoides, diapigenina, kaempferol. Se usa como especia	(85,86)
<i>Mimosa bahamensis</i>	ND	ND	ND

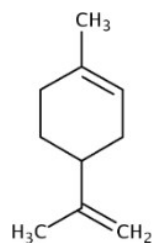
ND: no determinado

Los CB (Tabla 3) se dividen principalmente en tres grandes grupos: 1) Terpenos y terpenoides, los cuales son derivados del isopreno y aportan sabor y aroma. 2) Compuestos nitrogenados, representados principalmente por los alcaloides que se usan como antipsicóticos y calmantes. Y 3) Los compuestos fenólicos que son aromáticos y altamente antioxidantes (19,87–89).

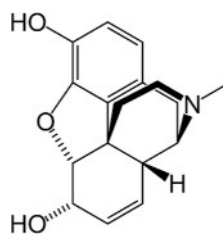
Tabla 3. Estructuras químicas de algunos de los CB más conocidos.

Terpenos y terpenoides	Alcaloides	Compuestos fenólicos
Beta caroteno 	Sinefrina 	Ácido cinámico 
Alfacaroteno 	Cafeína 	Ácido gálico 
Luteína 	Nicotina 	Ácido ferúlico 

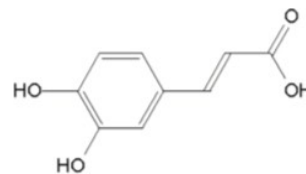
Limoneno



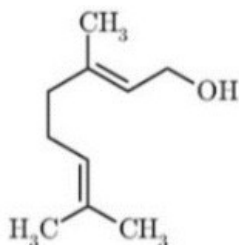
Morfina



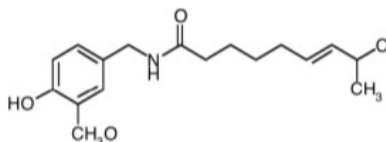
Ácido caféico



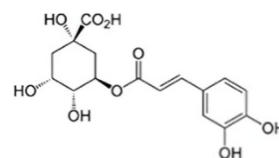
Geraniol



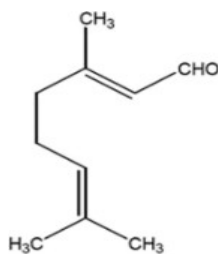
Capsaicina



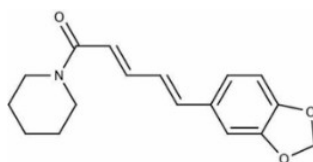
Ácido clorogénico



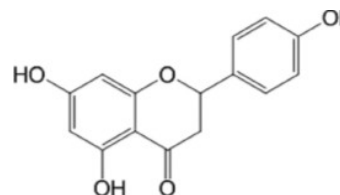
Citral



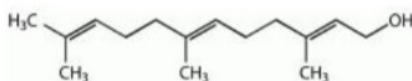
Piperina



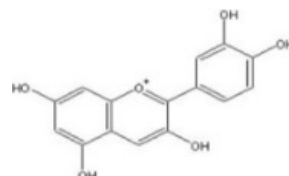
Naringenina



Farnesol



Cianidina



Fuente: (19,90,91)

Los CB que se obtienen de plantas; son moléculas de distribución específica como terpenos, terpenoides (hidrocarburos o sus funciones oxigenadas), fenilpropanoides, compuestos orgánicos volátiles (alcoholes, aldehídos, cetonas), compuestos nitrogenados y fenólicos, que

se ha demostrado tienen la capacidad de inhibir microorganismos (MO) como: *Bacillus anthracis*, *Salmonella typhimurium*, *Pseudomonas auruginosa*, *Escherichia coli* O157:H7, *Listeria innocua*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus fastidiosus* y *Salmonella choleraesuis*, por mencionar algunos (55,88,92–94).

Los CB de mayor interés para este estudio son los polifenoles pues poseen propiedades antimicrobianas y antioxidantes que al adicionarse a los PC retardan el desarrollo microbiano y la VA, conservando las propiedades nutricionales, organolépticas y fisicoquímicas de los PC y extendiendo su vida útil (24,92,95).

Sin un tratamiento y manejo adecuado de los PC el deterioro microbiano y la VA son mayores y la vida útil del alimento se reduce, lo que produce grandes pérdidas de dinero en la industria cárnica (24,50). Las investigaciones sobre PC se enfocan en el estudio de la autooxidación de grasas y proteínas, dosificación e identificación de los CB de interés biológico que generan la acción de conservación de los PC.

Sharafati-Chaleshtori et al. (89) estudiaron el uso de un aceite esencial de albahaca (*Ocimum bacilicum* L.) a tres concentraciones diferentes, adicionado en carne de hamburguesas, ellos compararon con ácido tiobarbitúrico (TBA) como control. A diferencia del TBA, los extractos preservaron significativamente la carne desde el primer día con menos unidades formadoras de colonias (UFC) de *Stafiloccocos aureus* y hasta el día 12 en condiciones comerciales (4 °C). Al analizar el perfil de CB se identificaron 25, los de mayor concentración fueron metil chavicol (85.19%), 1,8 cineol (3.96%), trans-alfa bermagoteno (1.18%), linalool (1.93%), eugenol (0.7%) y gama-terpineno (0.53%). En la Tabla 4. se muestra el uso de plantas medicinales utilizadas como aditivos naturales sobre la conservación de PC y los principales CB identificados en ellas.

Tabla 4. Efecto de algunos extractos sobre PC.

Fuente vegetal	Actividad/compuestos principales	Microorganismo	Aplicación y efecto	Referencia
<i>Vitis vinifera</i> (subproductos)	Antioxidante; catequinas, epicatequinas, ácido gálico y procianidinas	BMA, <i>Enterobacteriaceae</i> , <i>S. aureus</i> , <i>L. monocytogenes</i> , <i>P. aeruginosa</i> , <i>E. coli</i> O157:H7	Salami y hamburguesas; 2.5% incrementó la estabilidad microbiológica.	(93)
<i>Thymus vulgaris</i> (AE)	Antiviral, antimicótico y antitoxigénico; monoterpenos, sesquiterpenos y compuestos fenólicos	<i>L. monocytogenes</i>	Productos cárnicos y de pescado; redujo la carga microbiana inicial.	(97)
<i>Cinnamomum zeylanicum</i> (aceite)	Antimicrobiano; terpenos, terpenoides y fenoles	<i>Aeromonas veronii</i> , <i>Acinetobacter johnsonii</i> , <i>Shewanella putrefaciens</i> , <i>Pseudomonas jessenii</i>	Filetes de carpa; 0.1% v/v disminuyó aminas biógenas y prolongó la vida útil 4 días.	(98)
<i>Urtica dioica</i>	Antimicrobiano y antioxidante; ácido ascórbico,	<i>E. coli</i>	Filetes de trucha; preservó la calidad	(99)

Fuente vegetal	Actividad/compuestos principales	Microorganismos diana	Aplicación y efecto	Referencia
	ácidos fenólicos y β -caroteno		durante 15 días a 4 °C.	
<i>Myrciaria dubia</i>	Antioxidante; antocianinas, flavonoides, carotenoides y ácido ascórbico	ND	Carne molida de cordero; mejoró la estabilidad lipídica.	(100)
<i>Lycium barbarum</i>	Antimicrobiano y antioxidante	<i>S. aureus</i>	Carne de caballo; 0.5–1.0% mejoró atributos sensoriales y estabilidad oxidativa.	(101)
<i>Chenopodium quinoa</i>	Antioxidante; polifenoles	Microorganismos viables totales	Hamburguesas; aportó proteína y redujo la absorción de aceite.	(102)
<i>Lippia origanoides</i> (AE y extracto hidroalcohólico)	Antioxidante y antimicrobiano; carvacrol, timol, p-cimeno, quercetina y luteolina	<i>Pseudomonas</i> spp., BAL, <i>E. coli</i> , <i>Salmonella enteritidis</i>	Pescado (<i>E. encrasicolus</i>); 0.03% prolongó la vida útil 3 días.	(103-108)

Fuente vegetal	Actividad/compuestos principales	Microorganismos diana	Aplicación y efecto	Referencia
<i>Mentha spicata</i>	Antivirulento, antibacteriano y antioxidante; carvona, limoneno y compuestos fenólicos	<i>L. monocytogenes</i> , <i>Salmonella spp.</i> , <i>E. coli</i>	Carne molida de cerdo; 10 mL/kg conservó el color y retrasó el deterioro oxidativo.	(109–111)
<i>Moringa oleifera</i>	Antioxidante, antimicrobiano y antiviral; polifenoles, carotenoides, quercetina y vitamina C	ND	Productos cárnicos; retrasó la oxidación lipídica y preservó color y pH.	(85–88)
<i>Piper auritum</i>	Eugenol, timol, terpinoleno y safrol	ND	Hamburguesas de res.	(69,70)
<i>Bixa orellana</i>	Carotenoides, esteroides, monoterpenos y triterpenoides	ND	Embutidos de res, cerdo y pollo.	(55,64–66)

Descripción: ^: Mejora/aumenta; v: reduce; NI: no indicado; BMA: bacterias mesófilas aerobias; MO: microorganismo mg/g MS: miligramos sobre gramo de materia seca; BAL: bacterias ácido lácticas; AE: aceites esenciales; CMI: concentración media inhibitoria; µL/mL: microlitro sobre mililitro; mg/mL: miligramo sobre mililitro; ND: no descrito en la literatura.

En las investigaciones realizadas por (103,106,107,114) se evaluaron AE de *Thymus vulgaris*, *Lippia alba*, *Cymbopogon martini*, *Cymbopogon flexuosus*, *Rosmarinus officinalis*, *Salvia officinalis*, *Swinglea glutinosa*, *Tagetes lucida*, *Satureja viminea*, *Cananga odorata*, *Citrus sinensis*, y *Elettaria cardamomum*. El AE de *Lippia origanoides* mostró la mayor actividad antibacteriana (*E. coli* y *Salmonella*) y antibiopelículas en comparación con los demás AE, por último, se realizaron pruebas de citotoxicidad y estos autores determinaron que *L. origanoides*, *Thymus vulgaris* y *Cymbopogon martini*, no mostraron efecto citotóxico sobre células Vero, la mayor parte de estos AE se han utilizado desde hace muchos años para preservar PC y otros alimentos.

Las propiedades de algunas plantas que no han sido estudiadas sobre PC hasta el momento son prometedoras, sin embargo, hay que desarrollar investigación sobre la composición y citotoxicidad de estas plantas y sus extractos para utilizarlas de la mejor manera en el desarrollo de innovaciones tecnológicas. En este sentido en el género mimosa (comprendido por más de 500 especies) se ha evaluado el extracto metanólico de las hojas de *Mimosa pigra*, en Brazil, y se encontraron taninos, fenoles (42.45 ug/mL), flavonoides (33.36 µg/mL), alcaloides, antocianinas, antocianidinas, xantonas, saponinas, 3',4',5,7-tetrahidroxiflavona y kaempferol 3-O-α-L-rhamnopyranosil, CB de interés que pueden utilizarse para la conservación de PC (115–117). Otro extracto evaluado fue el extracto etanólico de hojas de *M. caesalpiniiifolia*, el cual tiene efecto antioxidante y antimicrobiano gracias a que contiene fenoles (651 mg/g) y flavonoides (170 mg/g), y terpenos, estos CB exhibieron citotoxicidad contra la línea celular carcinógena MCF-7 (118). En el futuro, con el desarrollo de las investigaciones, estas cualidades podrían ser utilizadas para detener la VA y diseñar PC funcionales.

Deterioro oxidativo y microbiológico de los PC

Los radicales libres y las especies reactivas de oxígeno o (ROS por sus siglas en inglés), se forman de manera natural en los seres vivos, principalmente durante el proceso de estrés oxidativo, el cual es causado por un exceso de ROS y un bajo mecanismo de defensa antioxidante de las células (2). Los más importantes son el anión superóxido (O_2^- , reacciones de autooxidación), radical perhidroxilo (HO_2 , forma hidrogenada del anión superóxido), peróxido de hidrógeno (H_2O_2 , altamente oxidante, no es radical), hidroxilo (OH , el más reactivo), alcosil (RO), peroxi (ROO) y oxígeno singlete (1O_2) (119,120).

De igual manera, la oxidación sucede sobre los PC, principalmente sobre lípidos y proteínas y se la denomina autooxidación. La autooxidación de lípidos forma ROS incluyendo el radical hidroxilo, anión superóxido, ferril y preferril, radical lípido peroxi y radical alcosil, esta autooxidación se ve favorecida por la concentración de ácidos grasos poliinsaturados (de las membranas fosfolípidicas de las células), altas temperaturas, deficiencia de antioxidantes endógenos, altas concentraciones de sal añadida, periodos largos e incorrectos de almacenamiento y el exceso de oxígeno molecular incorporado en el procesamiento y manipulación (121).

Estas transformaciones químicas imprimen un sabor y olor conocido como rancidez y se divide a su vez en hidrolítica y oxidativa, la rancidez hidrolítica se manifiesta cuando hay agua y altas temperaturas (como el freído) y la rancidez oxidativa es el deterioro más común de grasas y aceites y es la oxidación de los ácidos grasos insaturados y de otros compuestos de interés como las vitaminas A y E, los carotenoides y el hierro (122,123).

De manera simultánea, en los PC sucede la oxidación proteica y causa alteraciones de las propiedades organolépticas que ponen en riesgo la salud del consumidor e impactan directamente en el color, sabor, olor y textura de los PC y ocasionan desperdicio de alimentos y pérdidas económicas importantes (124,125).

Aunado a la autooxidación de los nutrientes de los PC son también susceptibles a deterioro microbiano por lo que deben de someterse a análisis microbiológicos que aseguren la inocuidad de los mismos y en México se les realiza de acuerdo a su clasificación sugerida por la Norma Oficial Mexicana (18) de la siguiente forma:

- Productos cárnicos cocidos listos para el consumo y crudos listos para el consumo

- Mesófilos aerobios: se determinan en el establecimiento de producción, se determina en PC cocidos. Hasta 100 UFC/g para que se considere de buena calidad.

- *Escherichia coli*. Menos de 3 NMP/g

- *Listeria monocytogenes*, Ausente en 25 g

- *Salmonella* spp. Ausente en 25 g;

- Para PC precocidos y crudos no listos para el consumo:

- *Escherichia coli*: solo para PC precocidos. 500 UFC/g.

- *Escherichia coli* 0157 H7: solo para productos de bovino, se realiza con un método rápido disponible en el mercado. Ausente en 25 g.

En este sentido, el deterioro microbiano en los PC se asocia a determinados efectos particulares descritos brevemente en la Tabla 5.

Tabla 5. Efecto de algunos MO sobre PC

Producto cárnico	Microorganismos que lo deterioran	Efecto asociado al PC
Carne fresca	<i>Pseudomonas</i> <i>Achromobacter</i> <i>Flavobacterium</i>	Presencia de colonias bacterianas (manchas blancas), pigmentos fluorescentes, color verde y viscosidad
Curados	<i>Pseudomonas</i> <i>Achromobacter</i> <i>Bacillus</i> <i>Lactobacillus</i>	Agría el hueso y la carne
Tocino	<i>Streptococcus</i> Hongos <i>Micrococcus</i> Lactobacilos <i>Streptococcus</i>	Superficie gomosa y manchas blancas
Salchichas	<i>Micrococcus</i> Hongos <i>Lactobacillos</i> <i>Leuconostoc</i> Levaduras	Agriado Superficie con gomosidad, viscosidad Producción de gas Anillos en el interior del producto
Carne enlatada	<i>Bacillus</i> y sus esporas <i>Clostridium</i> y sus esporas <i>Streptococcus</i>	Agriado y decoloración Licuefacción de gelatina y proteólisis

Fuente: (126).

1.3 Hipótesis

Al adicionar dos extractos con elevada actividad biológica a una hamburguesa de carne de ovino, al menos uno de los extractos preservará las características de calidad del producto extendiendo su vida útil sin afectar las características sensoriales y de calidad del producto en comparación a un control negativo y un control positivo.

1.4 Objetivos

General

Evaluar una hamburguesa elaborada a partir de carne de ovino y adicionada con extractos hidroalcohólicos vegetales de plantas de Yucatán como conservadores, esto con la finalidad de retrasar el proceso de oxidación preservando las características sensoriales del producto.

Específicos

Determinar la bioactividad de los 13 extractos mediante ensayos de actividad antioxidante, antimicrobiana y evaluación de compuestos volátiles

Reducir la tasa de oxidación sobre una hamburguesa elaborada con carne de ovino mediante la adición de 2 de los extractos con la mayor bioactividad observada.

Analizar la degradación fisicoquímica y sensorial de hamburguesas de ovino almacenadas durante un periodo de 14 días.

1.5 Procedimiento experimental

Estrategia experimental



L. origanoides



M. spicata



C. aconitifolius



P. piscipula



G. floribundum



C. × aurantium



C. × aurantifolia



P. guajava



M. bahamensis



B. orellana



P. auritum



P. americana



M. oliviformis

Figura 2. Materia vegetal a utilizada para realizar las extracciones de la Fase 1

La estrategia experimental se dividió en dos fases: la primera de ellas comprendió la obtención de las plantas, elaboración de los extractos y su tamiz fitoquímico y microbiológico. En la Figura 2 se muestran las plantas utilizadas.

Materiales y métodos

Fase 1. Bioprospección de la materia vegetal

Materia vegetal y almacenamiento

Se identificaron y colectaron 500g de hojas maduras y jóvenes de 12 plantas para su extracción y caracterización de *Piscidia piscipula*, *Gymnopodium floribundum*, *Citrus × aurantium*, *Citrus × aurantifolia*, *Psidium guajava*, *Bixa orellana*, *Cnidoscolus acotifolius*, *Mimosa bahamensis*, *Melicoccus oliviformis*, *Pipper auritum*, *Cnidoscolus aconitifolius*, *Lippia origanoides* en la unidad de producción e investigación “La Curva”, ubicada a 21.075058 N y -89.504310 O y en el municipio de Conkal, Yucatán, México a 21.079113 N y -89.517276 O y se colectó *Mentha spicata* en un cultivo conocido de la localidad de Xcanatún, Mérida, México a 21°04'24"N y 89°37'50"O. La recolección se llevó a cabo de febrero a agosto del 2022. Las hojas se lavaron sumergiéndolas por 1 minuto con agua del grifo, se desinfectaron con 2 mL de solución comercial de plata ionizada al 0.08% por cada L de agua, se secaron a 40 °C por 72 h y se molieron en un molino Cemotec™ 1090 Sample Mill (Thermo SCIENTIFIC, Galicia, España), posteriormente se pulverizaron en un molino Cyclotec™ 1093 Sample Mill (Thermo SCIENTIFIC, Galicia, España), el polvo obtenido se almacenó en bolsas oscuras y herméticas a -20 °C hasta su extracción.

Elaboración de los extractos

Los extractos se realizaron con base en las técnicas descritas por Olvera-Aguirre et al. (128), con ligeras modificaciones. Se realizó una extracción sólido-líquido a una relación de 1:20 (p/v) soluto-solvente (agua y etanol, 1:1 v/v), se roto-evaporaron los solventes (Rotavapor® R-215, baño maría B-49, bomba de vacío V-700, y un controlador de vacío V-850 Buchi, Suiza) a 77 milibares y 60 rpm el etanol y a 32 milibares y 180 rpm el agua, ambos a 50 °C, se congeló el remanente en tubos para centrifuga con tapa de rosca de 50 mL en posición de 45 ° a -20 °C durante 72 h. Al final de este periodo se liofilizaron las muestras hasta que los tubos presentaron un peso constante. Se calculó el rendimiento de los extractos. Las muestras solidificadas se molieron con un mortero y se conservaron a -20 °C en bolsas herméticas y protegidas de la luz hasta sus análisis.

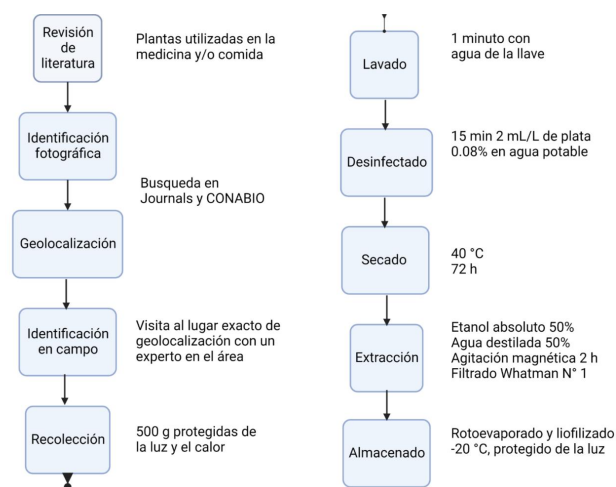


Figura 3. Diagrama de bloques de la bioprospección de 13 plantas de Yucatán. Elaborado con: (129).

Actividad antioxidante

La actividad de eliminación del radical α -difeníl- β -picrilhidrazil (DPPH) se determinó utilizando la metodología descrita por Uuh Narvaéz et al. (130) con ligeras modificaciones. Se usaron 175 μ L de radical DPPH (100 μ M en

metanol) y 25 μ L (1 mg/mL) del extracto, estos se mezclaron y se colocaron en la oscuridad durante 30 minutos. Se midió la absorbancia a 517 nm. Se calculó la actividad secuestrante del radical DPPH como: actividad secuestrante del radical DPPH (%) = $[(Ab - Ae) / Ab] * 100$; en donde Ab es la absorbancia del radical DPPH sin extracto y Ae es la absorbancia del radical DPPH con extracto.

La actividad de neutralización del radical 2,2'-azino-bis-(3-etilbenzotiazolina)-6-sulfónico (ABTS) se realizó siguiendo el método propuesto por Uuh Narvaéz et al. (130) con algunas modificaciones. El catión ABTS se liberó a través de la interacción de ABTS (7 mM) con persulfato de potasio (2,45 mM) durante 16 h en la oscuridad. La solución con el catión ABTS liberado se ajustó con etanol a una absorbancia de 0.7 ($\pm$ 0.02) a 734 nm. Posteriormente, se hicieron reaccionar 10 μ L de extracto (50 mg/mL) con 195 μ L de solución de radical ABTS y se midió la absorbancia después de 6 minutos a 734 nm. Los resultados se calcularon utilizando la siguiente ecuación: actividad de eliminación del radical ABTS (%) = $[(Ab - Ae) / Ab] \times 100$, donde Ab es la absorbancia del radical ABTS sin extracto y Ae es la absorbancia del radical ABTS en presencia del extracto.

Análisis microbiológico

Para medir la actividad antimicrobiana de los extractos se utilizó la técnica de difusión en disco en agar Mueller Hinton del Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI) y de Madrazo-León et al. (131). Las cepas bacterianas a utilizar fueron proveídas de la colección de cultivos del laboratorio de biotecnología y microbiología de la Universidad Autónoma de Yucatán. Las cepas bacterianas se seleccionaron debido a su relación con las enfermedades transmitidas por los alimentos que causan miles de defunciones cada año (132). Estas fueron: *Listeria monocytogenes* ATCC 51414,

Salmonella enteritidis ATCC 13076 y *Escherichia coli* ATCC 10536. Los extractos fueron probados a dosis de 10, 20 y 40 mg/mL y se usó como testigo gentamicina para las gram negativas (*E. coli* y *S. enteritidis*) y ampicilina para la gram positiva (*L. monocytogenes*).

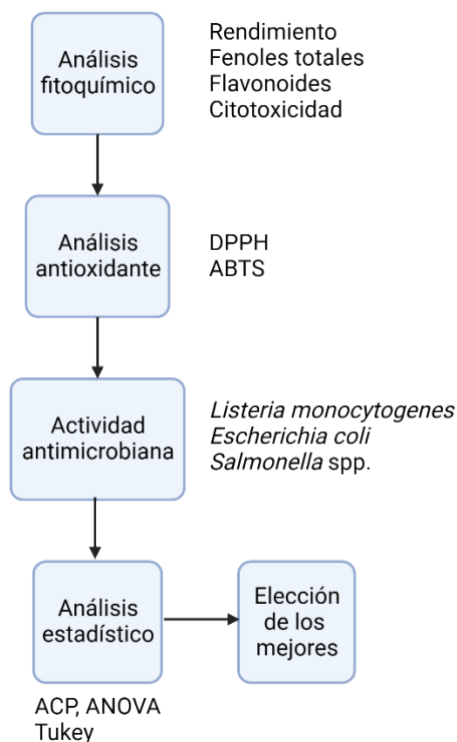


Figura 4. Diagrama de bloques del análisis de los extractos. Elaborado con: (129)

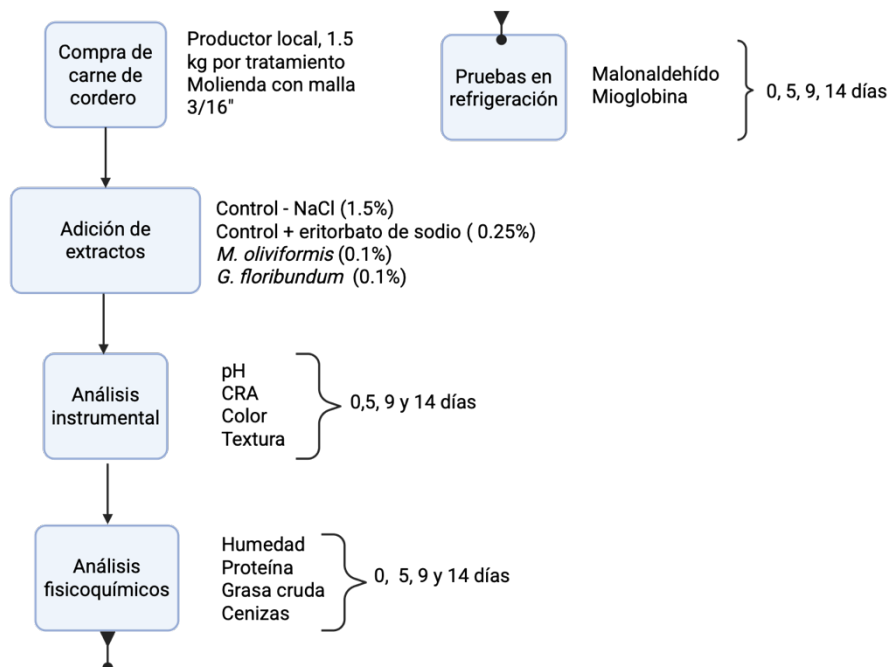
Identificación de compuestos volátiles mediante GC-MS análisis

Los metabolitos secundarios de los extractos se realizaron con la técnica de cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas descrita por (130). Para ello, se utilizó en un GC TRACE (Thermo Scientific) acoplado a un detector de masas con trampa de iones ITQ900 (Thermo Electron Corporation, Milán, Italia). Se utilizó helio como gas portador a un caudal de 1 mL/min. Se usó una columna TRACE-5MS (30m, 0.25 μ m de película y 0.25 mm de diámetro interno). Se utilizó el programa Full Scan, se inició con 50 °C durante 1 minuto y se aplicó un incremento de temperatura de 7 °C por minuto

hasta alcanzar 300 °C y se mantuvieron durante 5 minutos. La interfaz tuvo una temperatura de 280 °C y la masa de 200 °C.

Fase 2. Elaboración y evaluación de hamburguesas

La segunda fase comprendió la elaboración y evaluación de las hamburguesas de ovino adicionadas con los dos mejores extractos. Se utilizó la técnica de Sánchez-Zarate et al. (131) con ligeras modificaciones. Se



pesaron 1.5 kg de carne deshuesada y libre de tejido conectivo a la cual se adicionó un 20% de grasa (80:20 p/p). La carne y la grasa se molieron (0-2 °C) en un molino Torrey (M-22RW, Nuevo León, México) con una malla de 4.76 mm. Se establecieron cuatro tratamientos: todos con 1.5% de sal: T1, Control negativo; T2, Control positivo de eritorbato de sodio (ES) al 0.25%, T3, extracto de *G. floribundum* al 0.1%, T4, Extracto de *M. oliviformis* al 0.1%. Se formaron hamburguesas de 97 ± 3 g, con dimensiones de 1.2 ± 0.2 cm de altura y 10 ± 0.5 cm de diámetro. Las muestras se almacenaron a 4 °C y se analizaron a los días 0, 5, 9 y 14 mediante análisis sensoriales, instrumentales,

microbiológicos y oxidativos.

Evaluación sensorial

La evaluación sensorial se llevó a cabo en el laboratorio de Análisis Sensorial de la Facultad de Ecología y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Chihuahua, siguiendo las metodologías de Sánchez-Zarate y Anzaldúa-Morales (131,132), se realizó en 4 momentos (día 0, 5, 9 y 14), en cada uno se ofreció un control negativo (T1) y un control positivo (T2) junto con los tratamientos T3 y T4. La hamburguesa se coció en una parrilla eléctrica George Foreman (GR390FP-LA, China) a 180 °C y hasta que alcanzó una temperatura interna de 72 °C (4 min), las muestras cocidas se sirvieron a 8 jueces semi-entrenados. Se utilizó una prueba hedónica de nueve puntos en donde 1 fue me disgusta extremadamente y 9 me gusta extremadamente. Se realizó una prueba de ordenamiento para saber que tratamiento fue el más aceptado. A la par se les pidió a los jueces que realizaran una prueba descriptiva en la que describieron los atributos de: color, olor a borrego, olor ácido, textura, sabor salado, sabor a borrego, sabor a grasa y aceptabilidad general.

Análisis instrumental

Se midió el pH con la técnica descrita por Honikel, K. (133). Se realizó la medición de CRA con la metodología de prensado con placas de acrílico descrita por Tsai, T. y Ockerman, H. (137). Para calcular la diferencia de peso se siguió la siguiente fórmula: $\% \text{ Jugo liberado} = \text{Peso muestra post } 20 \text{ min} / \text{Peso muestra} * 100$.

El color se midió siguiendo lo descrito por Alberti et al. (135), brevemente, los parámetros de color CIE L *, a * y b * se obtuvieron con un colorímetro (Konica Minolta, CR 400, EE. UU.). La medición se realizó bajo el sistema de referencia CIE (Commission Internationale Pour l'Clariige)

(Alberti et al.,2005). Se oxigenó la muestra durante 20 min a 4 ° C. Se realizaron tres lecturas por muestra registrando los valores L *, a *, b *.

Por último, para medir la textura se utilizó el ensayo de esfuerzo al corte, descrito por la American Meat Science Association. (136). Las muestras se colocaron en una parrilla George Foreman (GR390FP-LA, Spectrum Brands, Inc, China) y se cocinaron hasta alcanzar 71 ± 1 °C en el centro geométrico de la muestra, luego se almacenaron a 4 ± 1 °C durante 24 h y se realizaron las pruebas de esfuerzo al corte.

Análisis bromatológicos

Determinación de humedad

Para el análisis de humedad se empleó 1 g de muestra puesto en un crisol a peso constante a 105 °C por 18 horas; se enfriaron las muestras y se pesaron registrando los datos hasta que se alcanzó un peso constante. Se realizaron dos determinaciones por muestra y los porcentajes de MS se expresaron como: $MS = [\text{Peso de la muestra seca (g)} / \text{peso de la muestra húmeda (g)}] * 100$ y;

$$\% \text{ Humedad} = 100 - \%MS$$

Determinación de cenizas

Se pesó 1 g de muestra húmeda, a continuación, se puso en un crisol a peso constante (100 °C 12 h) dentro de una mufla a 550 °C por seis horas, hasta que las cenizas se tornaron de color blanco, a continuación, se enfriaron los crisoles en una estufa por 1 hora a 105 °C, posteriormente se colocaron en un desecador hasta que alcanzaron la temperatura ambiental y se pesaron. Los cálculos se realizaron con la siguiente formula:

$$\% \text{ cenizas} = [\text{Peso de las cenizas (g)} / \text{Peso de la muestra fresca (g)}] \times 100$$

Determinación de proteínas

Esta prueba se realizó por el método de micro Kjeldahl, se tomó 0.25 g de muestra fresca por duplicado y se colocó en un matraz Kjeldahl, se agregó una tableta catalizadora Kjeltabs, 10 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado, se calentó a 420 °C para la digestión de la muestra por una hora en un equipomicrokjeldahl Buchi, se enfriaron las muestras por 30 minutos y se llevaron a destilación con 30 ml de hidróxido de sodio (NaOH) 1:1 (p/v), se tituló el destilado con ácido clorhídrico (HCl) al 0.1N y se registró el volumen gastado, una vez realizado esto, se calculó el porcentaje de nitrógeno (N) base seca, de N base húmeda y de proteína cruda, de la siguiente forma:

$$\% \text{ N base seca} = (V \text{ HCl} * C (\text{HCl}) * 0.014 * 100) / \text{peso de la muestra}$$

$$\% \text{ N base húmeda} = \% \text{ N base seca} * \% \text{ MS} / 100$$

$$\% \text{ Proteína} = \% \text{ N base húmeda} * 6.25 \text{ Donde;}$$

$$N = \text{nitrógeno total}$$

V_{HCl} = vol de HCl consumido por la muestra en la valoración - volumen del blanco de reactivos.

$C (\text{HCl})$ = concentración de la solución de HCl utilizada en la valoración.

Se usó 0.014 que es el peso molecular (PM) del nitrógeno y se dividió entre

1000 para convertir el volumen consumido de la valoración de mL a L

6.25= factor de corrección, en el que se deriva de asumir que las proteínas contienen 16% de nitrógeno.

$$\text{Proteína en carne cruda} = (\%) = 99 - (\% \text{ Grasa cruda}) - (\% \text{ Humedad})$$

Determinación de grasa cruda

Se colocaron porciones de muestra fresca por duplicado de 2 g y se colocó dentro de un cartucho de celulosa, cubierto con algodón y colocado en los vasos de extracción del equipo de Soxhlet, se colocaron 80 mL de hexano y se mantuvo a una temperatura de 175 a 200 °C por 6 h, se eliminó el solvente, se

colocó a peso constante el matraz con la grasa durante dos horas a 100 °C, se dejó enfriar, se pesó y se calculó el porcentaje de grasa cruda de la siguiente forma:

$$\% \text{ grasa cruda} = [(M2 - M1) / M] \times 100$$

Se expresa como porcentaje de grasa en base húmeda:

$$\% \text{ grasa cruda en base húmeda} = [(100 - \% \text{ humedad}) * \% \text{ grasa cruda}] / 100$$

Dónde:

M = peso de la muestra
M1= peso del matraz

M2= peso del matraz con la grasa extraída

Determinación de oxidación lipídica y de pigmentos.

Se determinó de acuerdo al método de sustancias reactivas del ácido tiobarbiturico (TBARS) descrito por Maraschiello et al. (137) y el ensayo de determinación de metamioglobina (MtMb) descrito por Carlez et al. (138).

Diseño experimental

El experimento se dividió en dos etapas, 1. Elaboración y caracterización de los extractos. En esta etapa se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) donde la variable independiente fue la fuente del extracto evaluada mediante 13 tratamientos. Como variables de respuesta se consideraron la actividad biológica, incluyendo análisis fitoquímicos, actividad antioxidante y actividad antimicrobiana. El modelo estadístico utilizado fue:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij}$$

Donde Y_{ij} es la respuesta observada, μ es la media general, T_i es el efecto del tratamiento, y e_{ij} es el error experimental.

Para el análisis de los datos se realizó un análisis de varianza (ANOVA),

y se aplicó la prueba de Tukey para la comparación de medias.

Y, 2. Elaboración y evaluación de las hamburguesas de ovino

En la segunda etapa se evaluó el efecto de la adición de extractos sobre la calidad y vida útil de hamburguesas de ovino. El diseño experimental correspondió a un diseño completamente al azar con arreglo factorial 4x4, donde los factores fueron los tratamientos: T1. Control negativo, T2. Control positivo: eritorbato de sodio al 0.01%, T3. Extracto MO, T4. Extracto GF y los días: 0, 5, 9 y 14.

Las variables de respuesta incluyeron parámetros fisicoquímicos, instrumentales, microbiológicos y oxidativos, tales como pH, CRA, color, textura, TBARS y MtMb. El modelo estadístico utilizado fue:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + D_j + (T \times D)_{ij} + e_{ijk}$$

Donde Y_{ij} es la respuesta observada, μ es la media general, T_i es el efecto del tratamiento i , D_j es el efecto del día de almacenamiento j , $(T \times D)_{ij}$ es la interacción entre tratamiento y tiempo y e_{ijk} es el error experimental.

Para el análisis de los datos se utilizó un análisis de varianza (ANOVA) para un diseño factorial. Cuando se detectaron diferencias significativas se aplicó la prueba de Dunnett para comparar los tratamientos respecto al control positivo.

1.6 Literatura citada

1. Cabrera MC, Saadoun A. An overview of the nutritional value of beef and lamb meat from South America. *Meat Sci.* 2014;98(3):435–44.
2. Falowo AB, Fayemi PO, Muchenje V. Natural antioxidants against lipid-protein oxidative deterioration in meat and meat products: A review. *Food Research International.* 2014;64:171–81.
3. Gahruie HH, Hosseini SMH, Taghavifard MH, Eskandari MH, Golmakani MT, Shad E. Lipid oxidation, color changes, and microbiological quality of frozen beef burgers incorporated with shirazithyme, cinnamon, and rosemary extracts. *J Food Qual.* 2017;2017.
4. Abeyrathne EDNS, Nam K, Ahn DU. Analytical methods for lipid oxidation and antioxidant capacity in food systems. *Antioxidants.* 2021;10(10):1–19.
5. FAO. Fuentes de carne [Internet]. 2019 [cited 2022 Apr 25]. Available from: <https://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/home.html>
6. SIAP. http://infosiap.siap.gob.mx/anpecuario_siapx_gobmx/CarneenCanal.do. 2016. Carne en canal por estado.
7. Ponnampalam EN, Holman BWB, Scollan ND. Sheep: Meat. 1st ed. *Encyclopedia of Food and Health.* Elsevier Ltd.; 2015. 750–757p.
8. FAO. Carne y productos cárnicos [Internet]. 2014 [cited 2022 Apr 26]. Available from: https://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/backgr_sources.html
9. Gullón B, Gagaoua M, Barba FJ, Gullón P, Zhang W, Lorenzo JM. Seaweeds as promising resource of bioactive compounds: Overview of novel extraction strategies and design of tailored meat products. *Trends Food Sci Technol.* 2020;100(November 2019):1–18.
10. Estévez M. Critical overview of the use of plant antioxidants in the meat industry: Opportunities, innovative applications and future perspectives. *Meat Sci.* 2021;181.
11. Jiang J, Xiong YL. Natural antioxidants as food and feed additives to

promote health benefits and quality of meat products: A review. *Meat Sci.* 2016;120:107–17.

12.Jayathilakan K, Sharma GK, Radhakrishna K, Bawa AS. Antioxidant potential of synthetic and natural antioxidants and its effect on warmed-over-flavour in different species of meat. *Food Chem.* 2007;105(3):908–16.

13.Angiolillo L, Conte A, Nobile MA Del. LWT - Food Science and Technology Technological strategies to produce functional meat burgers. *LWT - Food Science and Technology* [Internet]. 2014;1–7. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2014.08.021>

14.Falowo AB, Fayemi PO, Muchenje V. Natural antioxidants against lipid-protein oxidative deterioration in meat and meat products: A review. *Food Research International* [Internet]. 2014;64:171–81. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2014.06.022>

15.Bouvard V, Loomis D, Guyton KZ, Grosse Y, Ghissassi F El, Benbrahim-Tallaa L, et al. Carcinogenicity of consumption of red and processed meat. *Lancet Oncol.* 2015;2045(15):1599–600.

16.Embuscado ME. Spices and herbs: Natural sources of antioxidants - A mini review. *J Funct Foods* [Internet]. 2015;18:811–9. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jff.2015.03.005>

17.Zeb A. Phenolic Antioxidants in Foods: Chemistry, Biochemistry and Analysis. 1st ed. Switzerland: Springer Cham; 2021. 556 p.

18.NOM-213-SSA1. Productos cárnicos procesados y los establecimientos dedicados a su proceso. Disposiciones y especificaciones sanitarias. Métodos de prueba. 2018;

19.Badui S. Salvador Badui Dergal. 5th ed. Química de los alimentos. 2013. 738 p.

20.Wojtasik-Kalinowska I, Onopiuk A, Szpicer A, Wierzbicka A, Póltorak A. Frozen storage quality and flavor evaluation of ready to eat steamed meat products treated with antioxidants. *CYTA - Journal of Food* [Internet].

- 2021;19(1):152–62. Available from:
<https://doi.org/10.1080/19476337.2020.1869103>
21. Embuscado ME. Spices and herbs: Natural sources of antioxidants - A mini review. *J Funct Foods*. 2015;18:811–9.
22. Boruzi AI, Nour V. Walnut (*Juglans regia* L.) leaf powder as a natural antioxidant in cooked pork patties. *CYTA - Journal of Food*. 2019;17(1):431–8.
23. Bouvard V, Loomis D, Guyton KZ, Grosse Y, Ghissassi F El, Benbrahim-Tallaa L, et al. Carcinogenicity of consumption of red and processed meat. *Lancet Oncol*. 2015;2045(15):1599–600.
24. Jayathilakan K, Sharma GK, Radhakrishna K, Bawa AS. Antioxidant potential of synthetic and natural antioxidants and its effect on warmed-over-flavour in different species of meat. *Food Chem*. 2007;105(3):908–16.
25. Al-Juhaimi F, Ghafoor K, Hawashin MD, Alsawmahi ON, Babiker EE. Effects of different levels of Moringa (*Moringa oleifera*) seed flour on quality attributes of beef burgers. *CYTA - Journal of Food*. 2016;14(1):1–9.
26. Martín-Sánchez AM, Ciro-Gómez G, Vilella-Esplá J, Pérez-Álvarez JÁ, Sayas-Barberá E. Physicochemical and sensory characteristics of spreadable liver pâtés with annatto extract (*Bixa orellana* L.) and date palm co-products (*Phoenix dactylifera* L.). *Foods*. 2017;6(11).
27. Alp E, Aksu Mİ. Effects of water extract of *Urtica dioica* L. and modified atmosphere packaging on the shelf life of ground beef. 2010;86:468–73.
28. Al-Juhaimi F, Ghafoor K, Hawashin MD, Alsawmahi ON, Babiker EE. Effects of different levels of Moringa (*Moringa oleifera*) seed flour on quality attributes of beef burgers. *CYTA - Journal of Food* [Internet]. 2016;14(1):1–9. Available from: <http://dx.doi.org/10.1080/19476337.2015.1034784>
29. Alp E, Aksu Mİ. Effects of water extract of *Urtica dioica* L. and modified atmosphere packaging on the shelf life of ground beef. 2010;86:468–73.
30. Custodio L, Custodio JL, González M, Rosa D. Memoi. Reducción de

desperdicios de alimentos en el hogar. 2017; FAO. Iniciativa para la reducción de pérdidas de alimentos en México. Available from:

<https://www.fao.org/mexico/programas-y-proyectos/iniciativa-para-la-reduccion-de-perdidas-de-alimentos-en-mexico/en/>.

31.Andujar G, Pérez D, Venegas O. Química y bioquímica de la carne y los productos cárnicos. La Habana: La Editorial Universitaria; 2009. 125 p.

32.Codex Alimentarius. Code of Hygienic Practice for Meat CAC/RCP 58-2005. Availablefrom:

<https://www.bing.com/search?q=CAC%2FRCF+58%2F2005&cvid=2012a74c029b4b8dbd64d3dc09854ecf&aqs=edge.69i57j69i58.469j0j4&FORM=ANAB01&PC=LCTS>

33.Babiker SA, El Khider IA, Shafie SA. Chemical composition and quality attributes of goat meat and lamb. Meat Sci. 1990;28(4):273–7.

34.Mohammed HHH, He L, Nawaz A, Jin G, Huang X, Ma M, etal. Effect of frozen and refrozen storage of beef and chicken meats on inoculated microorganisms and meat quality. Meat Sci. 2021;175(December 2020):108453.

35.Keeton JT, Ellerbeck SM, Núñez de González MT. Chemical Composition. Encyclopedia of Meat Sciences. 2014;1:235–43.

36.Tůmová E, Chodová D, Volek Z, Ketta M. The effect of feed restriction, sex and age on the carcass composition and meat quality of nutrias (*Myocastor coypus*). Meat Sci. 2021;182.

37.COMECARNE. Compendio estadístico 2021 [Internet]. 2021 [cited 2022 Mar 31]. Available from: <https://comecarne.org/compendio-estadistico-2021/>

38.SIAP.<https://sursureste.org.mx/wp-content/uploads/2022/08/Carne-de-ovino-Panorama-Agroalimentario-2022.pdf>. 2020. PANORAMA AGROALIMENTARIO 2020.

39.INEGI.<https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825070625>. 2015. Estadística de sacrificio de ganado en rastros municipales por

- entidad federativa 2009-2014. INEGI.
https://www.inegi.org.mx/app/tabulados/interactivos/?px=SACRIFICIO_O_DE_GANADO_ANUAL&bd=Ganado&idrt=79&opc=t.2022. Estadística de Sacrificio de Ganado en Rastros Municipales.
- 40.Bobadilla-Soto EE, Ochoa-Ambriz F, Perea-Peña M. Dinámica de la producción y consumo de carne ovina en México 1970 a 2019. *Agronomía Mesoamericana*. 2021 Sep. 1;963–82.
- 41.Hernández-Marín JA, Valencia-Posadas M, Ruíz-Nieto JE,Mireles-Arriaga AI, Cortez-Romero C, Gallegos-Sánchez J. Contribución de la ovinocultura al sector pecuario en México. 2017;10:87–93.
- 42.Cabrera MC, Saadoun A. An overview of the nutritional value of beef and lamb meat from South America. *Meat Sci* [Internet]. 2014;98(3):435–44. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.06.033>
- 43.Suleman R, Wang Z, Aadil RM, Hui T, Hopkins DL, Zhang D.Effect of cooking on the nutritive quality, sensory properties and safety of lamb meat: Current challenges and future prospects. *Meat Sci* [Internet]. 2020;167(1):108172. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108172>
- 44.Suleman R, Wang Z, Aadil RM, Hui T, Hopkins DL, Zhang D.Effect of cooking on the nutritive quality, sensory properties and safety of lamb meat: Current challenges and future prospects. *Meat Sci*. 2020;167(1):108172.
- 45.Quintanilla-medina JJ, González-Reyna A, Hernández- Meléndez J, Limas-martínez AG, Carreón-Pérez A, Martínez-González JC. Producción de ovinos de pelo bajo condiciones de pastoreo en el noreste de México. 2018;29(2):544–51.
- 46.Muñoz-osorio GA, Aguilar- AJ, Sarmiento-franco LA, Cámara-sarmiento WR. Descripción de los sistemas intensivos de engorda de corderos en Yucatán, México Description of intensive Lamb fattening systems in Yucatan , Mexico. *Nova Scientia*. 2015;7(3):207–26.

47. Leite MSB, Moraes da São E, Vito A, Alves NG, Maciel EDS, Adriane L, et al. Incorporation of copaiba and oregano essential oils on the shelf life of fresh ground beef patties under display :Evaluation of their impact on quality parameters and sensory attributes. 2022;1–19.
48. Estrada-León RJ, Moo-Huchin VM, Mena-Arceo D, Cárdenas-Medina JV, Ortiz-Fernández A, Canto-Pinto JC. Características fisicoquímicas asociadas a calidad de carne en ovinos de pelo del sureste de México. Rev MVZ Cordoba. 2022;27.
49. Olvera-Aguirre G, Piñeiro-Vázquez ÁT, Segura-Campos MR, Chay-Canul AJ. Uso de extractos de plantas para conservar productos cárnicos. Bioagrociencias. 2023 Nov 18;16(2).
50. Calao-Iglesiás G, Muñoz-Osorio GA, Chay-Canul AJ. Carne de ovejas de desecho para embutidos. Bioagrociencias. 2023 Nov 25;16(2).
51. Méndez-González ME, Durán-García R, Campos-Bobadilla SM, Dorantes-Euán A. Biodiversidad y desarrollo humano en Yucatán. Durán R, Méndez M, editors. CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA; 2010. 496 p.
52. Llorens-Molina JA. Composición química de los aceites esenciales. Hidrocarburos monoterpénicos regulares. 2021.
53. Lin LZ, Mukhopadhyay S, Robbins RJ, Harnly JM. Identification and quantification of flavonoids of Mexican oregano (*Lippia graveolens*) by LC-DAD-ESI/MS analysis. Journal of Food Composition and Analysis. 2007;20(5):361–9.
54. Méndez-González ME, Durán-García R, Campos-Bobadilla SM, Dorantes-Euán A. Biodiversidad y desarrollo humano en Yucatán. Durán R, Méndez M, editors. CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA; 2010. 496 p.
55. Calvo-Irabien LM, Fernández-Concha GC. ¿Debemos seguir llamando orégano mexicano a *Lippia graveolens* Kunth?: Esclareciendo el nombre del orégano mexicano. Desde el Herbario CICY. 2021 Nov 4;13:212–6.
56. Amilcar Can-Sulu Carlos. *Ocimum campechianum* (Lamiaceae): su uso en

la medicina tradicional. Centro de Investigación Científica de Yucatán, AC (CICY). 2015;34:33.

57. Ruiz-Vargas JA, Morales-Ferra DL, Ramírez-Ávila G, Zamilpa A, Negrete-León E, Acevedo-Fernández JJ, et al. α -Glucosidase inhibitory activity and in vivo antihyperglycemic effect of secondary metabolites from the leaf infusion of *Ocimum campechianum* mill. J Ethnopharmacol [Internet]. 2019;243(June):112081. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2019.112081>

58. Maksoud S, Abdel-Massih RM, Rajha HN, Louka N, Chemat F, Barba FJ, et al. *Citrus aurantium* l. Active constituents, biological effects and extraction methods. an updated review. Molecules. 2021;26(19):1–18.

59. R S, Gurunathan J. Metabolites from the citrus extracts inhibit the activity of selected proteins in Indian Cobra (*Naja naja*) venom. J Ethnopharmacol [Internet]. 2020;252(April 2019):112575. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.112575>

60. Solís-Salas LM, Sierra-Rivera CA, Cobos-Puc LE, Ascacio- Valdés JA, Silva-Belmares SY. Antibacterial potential by rupture membrane and antioxidant capacity of purified phenolic fractions of *Persea americana* leaf extract. Antibiotics. 2021;10(5).

61. Hong JY, Chung KS, Shin JS, Park G, Jang YP, Lee KT. Anti-colitic effects of ethanol extract of *Persea americana* Mill. Through suppression of pro-inflammatory mediators via NF- κ B/STAT3 inactivation in dextran sulfate sodium-induced colitis mice. Int J Mol Sci. 2019;20(1):1–19.

62. Castañeda-Ramírez GS, Torres-Acosta JFJ, Sandoval-Castro CA, González-Pech PG, Parra-Tabla VP, Mathieu C. Is there a negative association between the content of condensed tannins, total phenols, and total tannins of tropical plant extracts and in vitro anthelmintic activity against *Haemonchus contortus* eggs? Parasitol Res. 2017;116(12):3341–8.

63. Martín-Sánchez AM, Ciro-Gómez G, Vilella-Esplá J, Pérez- Álvarez JÁ,

- Sayas-Barberá E. Physicochemical and sensory characteristics of spreadable liver pâtés with annatto extract (*Bixa orellana* L.) and date palm co-products (*Phoenix dactylifera* L.). *Foods*. 2017;6(11).
64. Ribeiro JS, Santos MJMC, Silva LKR, Pereira LCL, Santos IA, da Silva Lannes SC, et al. Natural antioxidants used in meat products: A brief review. *Meat Sci* [Internet]. 2019;148(April):181–8. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.10.016>
65. Parveen M, Azeem M, Aslam A, Azam M, Siddiqui S, Alam M. Calculations and DNA Binding Studies. 2022; *Crystals*. <https://doi.org/10.3390/cryst12030380>
66. Smaoui S, Hsouna A Ben, Lahmar A, Ennouri K, Mtibaa- Chakchouk A, Sellem I, et al. Bio-preservative effect of the essential oil of the endemic *Mentha piperita* used alone and in combination with BacTN635 in stored minced beef meat. *Meat Sci* [Internet]. 2016;117:196–204. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.03.006>
67. Shelepova O V., Dilovarova TA, Gulevich AA, Olekhovich LS, Shirokova A V., Ushakova IT, et al. Chemical components and biological activities of essential oils of mentha × piperita l. From field-grown and field-acclimated after in vitro propagation plants. *Agronomy*. 2021;11(11).
68. Chacón C, Bojórquez-Quintal E, Caamal-Chan G, Ruíz- Valdiviezo VM, Montes-Molina JA, Garrido-Ramírez ER, et al. In vitro antifungal activity and chemical composition of piper auritum kunth essential oil against fusarium oxysporum and fusarium equiseti. *Agronomy*. 2021;11(6).
69. Trujillo-Santiago E, Villalobos-Delgado LH, Guzmán-Pantoja LE, López MG, Zafra-Ciprián DI, Nevárez-Moorillón G V., et al. The effects of Hierba Santa (*Piper auritum* Kunth) on the inhibition of lipid oxidation in beef burgers. *Lwt*. 2021;146(November 2020).
70. Shah MA, Bosco SJD, Mir SA. Effect of Moringa oleifera leaf extract on the physicochemical properties of modified atmosphere packaged raw beef. *Food*

Packag Shelf Life. 2015 Mar;3:31–8.

71.Parihar S, Chattarpal C, Sarswati S, Hooda S. *Moringa oleifera* Extract- “A Miracle Tree.” Scholars Academic Journal of Pharmacy [Internet]. 2022;11(1):1–5.Availablefrom:

https://saspublishers.com/media/articles/SAJP_111_1-5_Yn83JSx.pdf

72.Olvera-Aguirre G, Mendoza-taco MM, Moo-Huchin VM, Roque-Jim A, Armando G. Effect of Extraction Type on Bioactive Compounds and Antioxidant Activity of *Moringa oleifera* Lam . Leaves. Agriculture. 2022;1–9.

73.Elhadi DAE, Elgasim EA, Mohamed Ahmed IA. Características microbianas y oxidativas de la hamburguesa de pollo refrigerada con moringa en polvo (*Moringa oleifera*). CYTA - Journal of Food [Internet]. 2017;15(2):234–40. Available from:

<http://dx.doi.org/10.1080/19476337.2016.1242157>

74.MHT. Fenogreco.

75.Erbay EA, Dağtekin BB (Gözü), Türe M, Yeşilsu AF, Torres- Giner S. Quality improvement of rainbow trout fillets by whey protein isolate coatings containing electrospun poly(ϵ -caprolactone) nanofibers with *Urtica dioica* L. extract during storage. Lwt [Internet]. 2017;78:340–51.Availablefrom:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2017.01.002>

76.Vibrans H. Malezas de México [Internet]. 2009 [cited 2022 Apr 10]. Available from: *Schinus molle* - ficha informativa (conabio.gob.mx)

77.Jimenez-Rojas M, Andueza-Noh RH, Potter D, Martínez-Castillo J. Huaya India (*Melicoccus oliviformis* Kunth): domesticación y usos. Desde el Herbario CICY. 2019 Oct. 24;11:211–6.

78.González-Pech, P. Ventura-Cordero, J. Ortiz-Ocampo G, Jaimez-Rodríguez P, Tun J, Sandoval-Castro C, Torres-Acosta F. Plantas consumidas por ovinos y caprinos en la selva baja caducifolia de Yucatan [Internet]. UADY; 2017. 64 p. Available from:

https://www.researchgate.net/publication/335243610_Plantas_consumidas_por_ovinos_y_caprinos_en_la_selva_baja_caducifolia_de_Yucatan_Guia_ilustrada

79.Ojeda-Ayala M, Gaxiola-Camacho SM, Delgado-Vargas F. Phytochemical composition and biological activities of the plants of the genus *Randia*. Bot Sci. 2022 May 23;100(4):779–96.

80.Abat JK, Kumar S, Mohanty A. Ethnomedicinal, Phytochemical and Ethnopharmacological Aspects of Four Medicinal Plants of Malvaceae Used in Indian Traditional Medicines: A Review. Medicines. 2017 Oct 18;4(4):75.

81.Numa S, Rodríguez L, Rodríguez D, Coy-Barrera E. Susceptibility of *Tetranychus urticae* Koch to an ethanol extract of *Cnidoscolus aconitifolius* leaves under laboratory conditions. Springerplus. 2015;4(1).

82.Manzanilla Valdez ML, Segura Campos MR. Renal and Hepatic Disease: *Cnidoscolus aconitifolius* as Diet Therapy Proposal for Prevention and Treatment. J Am Coll Nutr [Internet]. 2021;40(7):646–64. Available from: <https://doi.org/10.1080/07315724.2020.1810171>

83.Sepúlveda-Jiménez G. Sepúlveda Jiménez , Gabriela; Porta Ducoing, Helena; Rocha Sosa, Mario. Rev Mex Fitopatol. 2003;21(3):355–63.

84.Flores-López ML. Metabolitos secundarios de plantas. 2021.

85.Quintal Martínez JP, Segura Campos MR. *Cnidoscolus Aconitifolius* (Mill.) I.M. Johnst.: A Food Proposal Against Thromboembolic Diseases. Food Reviews International. 2021;00(00):1–34.

86.Kordiak J, Bielec F, Slawomir J, Pastuszek-lewandowska D. Role of Beta-Carotene in Lung Cancer Primary Chemoprevention: A Systematic Review with Meta-Analysis and Meta-Regression. Nutrients. 2022;14(7):1361.

87.Witkamp RF. Biologically active compounds in food products and their effects on obesity and diabetes. Comprehensive Natural Products II: Chemistry and Biology. 2010;3:509–45.

88.Bor T, Aljaloud SO, Gyawali R, Ibrahim SA. Antimicrobials from herbs,

- spices, and plants. Fruits, Vegetables, and Herbs: Bioactive Foods in Health Promotion. Elsevier Inc.; 2016. 551–578 p.
89. Gonçalves LA, Lorenzo JM, Trindade MA. Fruit and agro-industrial waste extracts as potential antimicrobials in meat products: A brief review. *Foods*. 2011;10(7):1–10.
 90. Gómez-Sequeda N, Cáceres M, Stashenko EE, Hidalgo W, Ortiz C. Antimicrobial and antibiofilm activities of essential oils against *Escherichia coli* O157:H7 and methicillin-resistant staphylococcus aureus (MRSA). *Antibiotics*. 2020;9(11):1–18.
 91. Wojtasik-Kalinowska I, Onopiuk A, Szpicer A, Wierzbicka A, Póltorak A. Frozen storage quality and flavor evaluation of ready to eat steamed meat products treated with antioxidants. *CYTA - Journal of Food*. 2021;19(1):152–62.
 92. Sharafati-Chaleshtori R, Rokni N, Rafieian-Kopaei M, Drees F, Salehi E. Antioxidant and antibacterial activity of basil (*Ocimum basilicum* L.) essential oil in beef burger. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 2015;17(4):817–26.
 93. Perricone M, Arace E, Corbo MR, Sinigaglia M, Bevilacqua A. Bioactivity of essential oils: A review on their interaction with food components. *Front Microbiol*. 2015;6(FEB):1–7.
 94. Huang Z, Liu X, Jia S, Luo Y. Antimicrobial effects of cinnamon bark oil on microbial composition and quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fillets during chilled storage. *Food Control*. 2017;82:316–24.
 95. Erbay EA, Dağtekin BB (Gözü), Türe M, Yeşilsu AF, Torres- Giner S. Quality improvement of rainbow trout fillets by whey protein isolate coatings containing electrospun poly(ϵ -caprolactone) nanofibers with *Urtica dioica* L. extract during storage. *Lwt*. 2017;78:340–51.
 96. Guedes-Oliveira JM, da Costa-Lima BRC, Cunha LCM, Salim APA de A, Baltar JD, Fortunato AR, et al. Impact of *Myrciaria dubia* peel and seed

- extracts on oxidation process and colour stability of ground lamb. *CYTA - Journal of Food*. 2018;16(1):931–7.
- 97.Jiang Y, Fang Z, Leonard W, Zhang P. Phenolic compounds in *Lycium berry*: Composition, health benefits and industrial applications. *J Funct Foods* [Internet]. 2021;77:104340. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.104340>
- 98.Bahmanyar F, Hosseini SM, Mirmoghtadaie L, Shojae- Aliabadi S. Effects of replacing soy protein and bread crumb with quinoa and buckwheat flour in functional beef burger formulation. *Meat Sci*. 2021;172(January 2020):108305.
- 99.Guillín Y, Cáceres M, Torres R, Stashenko E, Ortiz C. Effect of essential oils on the inhibition of biofilm and quorum sensing in salmonella enteritidis 13076 and salmonella typhimurium 14028. *Antibiotics*. 2021;10(10).
- 100.Sarrazin SLF, Da Silva LA, De Assunção APF, Oliveira RB, Calao VYP, Da Silva R, et al. Antimicrobial and seasonal evaluation of the carvacrol-chemotype oil from *Lippia origanoides* kunth. *Molecules*. 2015;20(2):1860–71.
- 101.Arias J, Mejía J, Córdoba Y, Martínez JR, Stashenko E, del Valle JM. Optimization of flavonoids extraction from *Lippia graveolens* and *Lippia origanoides* chemotypes with ethanol-modified supercritical CO₂ after steam distillation. *Ind Crops Prod* [Internet]. 2020;146(January):112170. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112170>
- 102.Cáceres M, Hidalgo W, Stashenko E, Torres R, Ortiz C. Essential oils of aromatic plants with antibacterial, anti-biofilm and anti-quorum sensing activities against pathogenic bacteria. *Antibiotics*. 2020;9(4).
- 103.Bautista-Hernández I, Aguilar CN, Martínez-Ávila GCG, Torres-León C, Iliina A, Flores-Gallegos AC, et al. Mexican oregano (*Lippia graveolens* kunth) as source of bioactive compounds: A review. *Molecules*. 2021;26(17):1–19.
- 104.Martínez A, Manrique-Moreno M, Klaiss-Luna MC, Stashenko E, Zafra G, Ortiz C. Effect of essential oils on growth inhibition, biofilm formation and

- membrane integrity of *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. Antibiotics. 2021;10(12).
- 105.Arumugam P, Murugan R, Subathra M, Ramesh A. Superoxideradical scavenging and antibacterial activities of different fractions of ethanol extract of *Mentha spicata* (L.). Medicinal Chemistry Research.2010 Sep;19(7):664–73.
- 106.Biswas AK, Chatli MK, Sahoo J. Antioxidant potential of curry(*Murraya koenigii* L.) and mint (*Mentha spicata*) leaf extracts and their effect on colour and oxidative stability of raw ground pork meat during refrigeration storage. Food Chem [Internet]. 2012;133(2):467–72. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.01.073>
- 107.Shahbazi Y, Shavisi N. Effects of sodium alginate coating containing *Mentha spicata* essential oil and cellulose nanoparticles on extending the shelf life of raw silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) fillets. Food Sci Biotechnol [Internet]. 2019;28(2):433–40. Available from: <https://doi.org/10.1007/s10068-018-0486-y>
- 108.Muthukumar M, Naveena BM, Vaithiyanathan S, Sen AR, Sureshkumar K. Effect of incorporation of *Moringa oleifera* leaves extract on quality of ground pork patties. J Food Sci Technol. 2014;51(11):3172–80.
- 109.Mohamad Shariff NFS, Singgampalam T, Ng CH, Kue CS. Antioxidant activity and zebrafish teratogenicity of hydroalcoholic *Moringa oleifera* L. leaf extracts. British Food Journal. 2020;122(10):3129–37.
- 110.Gómez-Sequeda N, Cáceres M, Stashenko EE, Hidalgo W, Ortiz C. Antimicrobial and antibiofilm activities of essential oils against *Escherichia coli* O157:H7 and methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA). Antibiotics. 2020;9(11):1–18.
- 111.Koodkaew I, Senaphan C, Sengseang N, Suwanwong S. Characterization of phytochemical profile and phytotoxic activity of *Mimosa pigra* L. Agriculture and Natural Resources [Internet]. 2018;52(2):162–8. Available

from:<https://doi.org/10.1016/j.anres.2018.06.005>

112.Silva SA de NM, Barros AB, Souza JMT, Moura AF, Araújo AR de, Mendes MGA, et al. Phytochemical and biological prospection of *Mimosa* genus plants extracts from Brazilian northeast. *Phytochem Lett.* 2020;39(July):173–81.

113.Hawwal MF, Ali Z, Fantoukh OI, Chittioboyina AG, Khan IA. Phytochemical investigation of *Mimosa pigra* leaves, a sensitive species. *Biochemical Systematics and Ecology.* 2021;99.

114.Silva MJD, Carvalho AJS, Rocha CQ, Vilegas W, Silva MA, Gouvêa CMCP. Ethanolic extract of *Mimosa caesalpinifolia* leaves: Chemical characterization and cytotoxic effect on human breast cancer MCF-7 cell line. *South African Journal of Botany* [Internet]. 2014;93:64–9. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.sajb.2014.03.011>

115.Paredes Salido F, Roca Fernández J. Influencia de los radicales libres en el envejecimiento celular. *Offarm: farmacia y sociedad.* 2002;21(7):96–100.

116.Chaijan M. Review: Lipid and myoglobin oxidations in muscle foods. *Songklanakarin Journal of Science and Technology.* 2008;30(1):47–53.

117.Jiang J, Xiong YL. Natural antioxidants as food and feed additives to promote health benefits and quality of meat products: A review. *Meat Sci* [Internet]. 2016;120:107–17. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.04.005>

118.Badui S. Salvador Badui Dergal. 5th ed. *Química de los alimentos.* 2013. 738 p.

119.Arumugam P, Murugan R, Subathra M, Ramesh A. Superoxide radical scavenging and antibacterial activities of different fractions of ethanol extract of *Mentha spicata* (L.). *Medicinal Chemistry Research.* 2010;19(7):664–73.

120.Sharafati-Chaleshtori R, Rokni N, Rafieian-Kopaei M, Drees F, Salehi E. Antioxidant and antibacterial activity of basil (*Ocimum basilicum* L.) essential oil in beef burger. *Journal of Agricultural Science and Technology.*

2015;17(4):817–26.

121.Lavado G, Ladero L, Cava R. Cork oak (*Quercus suber* L.) leaf extracts potential use as natural antioxidants in cooked meat. Ind Crops Prod. 2021;160:1–9.

122.Prado-Barragán LA. Microbiología de la carne [Internet]. Available from: <http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/lapb/MicroCARNES.pdf>

123.Olvera-Aguirre G, Mendoza-taco MM, Moo-Huchin VM, Roque-Jim A, Armando G. Effect of Extraction Type on Bioactive Compounds and Antioxidant Activity of *Moringa oleifera* Lam . Leaves. Agriculture. 2022;1–9.

124.Biorender.Com. Biorender. 2021.

125.Ortega AMM, Campos MRS. Effect of Chia Seed Oil (*Salvia hispanica* L.) on Cell Viability in Breast Cancer Cell MCF-7. In: The 2nd International Conference of Ia ValSe-Food Network. Basel Switzerland: MDPI; 2020. p. 18.

126.Uuh-Narváez JJ, González-Tamayo MA, Segura-Campos MR. A study on nutritional and functional study properties of Mayan plant foods as a new proposal for type 2 diabetes prevention. Food Chem

127.[Internet]. 2021;341:128247. Available from:

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128247>

128.Madrado-León A, Fuentes-Ortíz AB, Morales-Mendoza LF, Segura-Campos MR. Antibacterial peptide fractions from chia seeds (*Salvia hispanica* L.) and their stability to food processing conditions. J Food Sci Technol. 2022;(613).

129.Jiménez-Corona ME. Enfermedades transmitidas por alimentos [Internet]. 2018. Available from:

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/334668/7._Vigilancia_Epidemiologica-Ma._Eugenia-DGE-SSA.pdf

130.Gómez-Gutiérrez JA, Wong-Villarreal A, Aguilar-Marcelino L, Yañez-Ocampo G, Hernández-Nuñez E, Caspeta-Mandujano JM, et al. In vitro

- nematicidal and acaricidal effect of biosurfactants produced by *Bacillus* against the root-knot nematode *Nacobbus aberrans* and the dust mite *Tyrophagus putrescentiae*. Brazilian Journal of Microbiology. 2023 Jun 29;54(2):1127–36.
131. Sánchez-Zarate A. Conservación De Hamburguesas De Carne De Cordero con Extracto Crudo de Pimienta dioica L. 2019.
132. Anzaldúa-Morales A. La Evaluación Sensorial de Los Alimentos en la Teoría y la Práctica. Acribia; 1994. 1–198 p.
133. Honikel KO. Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. Meat Sci. 1998 Aug;49(4):447–57.
134. Tsai TC, Ockerman HW. Water Binding Measurement of Meat. J Food Sci. 1981 May 25;46(3):697–701.
135. Albertí P, Panea B, Ripoll G, Sañudo C, Olleta JL, Negueruela I, et al. Medición del color. In: Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal, carne y grasa) en los rumiantes. Madrid: INIA; 2005. p. 216–25.
136. American Meat Science Association. Research guidelines for cookery, sensory evaluation, and instrumental tenderness measurements of meat. Second Edition. segunda. 2016.
137. Maraschiello C, Sárraga C, García Regueiro JA. Glutathione Peroxidase Activity, TBARS, and α -Tocopherol in Meat from Chickens Fed Different Diets. J Agric Food Chem. 1999 Mar 1;47(3):867–72.
138. Carlez A, Veciana-Nogues T, Cheftel JC. Changes in Colour and Myoglobin of Minced Beef Meat Due to High Pressure Processing. LWT - Food Science and Technology. 1995;28(5):528–38.

II. CAPÍTULO 2. Using plant-based compounds as preservatives for meat products: A review

Heliyon 9 (2023) e17071



Contents lists available at ScienceDirect

Heliyon

journal homepage: www.cell.com/heliyon



Review article

Using plant-based compounds as preservatives for meat products: A review



Gabriel Olvera-Aguirre^a, Ángel Trinidad Piñero-Vázquez^a,
José Roberto Sanginés-García^a, Adriana Sánchez Zárate^a,
Angélica Alejandra Ochoa-Flores^b, Maira Rubi Segura-Campos^c,
Einar Vargas-Bello-Pérez^{d,e,*}, Alfonso Juventino Chay-Canul^{b,**}

^a Instituto Tecnológico de México, Campus Conkal, CP, 97345, Conkal, Yucatán, Mexico

^b División Académica de Ciencias Agropecuarias, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Km 25. Carretera Villahermosa-Teapa, R/A La Huasteca, CP, 86280, Colonia Centro, Tabasco, Mexico

^c Facultad de Ingeniería Química, Universidad Autónoma de Yucatán, Periférico Norte Km. 33.5, Colonia Chuburná de Hidalgo Inn, Mérida, Yucatán, Mexico

^d Department of Animal Sciences, School of Agriculture, Policy and Development, University of Reading, P.O. Box 237, Earley Gate, Reading, RG6 6EU, UK

^e Facultad de Zootecnia y Ecología, Universidad Autónoma de Chihuahua, Chihuahua, 31453, Mexico

ARTICLE INFO

Keywords:

Phenolic compounds
Plant extract
Shelf life
Natural additives
Auto-oxidation

ABSTRACT

The susceptibility of meat and meat products (MP) to oxidation and microbial deterioration poses a risk to the nutritional quality, safety, and shelf life of the product. This analysis provides a brief overview of how bioactive compounds (BC) impact meat and MP preservation, and how they can be utilized for preservation purposes. The use of BC, particularly plant-based antioxidants, can reduce the rate of auto-oxidation and microbial growth, thereby extending the shelf life of MP. These BC include polyphenols, flavonoids, tannins, terpenes, alkaloids, saponins, and coumarins, which have antioxidant and antimicrobial properties. Bioactive compounds can act as preservatives and improve the sensory and physicochemical properties of MP when added under appropriate conditions and concentrations. However, the inappropriate extraction, concentration, or addition of BC can also lead to undesired effects. Nonetheless, BC have not been associated with chronic-degenerative diseases and are considered safe for human consumption. MP auto-oxidation leads to the generation of reactive oxygen species, biogenic amines, malonaldehyde (MDA), and metmyoglobin oxidation products, which are detrimental to human health. The addition of BC at a concentration ranging from 0.025 to 2.5% (w/w in powdered or v/w in oil or liquid extracts) can act as a preservative, improving color, texture, and shelf life. The combination of BC with other techniques, such as encapsulation and the use of intelligent films, can further extend the shelf life of MP. In the future, it will be necessary to examine the phytochemical profile of plants that have been used in traditional medicine and cooking for generations to determine their feasibility in MP preservation.

* Corresponding author. Department of Animal Sciences, School of Agriculture, Policy and Development, University of Reading, P.O. Box 237, Earley Gate, Reading, RG6 6EU, UK.

** Corresponding author.

E-mail addresses: e.vargasbelloperez@reading.ac.uk (E. Vargas-Bello-Pérez), alfonso.chay@ujat.mx (A.J. Chay-Canul).

<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17071>

Received 13 January 2023; Received in revised form 11 May 2023; Accepted 6 June 2023

Available online 10 June 2023

2405-8440/© 2023 The Authors. Published by Elsevier Ltd. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

INTRODUCTION.

The combination of water, high-quality proteins, polyunsaturated fatty acids, carbs, vitamins, minerals, and colors make meat a highly nutritious food source. However, its nutrient composition also makes it susceptible to spoilage [1–6]. The most significant quality loss in meat and MP occurs due to auto-oxidation and microbial deterioration [7–10]. These processes lead to the formation of undesirable flavors, odors, and toxic compounds, such as reactive oxygen species (ROS) and nitrogen (RNS), that can cause mutagenesis, thus posing a risk to human health [11–13].

The application of preservatives is one way to protect the fatty acids, proteins, and vitamins in MP from auto-oxidation and spoilage [9,11]. By incorporating synthetic antioxidants into MP, such as butyl-hydroxy-anisole (BHA), sulphur dioxide, butyl-hydroxy-toluene (BHT), tert-butyl-hydroquinone (TBHQ), propyl-gallate (PG), nitrites, nitrates, ascorbates, monosodium glutamate, and liquid smoke, the rate of lipid (LA) and protein (PA) auto-oxidation can be slowed down. This lengthens the shelf-life of the product and prevents spoilage [14–18].

Despite their effectiveness, it has been confirmed that these preservatives can cause food poisoning, liver damage, carcinogenesis, and mutagenesis [12,14,17,19–21]. Because of the potential health risks associated with synthetic preservatives, the meat industry is looking for BC as a safer alternative. One such form of BC is essential oils (EO) or plant extracts (PE), which have been found to have antioxidant and antimicrobial properties [22–24]. The use of BC rather than synthetic antioxidants is considered safer, easier to apply, and more sought after by health-conscious consumers [13,25–28].

Plant extracts and EO are the main natural sources of BC that are used in MP. These compounds are defined as molecules of phenolic acids (such as

hydroxytyrosol and tyrosol), flavonoids, tannins, terpenes, catechins, alkaloids, saponins (such as dihydropyranones), and coumarins that act as antioxidants and antimicrobials [12,25,28,29].

Studies have shown that these natural compounds can be effective against various microorganisms (MO) such as *Bacillus anthracis* [30], *Salmonella typhimurium* [30,31], *Pseudomonas aeruginosa* [24], *Escherichia coli* O157:H7 [30–32], *Listeria monocytogenes* [30], *Staphylococcus aureus* [33], *Bacillus fastidiosus*, and *Salmonella choleraesuis*, among others [30,32,34–36]. Although BC are generally deemed safe for human consumption, it is still important to conduct toxicity studies before introducing them to the food market.

The composition of meat can cause rapid LA and PA, leading to a shorter shelf-life and poor quality proteins, resulting in economic losses for the meat industry [17,37]. In industrialized countries, there is a demand for healthier, high-quality proteins with a longer shelf-life [21]. By utilizing BC such as PE and EO, the meat industry can naturally extend the shelf-life of MP while improving their quality and safety. This can lead to economic benefits for the industry while meeting the needs of health-conscious consumers who demand high-quality, natural food products.

Bioactive compounds from medicinal plants and spices can be utilized in various forms such as PE, EO, oleoresins, powders, fruits, stems, and flowers, and at different doses ranging from 0.025% up to 2.5% w/w, w/v, v/v [13,25,38–40]. Although much research has already been done on the use of BC in the meat industry, there are still gaps in knowledge regarding the utilization of natural compounds to replace or reduce synthetic antioxidants.

Oxidation of lipids and proteins

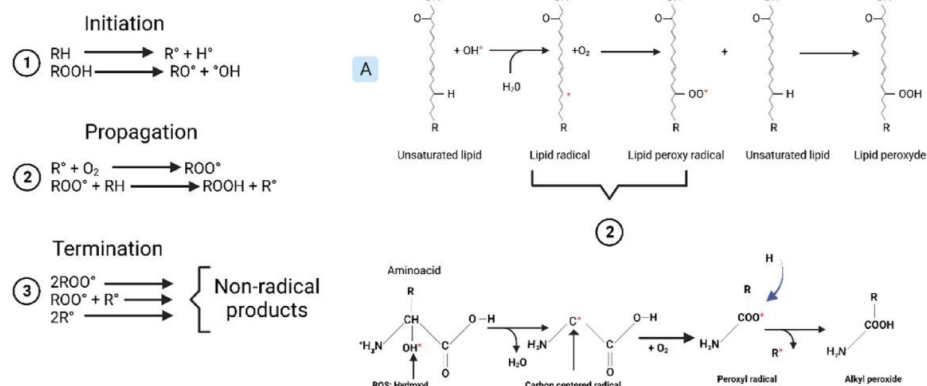


Fig. 1. The chain reaction oxidation that includes three phases: (1) reaction initiation, (2) propagation and (3) termination. Adapted from Refs. [26, 42,86]. Created with BioRender.com [88].

One of the biggest challenges in the meat industry is extending the shelf-life of MP without compromising their quality and safety. Incorporating BC can improve the nutritional value, taste, oxidative stability, and protect consumers from free radicals that can cause chronic diseases. Therefore, this review aims to provide a discussion on how BC impact the meat and MP preservation, and how they can be utilized for preservation purposes. By examining the existing research on this topic, we hope to provide a better understanding of the benefits and limitations of using BC in the meat industry.

Table 1. Main bioactive compounds used in food and action against microorganisms

Table 1
Main bioactive compounds used in food and action against microorganisms.

Author	Product and effect	Bioactive components and production plant	Inhibited microorganism	Antioxidant effect	Use in food and/or MP, dosage, and effect
[23,89]	Grape by-product extracts	Catechins, epicatechins, gallic acid and procyanidins.	<i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Escherichia coli</i> O157:H7, <i>Enterobacteriaceae</i> and <i>Pseudomonas</i> sp	Less than 3 mg MDA/kg, 0.74 mg MDA/kg chicken for 9 months.	Hamburgers, salami, 2.5% ^a microbiological stability of salami. ^v aerobic mesophilic bacteria.
	Antioxidant	<i>Vitis vinifera</i>		Antioxidant activity is due to the ability to sequester radicals, chelate metals, and synergize with other antioxidants	In frozen chicken
[67]	Thyme	Monoterpenes, sesquiterpenes, phenols, alcohols, ethers, aldehydes, and ketones.	Reduction in the population of <i>Listeria Monocytogenes</i>	ND	Fish burgers, chicken breast and low-fat hot dogs ^c beef, ND ^v initial count of viable cells.
	Antiviral, antifungal, antioxiogenic	<i>Thymus vulgaris</i>			
[30]	Thyme EO	Thymol, paracymene, carvacrol, gamma-terpinene, alpha-pinene, alpha-thujene.	<i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> , and <i>Salmonella Typhimurium</i>	In the DPPH assay, EO were capable of capturing 83.1% of ROS while the encapsulated oil only 5.1%. This occurred because BC interacted with the wall material, prohibiting full release.	Hamburger-like meat product, 1 g/100 g of spray-encapsulated EO is effective in regulating LAB and antimicrobial activity for up to 14 days.
	Antioxidant, antimicrobial	<i>Thymus vulgaris</i>			
[35]	Cinnamon	Cinnamaldehyde and Eugenol.	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> and <i>E. coli</i>	ND	Meat, 0.8, 1.2, 1.6 and 2% ^v antibacterial activity and maintains the properties of the meat.
	Antimicrobial	<i>Cinnamomum zeylanicum</i>			250–500 ppm preserve ground beef meat for 14 days at 2 °C
[32,52]	Nettle aqueous extract	Ascorbic acid, phenylpropanes derived from shikimic acid, caffeic acid, chlorogenic acid, caffeoylmalic acid, beta-carotene.	Mesophilic, psychrotrophic and lactic acid bacteria, <i>Pseudomonas</i> , <i>Enterobacteriaceae</i> count, <i>E. coli</i>	Prevents the formation of free radicals during lipid oxidation	
	Antioxidant, antimicrobial, antiviral	<i>Urtica dioica</i> L.		500 ppm is more effective than nitrite/nitrate and BHT	Bioactive coatings preserve trout fillets quality for 15 days at 4 °C.
[49]	Quinoa seed and buckwheat flour	Polyphenols.	Total viable MO count.	The addition of buckwheat flour to the burgers resulted in reduced lipid oxidation during storage for 120 days	Burgers with 15 and 30% of flour provides high quality protein to feed, ^v oil absorption. ^v MAD production
	Antioxidant, antimicrobial	<i>Chenopodium quinoa</i>			
[81]	Moringa ethanolic-aqueous extract	Galic acid, rutin, vicenin-2, quercetin-3-O-glucoside, coumaric acid, b-carotene, N, a-1- ^a hammopyranosyl ^l vincosamide.	Total viable count and lactic acid bacteria	Delays lipid oxidation	Ground beef, 0.5 and 1 g/kg of meat. ^v microbial growth compared with control and BHT.
	Antioxidant, antibacterial	<i>Moringa oleifera</i>			
[9]	Algae extract (brown, red, green) Antioxidant, antimicrobial, antiviral	Alginate acid, laminarin and fucoidan, ulvan, carrageenan, xylan, galactan, porphyran, catechins and carotenoids	ND	Reduces the TBARS index	Raw and cooked pork patties, burgers, meat sauces, 0.001–.01%, ^a MP shelf life, ^a nutritional properties, promotes functional properties.
	Antioxidant	<i>Cinnamomum zeylanicum</i>	<i>Aeromonas veronii</i> , <i>Acinetobacter johnsonii</i> , <i>Shewanella putrefaciens</i> and <i>Pseudomonas jesseni</i>	ND	Carp fillets, 0.1% ^{v/v} in an emulsion. ^v the growth of putrefactive and cadaverin, ^a the shelf life by 4 days more than the control
[76]	Cinnamon oil	Terpenes, terpenoids, phenols.			Lamb ground meat, ND, ^a lipid stability, deactivates free radicals
	Antimicrobial	<i>Cinnamomum zeylanicum</i>			
[41]	Camu-camu	Anthocyanins, flavonoids, carotenoids, ascorbic acid.	ND	Stabilizes lipid free radicals into less reactive forms.	Kasakh-style horse meat smoked and cooked, 0.5–1.0%, ^a texture, smell, flavor, nutrients, oxidative stability.
	Antioxidant	<i>Myrciaria dubai</i>			
[28]	Goji Extract	ND	<i>Staphylococcus aureus</i>	Protects against lipid oxidation	
	Antimicrobial, antioxidant	<i>Lycium barbarum berry</i>		Reduces lipid peroxidation	

MP: meat products; ^v: reduce; ^a: improve; ND: not described; EO: essential oil; LAB: lactic acid bacteria; MO: microorganism.

Biochemistry of lipid and protein oxidation in MP

Meat contains a high number of oxidizing agents. When meat becomes rancid, appears discolored, loses water and nutrients, and forms toxic compounds from the denaturation of the lipids and proteins, it has become oxidized and is no longer safe to eat [26,40]. Oxidation in food is known as auto-oxidation since it occurs *in situ*. It is the loss of at least one electron from meat and MP exposed to oxygen during handling and is the most important cause of non-microbial quality loss [10,26]. During lipid oxidation in meat and MP, degradation of unsaturated fatty acids occurs, forming aldehydes, ketones, and alcohols that confer the reheated flavor characterized by a cardboard-like, and rancid-odor taste [17].

One of the main aldehydes generated during secondary lipid oxidation is MDA, which is used to measure the oxidation process of lipids [19]. Lipid auto-oxidation is described in Fig. 1 (A), which is a chain of three processes that include initiation, propagation, and termination reactions. Undesirable flavors and odors are attributed to the production of volatile compounds of radical fatty acids (such as superoxide anion, hydroxyl [LOH], peroxy [LOO], hydroperoxy [HO2], lipid radical [RO], nitric oxide [LNO], nitrosyl cation [LONH₂], and hydroperoxides [LOOH]) [17,41,42].

Proteins and amino acids are another medium where oxidation reactions occur (Fig. 1 B). These reactions generate cytotoxic substances such as ROS (peroxyl radicals [LOO], alkyl peroxide [LOOH], carboxyl [LCOOH], alkoxyl [LO], hydroxyl [LOH]), as well as biogenic amines and their precursors (histamine, cadaverine, tyramine, putrecine, tryptamine, histidine, lysine, tyrosine, ornithine and tryptophan) [43].

Guedes-Oliveira et al. [41] reported an example of lamb hamburger meat treated with 100 mg/kg of *Myrciaria dubia* leaf and seed extract for 9 days at

4 °C not successfully delaying the PA. These treatments exerted a pro-oxidant effect on the protein-liposome system and did not stop the formation of protein carbonyls. Huang et al. [44] observed PA by evaluating the production of eight biogenic amines (tryptamine, phenylethylamine, putrescine, cadaverine, histamine, tyramine, spermidine and esperimine) in refrigerated carp fillet (4 °C for 12 days) treated with cinnamon bark oil (0.1% v/v). They observed cinnamon bark oil delay the increase of putrescine and cadaverine and MO from the control, but not in the other amines studied. This is attributed to the antimicrobial effect due to cinnamaldehyde of cinnamon oil on some bacteria (*Aeromonas* and *Shewanella*) that produce biogenic amines.

Cinnamaldehyde is the main BC of cinnamon bark oil, which contains between 50 and 90% of this compound, as well as minor concentrations of eugenol, linalool, and alpha-pinene. Cinnamaldehyde has been found to have the ability to inhibit the production of essential enzymes and damage the cell walls of bacteria. However, *Pseudomonas* is highly resistant to cinnamon bark oil as the lipo- polysaccharides present in their outer membrane can prevent cinnamaldehyde from effectively penetrating it. Despite this resistance of *Pseudomonas* to cinnamon bark oil, it remains an effective natural antimicrobial agent against many other types of bacteria commonly found in food products.

The color of meat is the first attribute of quality that the customer perceives, and it is mainly conferred by hemoglobin and myoglobin [9]. Myoglobin is a highly reactive sarcoplasmic protein composed of globin with a heme group at its center, which is a prosthetic group responsible for color and binding to other molecules, giving it an oxide-reduction property [45].

When myoglobin is present along with Fe in the reduced state, it generates a purple-red hue. This form of myoglobin is known as

deoxymyoglobin. On the other hand, when oxymyoglobin is accompanied by reduced Fe, it produces a bright red color. Metmyoglobin is produced in the presence of oxidized Fe, resulting in a grayish-brown color [46]. During these reactions, intermediate reagents can be generated that have the potential to catalyze the oxidation of unsaturated fatty acids [45,47]. Furthermore, Fe can react with substances such as carbon monoxide, sulfites, or ascorbates, leading to the production of carboxyhemoglobin, sulfmyoglobin, and cholemyoglobin, which can manifest as green colors [36].

Meat oxidation damages the texture, smell, flavor, and color, which impacts storage life and generates economic losses and food waste. Therefore, it is important to protect MP against microbial deterioration and oxidation of lipids, proteins and heme groups.

Quality and shelf life of meat products

The quality of MP is determined by their physicochemical and sensory characteristics such as available nutrients, color, smell, and texture. Loss of these characteristics due to various factors such as lipid oxidation is the main reason for the degradation of MP quality [48]. Traditional preservation techniques such as smoking, curing, fermenting, salting, adding plant extracts, and controlling animal diets have been used to extend the shelf-life of MP. Nevertheless, the shelf-life of MP has been found to be enhanced by emerging techniques such as vacuum packaging, bio-packaging or edible films, incorporating synthetic antioxidants, or a mixture of these approaches [20,49–51]. In particular, retarding lipid oxidation can be improved by combining multiple preservation techniques such as using bioactive films, modified atmospheres, nanoencapsulation, and nanofibers [32,52].

The shelf-life of a MP is defined as the amount of time until the degradation of organoleptic characteristics, leading to quality loss, and product

rejection. MP are more susceptible than meat to microbial deterioration, oxidation of lipids, proteins, and pigments, is due to the fact the muscular membranes have already disintegrated due to grinding, and that they have greater contact with surfaces, oxygen, and human manipulation [39]. For these reasons, preservatives are being developed to maintain the quality and shelf life of MP for longer periods [17,53].

Shelf life is measured by color coordinates, microbiology, sensory evaluation, and nutrient oxidation. The proper use of BC as natural antimicrobials added to MP has the effect of prolonging conservation by preventing microbial contamination by pathogens, and reducing antibiotic resistance of MO [23,34].

As one example, Vergara et al. [54] used oregano (*Origanum vulgare*) mixed in the form of oleoresin or EO (at a concentration of 0.08% w/w) and vacuum packaging, and then evaluated the quality characteristics of pH and color coordinates (lightness: L*, red/green: a* and yellow/blue: b*), along with the shelf life of lamb burgers including LA and MO growth (total viable count, *Enterobacteriaceae*, *Pseudomonas* Spp. and lactic acid bacteria [LAB]). In conclusion, they observed that this method preserved the meat with better color than the control for 14 days, with an acceptable pH of 5.6, and stopped the formation of MAD/kg at the same time. Oregano has the ability to prevent rancidity and prolong the shelf life due to the presence of phenolic compounds such as luteolin, quercetin, naringenin, and pinocembrin. The antioxidant capacity of oregano plays a crucial role in achieving this effect.

As another example, Cozar [53,55], studied the combined effect of vacuum packaging in combination with spice powder (rosemary, thyme, sage and garlic at a concentration of 0.1% w/w) with lamb burgers, analyzing color coordinates, and MO count (including total viable count, *Pseudomonas* spp,

Enterobacteriaceae and LAB), and reported that the effect of rosemary (*Salvia ros- marinus*), thyme (*Thymus vulgaris*) and sage (*Salvia officinalis*), was more effective in delaying discoloration and rancidity for 13 days than garlic (*Allium sativum*) and control treatments.

By combining packaging techniques with the addition of plants that are rich in BC such as borneol, verbenone, camphor, alpha- pinene, thymol, terpinene, and linalool, it is possible to maintain the quality characteristics of MP. This approach can effectively help to preserve the quality of meat and extend its shelf life.

When Al-Juhaimi et al. [22] added 2, 4, or 6% of *Moringa oleifera* seed fluorto beef patties and evaluated the results, they found that the shrinkage parameters, including raw and cooked thickness, as well as raw and cooked diameter, decreased as the percentage of moringa increased. However, fat retention, moisture retention, and cooking yield increased proportionally with higher percentages of moringa powder. In addition, the organoleptic characteristics of general acceptability, juiciness, flavor, taste, and tenderness were maintained for up to 21 days, compared to the control group that was acceptable for only seven days.

Moringa oleifera is a legume that is rich in high-quality fats and antioxidants with high activity such as ascorbic acid, flavonoids, phenols, and carotenoids. Due to these properties, *M. oleifera* can be effectively used to extend the shelf-life of MP. The antioxidants present in *M. oleifera* play a significant role in reducing oxidative damage by scavenging free radicals, thereby preventing lipid oxidation and protein degradation. In addition, the high-quality fats found in *M. oleifera* can help to inhibit the growth of spoilage microorganisms. Therefore, the use of *M. oleifera* as a food ingredient can be beneficial in extending MP shelf-life.

In a study by Jayathilakan et al. [8], the addition of 250 mg/100 g of powdered cloves (*Syzygium aromaticum*) to lamb, beef, and fresh minced pork resulted in greater antioxidant activity compared to 500 parts per million (ppm) of BHA, PG, ascorbic acid. The study also compared this to the addition of 250 mg/100 g cinnamon per meat, highlighting the superior ability of some clove BC, such as eugenol, in controlling lipid oxidation compared to synthetic antioxidants. Another study by Fadiloglu and Çoban [56] found that adding 1% of Goji Berry liquid extract (*Lycium barbarum* L.) to smoked meat resulted in extended shelf-life of carp sausages by reducing microbial counts, improving the color and odor of the sausage, and preventing lipid oxidation. This demonstrates the effectiveness of natural additives in improving the quality and extending the shelf-life of MP compared to synthetic antioxidants.

In their study, Al-Juhaimi et al. [22] observed that the addition of up to 6% (w/w) of Moringa seed flour in beef patties resulted in improved cooking yield, shelf-life, aerobic microbial stability, and consumer preference in refrigerated conditions. This indicates that *M. oleifera* seed flour can be used as a natural additive in MP to enhance their quality and extend their shelf-life.

In contrast, Aquilani et al. [31] observed that the addition of fish oil to pork burgers resulted in reduced protein content and water retention during the cooking process compared to the control group. They also found that burgers treated with fish oil had an undesirable color over the L^* parameter. These observations indicate that even among BC, there may be specific mechanisms of action that do not necessarily lead to the improvement of meat product quality, but may actually deteriorate it and cause rejection. Therefore, it is important to carefully evaluate the use of different BC and their concentrations in MP to determine their effectiveness in enhancing their quality and extending

their shelf life.

Biochemistry of bioactive compounds

Bioactive compounds used in MP can be obtained from different sources, such as crustaceans (e.g. chitosan), plants (e.g. extracts and essential oils), and microorganisms (e.g. bacteria that generate bacteriocins and organic acids). Among these sources, plant-derived BC are often preferred for use in MP due to their antimicrobial properties against human and plant pathogens, as well as their ability to extend shelf-life [34,57,58].

Plant-derived BC can be obtained through various methods such as extractions, distillations, fermentations, or enzymatic processes. They are considered safe and have been extensively studied for their beneficial effects on human health, making them a desirable choice as a natural additive in MP.

Efficient extraction of bioactive compounds is needed for the food industry. For that, hybrid technologies combine different processes (conventional and non-conventional) [59]. The new methods being used lead us towards more environmentally friendly technologies and less reliance on chemicals. However, it is crucial to ensure that these techniques are safe without affecting consumer acceptability and this needs proper validation.

There is a need for improving laborious methods (soxhlet, hydro distillation, water distillation, maceration, cohobation, heating reflux extraction) to reduce time, and costs, preserve compounds, and reduce environmental disposal problems. For instance, novel green extractions are ultrasound-assisted extraction (UAE), microwave-assisted extraction (MAE), high pressure, pressurized liquid extraction (PLE), negative pressure cavitations-assisted extraction, subcritical water extraction, supercritical fluid extraction, enzyme-assisted extraction, pulsed electric field-assisted

extraction, and accelerated solvent extraction. These green techniques are called e3 and include six principles: 1) well- defined sourcing; 2) limiting the organic solvent usage; 3) minimizing consumption of energy; 4) by- product generation with high potential of valueaddition; 5) lessening the duration of extraction and 6) natural ingredient recovery [60]. Some of limitations of these techniques are that they areexpensive and may not be useful at large-scale level [60].

Junsathian et al. [61] studied three different extraction methods (ethanol extraction, microwave-assisted extraction and ultrasonic-asissted extraction) over the total phenolic content, total flavonoids content, antioxidant activity (DPPH and FRAP assay) and antimicrobial activity of six Thai edible plant leaf extracts. They found that MAE improved the antioxidant and antimicrobial efficacy of the leaf extracts in comparasion of ethanol extraction and UAE. All the techniques was doing at a ratio of 1:30 g/mL powder/solvent at 25 °C for 60 min, except for MAE, that was for 60 s. Overall, there is a need for comparing the most efficient techniques of extraction with the best antioxidant and antimicrobial activitiesand with the least and safest amount of solvent.

In this regard, Borges et al. [62] evaluated different extraction techniques (solid-liquid, UAE, Soxhlet and MAE) with different solvents (water, methanol, ethanol, acetone, dichloromethane, and hexane), and they found that ethanol and acetone provided the best extraction of bioactive compounds, and the best antioxidant and antimicrobial activity. Then, Soxhlet and MAE were the best extraction methods to obtain BC and with higher antimicrobial activity.

In their research Garofulic et al. [63] evaluated the effect of MAE, PLE and conventional heat-reflux extraction techniques on *Urtica dioica* leaves as to the antioxidant capacity assessed by ORAC assay. MAE was the best

technique for isolation BC (phenolics). Then, PLE had higher extraction of total BC and antioxidant capacity and had antimicrobial activity against *Pseudomonas fragi* and *Campylobacter jejuni*. The adverse effects resulting from BC consumption are rare [64]; however, it is important to conduct toxicological assessments to eliminate any possible negative effects. In the United States, this evaluation follows the EFSA guidelines, which outline the steps for performing safety assessments of food additives, involving a tiered toxicity testing process. The FDA also follows the guidelines detailed by the toxicological Principles for the Safety Assessment of Direct Food Additives and Color Additives Used in Food, commonly referred as the Redbook [65]. Within the European Union, EFSA categorizes the assessment process into three tiers. Tier 1 requires minimal data for all substances, while Tier 2 is mandatory for compounds that demonstrate *in vitro* toxicity or genotoxicity in the gastrointestinal system. Finally, Tier 3 should be conducted after Tier 2 if the BC demonstrates bioaccumulation, *in vivo* genotoxicity, and chronic toxicity [66].

As evidenced in Table 1, many plants have been a great source of BC in the form of vegetal material, plant extracts or essential oils, which have promising antimicrobial and antioxidant bioactivity in both *in vitro* and *in vivo* assays. These BC interact with the pH, water, fats, and proteins of MP, which can have implications for their overall quality and shelf-life [53–55,67]. This is because BC are functional groups of molecules that can destabilize the lipid bilayer of microorganisms, leading to the degeneration of the cell membrane and, eventually, the death of the microorganism [30,31]. This mode of action makes BC a desirable choice for use in MP to improve their safety, quality, and shelf-life, especially in the absence of synthetic preservatives. However, it is important to note that the effectiveness of BC can be influenced by factors such as concentration, pH, temperature, and the type of MO present, among others. Therefore, it is crucial to carefully evaluate the use of different BC and

their application in MP to optimize their effectiveness and ensure their safety.

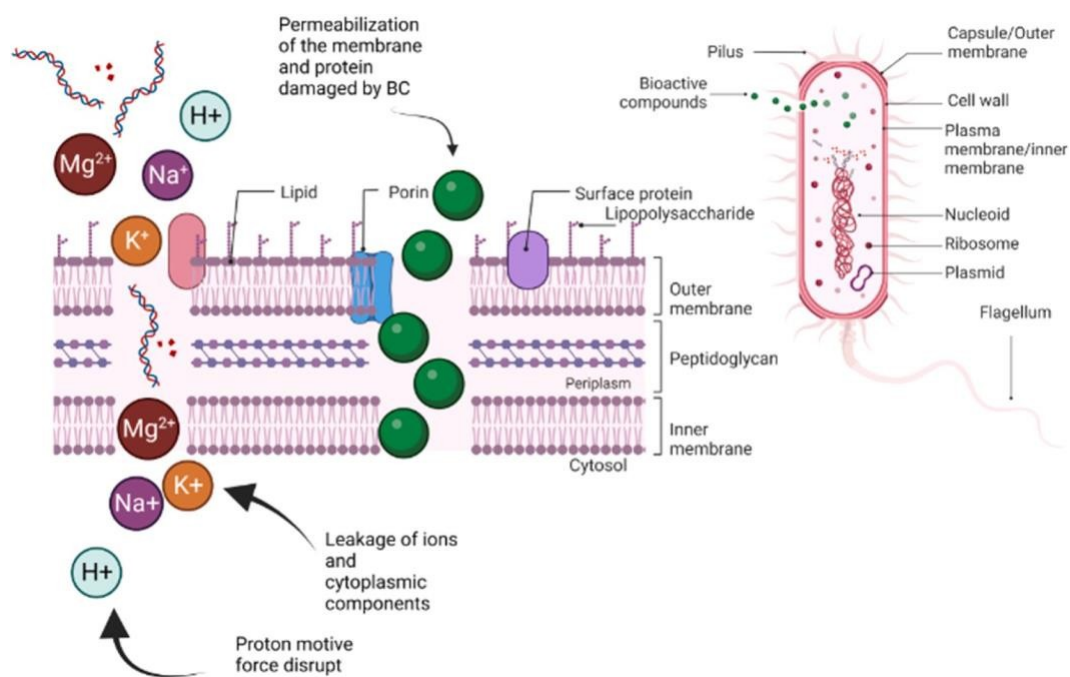


Fig. 2. Effect of BC on bacterial cells. Adapted and modified from Hao et al. [76] Created with BioRender.com [88].

Vegetal material

Plants have been utilized for various purposes for thousands of years, including as a source of food, medicine, and food additives in order to impart flavor, color, and aroma, or to extend the shelf-life of perishable foods [24,64]. Given their historical and continued use, it is essential to identify and document the plants and their phytochemical profiles that have the potential for use in preserving and improving the characteristics of MP [11,24,31,32,39,68–70].

The use of BC as additives require the use of safer and non-toxic techniques [71]. Some extractions are difficult to do with traditional organic solvents (acetone, methanol, isopropyl alcohol, dimethyl sulfoxide, dimethylformamide, and pyridine) which commonly induce acute toxicity and carcinogenicity [72,73]. Some solvents such as chloroform is useful extracted terpenoids, flavonoids, fats and oils but it has sedative and carcinogenic property [74].

The traditional use of these plants suggest potential applications in the development of new natural products for the preservation of meat. Overall, understanding the potential of plant-derived BC can aid in the development of more effective and sustainable approaches for meat preservation that align with consumer and industry demands for natural and minimally processed foods.

Essential oils

Essential oils (EO) are natural plant extracts made up of volatile compounds such as terpenes, polyphenols, and fatty acids, which give them a strong odor [64,75]. EO are oily liquids that are obtained through stem and seed distillation and have been used in MP as an attractive alternative to synthetic antioxidants [30,67]. The main BC with high antimicrobial activity contained in EO are terpenes, terpenoids, and phenylpropanoids [76].

However, the antimicrobial activity of BC contained in EO can be influenced by factors such as pH, fats, carbohydrates, proteins, water, salt, antioxidants, preservatives, and extrinsic factors such as temperature, vacuum packaging, and microorganisms [67]. Essential oils have the best antimicrobial activity at pH values of 5–6 and tend to behave in a more hydrophobic way at acidic pH levels, making it easier for them to enter bacterial cells [67,77].

Since EO are lipophilic, they can easily enter bacterial cells and permeabilize and/or break through the bacterial cell membrane, as depicted in Fig. 2 [64,78]. When this happens, there is a loss of K^+ , Mg^{2+} , and Ca^{2+} ions, which causes a reduction in pH [76]. In eukaryotic cells, EO cause depolarization of the external and mitochondrial membrane, which makes the membrane abnormally permeable [64,67,79]. This can lead to the leakage of radicals, the collapse of the proton pump, and the depletion of ATP, cytochrome *c*, ions, and proteins, ultimately causing apoptosis, necrosis, and cell death [58,68]. In summary, EO have demonstrated promising antimicrobial and antioxidant properties, making them an attractive option for use in meat preservation and enhancement.

Despite the potential of EO for MP preservation, it has been reported that they are highly volatile, which can decrease their effectiveness over time. One solution to this issue is to encapsulate, nano encapsule EO or incorporate them into slow-release biofilms, which can ensure their optimal use as preservatives. Encapsulation involves enclosing the EO in a protective coating material, such as liposomes or cyclodextrins, which can prevent the EO from evaporating or reacting with other components in the meat product, while also controlling the release rate of the EO [51,80]. Slow-release biofilms, on the other hand, are composite materials that can be used as coatings or packaging films, which release EO over time as the meat product undergoes natural deterioration, thereby extending its shelf-life [50]. When nanoparticles are ingested, they can

take different biological pathways in the gastrointestinal system. These particles can be completely absorbed, partially digested and slowly release their encapsulated compounds, resist digestion and be excreted from the digestive system, or go across the intestinal epithelium and enter the bloodstream. Nanoparticles can also absorb gastrointestinal enzymes, which can alter the normal digestion process and accumulate in tissues, leading to toxic effects. Therefore, it is important to conduct thorough toxicological assessments of nanomaterials before they are introduced into the food market, to ensure the safety of the products for consumers. This includes assessing how the particles are absorbed, metabolized, and excreted, as well as evaluating any potential toxicity or harmful effects of the nanoparticles on human health [66].

The use of encapsulation or slow-release biofilms can help reduce the amount of EO needed to effectively preserve the meat product, while also minimizing any potential negative impacts on the sensory properties of the meat product [11,21,30,80]. Additionally, these approaches may also improve the overall safety of the meat product, as the encapsulation or biofilm coating can act as a barrier against harmful microorganisms and as a controlled release system for the EO [30]. Overall, the use of encapsulation or slow-release biofilms offers a promising approach to make the most of the antimicrobial and antioxidant properties of EO for meat preservation.

Plant extracts

Plant extracts (PE) are biological materials that have been washed, dried, ground, and extracted with solvents such as water, ethanol, methanol, a mixture of these, and acetone, among others [24,29,81]. The main compounds in PE can reach concentrations of up to 85%, such as polyphenols like gallic acid, caffeic acid, quercetin, luteolin-7-O-rutinoside, and epigallocatechin, with the remaining compounds being minor components that are essential for

synergistic preservation properties [67].

Plant extracts can prevent the formation of free radicals and slow down oxidation, as demonstrated in the case of nettle extracts, which showed greater antioxidant activity in ground beef and lower rates of TBARS compared to synthetic preservatives like BHT, nitrites, nitrates, quercetin, and alpha-tocopherol [32]. This antioxidant effect is attributed to the phenolic compounds, beta-carotene, and vitamin C contained in the nettle plant (*Urtica dioica* L.) [52].

Plant extracts containing BC with high antioxidant and antimicrobial activities that are used to extend the shelf-life of MP. However, it is important to evaluate the most appropriate way to preserve different meat matrices and determine the specific mode of action of the PE to avoid lipid oxidation, protein oxidation, oxidation of myoglobin, or the development of microbial deterioration. By understanding the most effective use of PE in addressing these issues, the meat industry can develop new and innovative approaches to meat preservation that aligns with consumer preferences for natural and minimally processed foods.

Antioxidant activity of bioactive compounds

The most important BC in PE are phenolic compounds, terpenes, and alkaloids [34,82,83]. Phenolic compounds, such as flavonoids, hydroxybenzoic acids, and hydroxycinnamic acids, have a chemical structure that consists of an aromatic ring with one or more hydroxyl groups. These compounds have a relatively simple molecular structure and can also undergo high degrees of polymerization [13,17,31,36]. Flavonoids, phenolic acids and polyphenols have oxidation reducing capacity, as they can donate hydrogen atoms and deactivate singlet (or excited) oxygen, and chelate pro-oxidant metal ions [7,11]. Flavonoids, for example, are widely distributed in plant

tissues and vegetables. Hydroxybenzoic acids, such as gallic acid, are also found in plants and are used as a classic reference material to test free radical-scavenging activities [42].

Phenols are polyhydroxy aromatics with the ability to prevent trapping, eliminate free radicals (hydroxyl, peroxy and superoxide), inhibit lipoxygenase and cyclooxygenase enzymes (causes of rancidity) [11,47]. Hydroxycinnamic acids, such as caffeic acid and ferulic acid, are involved in numerous biological functions related to antioxidant, anti-inflammatory, and antimicrobial activities, as well as cell proliferation and apoptosis [28]. Terpenes, on the other hand, are synthesized from five-carbon building blocks known as isoprenes units of five carbons that may be encountered in either a simple or polymerized molecular structure, and can contain oxygen atoms that confer various chemical functions and are also found in PE [34]. Terpenes are known for their antimicrobial and antioxidant properties, as well as their ability to modulate immune responses and exhibit antitumor activities [31,36].

Finally, alkaloids are a diverse group of nitrogen-containing cyclic organic compounds that can be found in various plants and have been studied for their antimicrobial, anti-inflammatory, and antitumor properties. That are synthesized from amino acids by living organisms such as plants [79]. This group includes compounds with a potential effect on the nervous system. Some examples of alkaloids found in PE include quinine, caffeine, and morphine [31,79].

Zeb et al. [42] reported several mechanisms that explain the antioxidant action of BC.

i. Hydrogen atom transfer (HAT): In this mechanism, the antioxidant donates a hydrogen atom to a free radical, stabilizing it and

converting itself into a radical. The radical is stabilized, forming neutral species (RH, ROH, or ROOH) while the antioxidant is converted to an antioxidant free radical ($A^\bullet$). This mechanism is mainly observed in phenolic compounds.

ii. Single electron transfer (SET): The formation of anion R results in a stable species with an even number of electrons. The cation radical $ArOH^\bullet$ is also a stable species as it is less reactive. When $ArOH^\bullet$ reacts with a free radical, it forms an odd electron that can be distributed over the entire molecule. This arrangement creates an aromatic structure.

iii. Single electron transfer-proton loss-electron transfer (SPLET): In this mechanism, the BC donates a proton to a free radical, forming an anion, which then donates an electron, forming a stable molecule. The proton-donating ability and the electron transfer enthalpy are calculated to determine the antioxidant activity. This mechanism is more thermodynamically favorable in water and is thus best suited for phenolic compounds. For diterpenes and coumarins, the polar environment has been reported to favor this mechanism.

iv. Transition metal chelation (TMC): In this mechanism, the polyphenols chelate transition metals (copper, manganese, or cobalt) forming stable products, preventing it from participating in the Fenton reaction. TMC can directly inhibit Fe^{3+} reduction, consequently reducing the formation of reactive OH-free radicals. Phenolic acids and flavonoids have strong free radical scavenging potential. The ligands of polyphenols strongly stabilize Fe^{3+} over Fe^{2+} . This process is called auto-oxidation [42].

Overall, the antioxidant action of BC is complex and can involve multiple mechanisms depending on the compound and the conditions in which it acts. The BC can offer numerous potential benefits for meat preservation and enhancement. Studies have demonstrated the superior antioxidant efficacy of phenolic compounds found in plant extracts to protect meat lipids better than synthetic antioxidants [46,72].

For instance, the addition of 2% of certain EO antioxidants such as thujone, camphor, alpha and beta pinene from sage (*Salvia officinalis*) and cannabinoids, flavonoids, tetrahydrocannabinol, cannabidiol and phenolic acids from cannabis (*Cannabis sativa*) to gelatin coatings on refrigerated pig loin reduced the values of MDA and metmyoglobin (MetMb) compared to the control. Similarly, the addition of sage and cannabis (1:1%) to meat resulted in the highest color stability and the lowest weight loss after 12 days due to their antioxidant activity, which reduced lipid oxidation and thus slowed down LA and PA in pork [47].

In another study, walnut leaf powder containing phenols showed lower LA compared to the control and BHT in chicken burgers [84]. These findings suggest that alkaloids and phenolic compounds found in plant extracts offer excellent potential for natural antioxidant intervention in MP.

Antimicrobial activity of BC

Microbial spoilage in MP can result in the production of biogenic amines and volatile organic compounds due to protein decomposition by MO action. Biogenic amines such as inosine and hypoxanthine can produce undesirable putrid and bitter flavors that consumers are likely to reject [76]. Bioactive compounds found in PE have been shown to be effective in controlling the growth of foodborne pathogens, which can help delay the production of biogenic amines and extend the shelf-life of MP [11,67].

Consumers today are increasingly interested in MP that are preserved using natural ingredients, such as plant extracts. The ability of these natural preservatives to delay the production of biogenic amines and other spoilage compounds offers numerous benefits for the meat industry, including longer shelf-life, increased consumer satisfaction, and reduced food waste. As a result,

more research has been focused on exploring the capabilities of BC for improving meat quality, safety, and shelf-life.

Bioactive compounds can be used alone or in combination with active packaging technologies to improve the sustainability, safety, quality, and shelf-life of packaged foods. When used in combination, they create physical, chemical, and biological interactions that alter the native environment of the packaged food, resulting in extended shelf-life and improved product quality [10,31,50].

Meat products generally have a shorter shelf-life than whole meat due to their more porous structure resulting from processes such as grinding. This creates an environment that is more favorable for the proliferation of microorganisms, which can lead to spoilage and potential food safety concerns [53,76,84]. The use of BC and active packaging technologies can help to overcome these issues by slowing down the growth of microorganisms and inhibiting the production of spoilage compounds. This can extend the shelf-life of MP, reduce food waste, and improve product safety and quality. In summary, the use of BC alone or in combination with active packaging technologies offers a promising approach to improve the sustainability, safety, quality, and shelf-life of MP.

In a study by Elhadi et al. [85], it was found that untreated chicken burgers have a shelf life of only 4–10 days. However, by adding 100 g/kg of moringa leaf powder to the burgers, the physicochemical composition was improved, with increased levels of fat, protein, and ashes (30 g/kg, 20 g/kg, and 7 g/kg, respectively). This treatment also reduced peroxide production for 12 days and inhibited the growth of total coliforms, *Escherichia coli*, and *Staphylococcus aureus*.

Essential oils are known to be effective in inhibiting the growth of microorganisms in MP due to their lipophilic nature, which increases bacterial cell permeability and leads to the loss of ions and cytoplasmic constituents (Fig. 2), as well as distortions in lipid-protein interaction, interference with ATPase, disruption of proton force and electron flow, and cytoplasmic coagulation [76]. For example, cinnamon EO has been shown to have strong antimicrobial activity against *Pseudomonas putida* found in meat [35]. In addition, aqueous nettle extracts have been found to inhibit the growth of various bacteria (*Pseudomonas aeruginosa*, *Proteus mirabilis*, *Citrobacter koseri*, *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus pneumoniae*, *Micrococcus luteus*, and *Staphylococcus epidermis*) found in ground beef and trout fillets [52].

While many BC found in essential oils and plant extracts have antimicrobial properties that can prolong the shelf-life of MP, high doses can also induce pro-oxidant effects in meat matrices. It is important to carefully consider and optimize the amounts to be used to ensure their effectiveness without causing any unwanted effects.

Application and concentration of bioactive compounds in meat products Bioactive compounds added to MP can prevent the formation of oxidized compounds that occur during processing, heat treatment, smoking, fermenting, or curing [86,87], and can also help to control the deterioration of the meat by initially reducing the viable microbial population [67]. However, BC have limitations in their use due to their low stability, volatility, and high sensitivity to environmental factors. These compounds can also negatively affect the sensory properties of the food if not used in appropriate doses [30,76]. Despite these limitations, one major advantage of BC is that they are generally safe to use in food products extremely high concentrations would need to be ingested on a daily basis to cause any negative effects on human health [31,69]. Table

1 provides an overview of the use and dosage of various BCs and their effects on MP. As demonstrated by Elhadi et al. [85], BC should be used in low doses in MP because they can negatively affect their sensory characteristics [53]. When: 100 g/kg of moringa leaf powder was added to chicken burgers, people found the color, flavor, tenderness, and juiciness inferior to the control.

Alp & Aksu [3] observed that the efficiency of adding 500 ppm of nettle extract in ground meat is better than adding 250 ppm (Table 1). The applied dose of extract reduced LA but did not have a beneficial effect on the red color (a^*), which caused product rejection. In another assay, Boruzi and Nour [84] used 0.5% walnut leaf powder to preserve refrigerated pork burgers (4 °C) for up to 15 days, with better results in appearance, color, flavor and general acceptability in comparison with 0.1% BHT.

Continuous research is required to develop the most efficient natural preservatives that can extend the shelf life of food, improve its sensory properties, ensure its safety for human consumption, and be environmentally friendly. The use of BC in meat preservation must also be studied continuously to achieve these goals. To ensure the reproducibility of results, it is necessary to report the processes required to obtain BC, the appropriate doses, and the different forms of use in various meat matrices.

Conclusions

Meat and MP have a pro-oxidant matrix that can result in the formation of ROS and RNS in spoilage and decreased shelf life. However, adding PE or EO with BC which contains various phenolic antioxidants, as a natural alternative to synthetic preservatives, has been shown to improve the shelf-life of meat and MP when used in doses ranging from 0.025 to 2.5% in combination with emerging packaging techniques. This suggests that BC can be a potential

natural preservative for MP, which is not only effective but can also be environmentally friendly.

Future perspectives

The use of BC for meat preservation is an area of active research, and there are several promising future perspectives. One approach is to use natural compounds such as plant extracts, essential oils, and enzymes to extend the shelf life of meats. These compounds have antioxidant and antimicrobial properties that can inhibit the growth of spoilage and pathogenic microorganisms.

Another approach is the use of edible coatings and films made from natural materials such as chitosan, alginate, and starch, that can protect meat from microbial contamination and oxidation. These coatings can also improve the sensory properties of meat and increase its shelf life.

In addition, nanotechnology is being explored as a tool for improving the delivery and efficiency of BC. Nanoencapsulation can protect BC from degradation, and controlled release can ensure a sustained effect on microbial growth. Overall, the use of BC for meat preservation holds great promise for extending the shelf life of meats, reducing food waste, and increasing the safety and quality of MP.

Author contributions

Conceptualization, G.O.-A.; E.V.-B.-P. and A.T.P.-V. Methodology, G.O.-A. and A.T.P.-V. Validation, A.T.P.-V. and M.R.S.-C. Investigation, G. O-A. and J.R.S.-G. Writing – Original Draft Preparation, G. O-A. Writing – Review & Editing, A.J.C.-C.; M.R.S.-C., A. S.-Z. and E.V.-B.-P. Visualization, M.R.S.-C. Supervision, A.J.C.-C.; E.V.-B.-P. and A.T.P.-V. Project Administration, A.J.C.-C.; A.T.P.-V. Funding Acquisition, A.J.C.-C.; E.V.-B.-P. and A.T.P.-V.

Declaration of competing interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Acknowledgments

To CONACYT for financing the postgraduate studies of the first author. To Malina Rauschenfels for providing assistance with the translation of the manuscript.

References

1. D. Dave, A.E. Ghaly, Meat spoilage mechanisms and preservation techniques : a critical review D . Dave and A . E . Ghaly department of process engineering and applied science, Am.J. Agric. Biol. Sci. 6 (2011) 486–510.
2. M.C. Cabrera, A. Saadoun, An overview of the nutritional value of beef and lamb meat from South America, Meat Sci. 98 (2014) 435–444, <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.06.033>.
3. E.N. Ponnampalam, B.W.B. Holman, N.D. Scollan, Sheep: Meat, first ed., Elsevier Ltd., 2015 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00620-6>.
4. E. Tůmová, D. Chodová, Z. Volek, M. Ketta, The effect of feed restriction, sex and age on the carcass composition and meat quality of nutrias (*Myocastor coypus*), Meat Sci. (2021) 182, <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108625>.
5. J.T. Keeton, S.M. Ellerbeck, M.T. Núñez de González, Chemical Composition, vol. 1, Encycl. Meat Sci., 2014, pp. 235–243, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384731-7.00087-8>.
6. N. Echegaray, M. Pateiro, P.E.S. Munekata, J.M. Lorenzo,
7. Z. Chabani, M.A. Farag, R. Domínguez, Measurement of antioxidant

- capacity of meat and meat products: methods and applications, *Molecules* (2021)26, <https://doi.org/10.3390/molecules26133880>.
8. R. Sharafati-Chaleshtori, N. Rokni, M. Rafieian-Kopaei, F. Drees, E. Salehi, AntioXidant and antibacterial activity of basil (*Ocimum basilicum* L.) essential oil in beef burger, *J. Agric. Sci. Technol.* 17 (2015) 817–826.
 9. S. Smaoui, A. Ben Hsouna, A. Lahmar, K. Ennouri, A. Mtibaa- Chakchouk, I. Sellem, S. Najah, M. Bouaziz, L. Mellouli, Bio- preservative effect of the essential oil of the endemic *Mentha piperita* used alone and in combination with BacTN635 in stored minced beef meat, *Meat Sci.* 117 (2016) 196–204, <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.03.006>.
 10. B. Gullo'n, M. Gagaoua, F.J. Barba, P. Gullo'n, W. Zhang,
 11. J.M. Lorenzo, Seaweeds as promising resource of bioactive compounds: overview of novel extraction strategies and design of tailored meat products, *Trends Food Sci. Technol.* 100 (2020) 1– 18, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.039>.
 12. P.E.S. Munekata, M. Pateiro, E. Rafaela, B. Bellucci, Strategies to Increase the Shelf Life of Meat and Meat Products with Phenolic Compounds, 2021, <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2021.02.008>.
 13. M.E. Embuscado, Spices and herbs: natural sources of antioXidants - a mini review, *J. Funct.Foods* 18 (2015) 811–819, <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.03.005>.
 14. Bouvard, D. Loomis, K.Z. Guyton, Y. Grosse, F. ElGhissassi, L. Benbrahim-Tallaa, N. Guha, H. Mattock, K. Straif,
 15. B.W. Stewart, S.D. Smet, D. Corpet,
 16. M. Meurillon, G. Caderni, S. Rohrmann, P. Verger, S. Sasazuki,
 17. K. Wakabayashi, M.P. Weijenberg, A. Wolk, M. Cantwell, T. Norat, P. Vineis, F.A. Beland, E. Cho,
 18. D.M. Klurfeld, L.L. Marchand, R. Sinha, M. Stern, R. Turesky, K. Wu, Carcinogenicity of consumption of red and processed meat, *LancetOncol.*2045 (2015)1599–1600, [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(15\)00444-1](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(15)00444-1).
 19. M. Est' evez, Critical overview of the use of plant antioXidants in the meat industry: opportunities, innovative applications and future perspectives, *Meat Sci.*
 20. (2021) 181, <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108610>.

21. F. Shahidi, P. Ambigaipalan, Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: antioXidant activity and health effects
22. a review, J. Funct.Foods 18 (2015) 820–897, <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.06.018>.
23. W. Wang, P. Xiong, H. Zhang, Q. Zhu, C. Liao, G. Jiang, Analysis, occurrence, toxicity and environmental health risks of synthetic phenolic antioXidants: a review, Environ. Res. 201 (2021), 111531, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111531>.
24. T. Amarachukwu Uzombah, The implications of replacing synthetic antioXidants with natural ones in the food systems, Tech Open, London, 2022. DOI: 10.5772/intechopen.103810.
25. K. Jayathilakan, G.K. Sharma, K. Radhakrishna, A.S. Bawa, AntioXidant potential of synthetic and natural antioXidants and its
26. effect on warmed-over-flavour in different species of meat, Food Chem. 105 (2007) 908–916,
27. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.04.068>.
28. D.E. Carballo, I. Caro, S. Andr'es, F.J. Gir'aldez, J. Mateo, Assessment of the antioXidant effect of astaxanthin in fresh, frozen and cooked lamb patties, Food Res. Int. 111 (2018) 342–350, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.05.054>.
29. Wojtasik-Kalinowska, A. Onopiuk, A. Szpicer, A. Wierzbicka, A. Po'ltorak, Frozen storage quality and flavor evaluation of ready to eat steamed meat products
30. treated with antioXidants, CyTA - J. Food 19 (2021) 152–162, <https://doi.org/10.1080/19476337.2020.1869103>.
31. J.S. Ribeiro, M.J.M.C. Santos, L.K.R. Silva, L.C.L. Pereira,
32. I.A. Santos, S.C. da Silva Lannes, M.V. da Silva, Natural antioXidants used in meat products: a brief review, Meat Sci. 148 (2019) 181–188, <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.10.016>.
33. M. Hadidi, J.C. Orellana-Palacios, F. Aghababaei, D.J. Gonzalez-Serrano, A. Moreno, J.M. Lorenzo, Plant by-product antioXidants: control of protein-lipid oXidation in meat and meat products, Lwt 169 (2022), 114003, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114003>.
34. F. Al-Juhaimi, K. Ghafoor, M.D. Hawashin, O.N. Alsawmahi,

35. E.E. Babiker, Effects of different levels of Moringa (Moringa oleifera) seed flour on quality attributes of beef burgers, *CyTA - J. Food*14(2016)1–9, <https://doi.org/10.1080/19476337.2015.1034784>.
36. L.A. Gonçalves, J.M. Lorenzo, M.A. Trindade, Fruit and agro- industrial waste extracts as potential antimicrobials in meat products: a brief review, *Foods* 10 (2011) 1–10, <https://doi.org/10.3390/foods10071469>.
37. M. Pateiro, J.A. Go´mez-Salazar, M. Jaime-Patla´n, M.E. Sosa-Morales, J.M. Lorenzo, Plant extracts obtained with green solvents as natural antioXidants in fresh meat products, *AntioXidants* 10 (2021) 1–21, <https://doi.org/10.3390/antiox10020181>.
39. L. Vela´zquez, J. Quin˜ones, R. D´ıaz, M. Pateiro, J.M. Lorenzo, N. Sep´ulveda, Natural antioXidants from endemic leaves in the elaboration of processed meat products: current status, *AntioXidants*10(2021)1–18, <https://doi.org/10.3390/antiox10091396>.
40. A.B. Falowo, P.O. Fayemi, V. Muchenje, Natural antioXidants against lipid-protein oxidative deterioration in meat and meatproducts: a review, *Food Res. Int.* 64 (2014) 171–181, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.06.022>.
41. aa. A.M. Mart´ın-S´anchez, G. Ciro-Go´mez, J. Vilella-Espl´a, J.A´.Pe´rez-a´lvarez, E. Sayas-Barbera´, Physicochemical and sensory characteristics of spreadable liver paˆtes with annatto extract (Bixa orellana l.) and date palm co-products (Phoenix dactylifera l.), *Foods*6(2017),<https://doi.org/10.3390/foods6110094>.
43. bb. Y. Jiang, Z. Fang, W. Leonard, P. Zhang, Phenolic compounds in Lycium berry: composition, health benefits and industrial applications, *J. Funct.Foods* 77 (2021), 104340, <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.104340>.
45. cc. G. Olvera-aguirre, M.M. Mendoza-taco, V.M. Moo-huchin, A. Roque-jim, G. Armando, Effect of extraction type on bioactive compounds and antioXidant activity of moringa oleifera lam, *Leaves* (2022) 1–9.
46. dd. M. Radünz, H.C. dos Santos Hackbart, T.M. Camargo, C.F.P. Nunes, F.A.P. de Barros, J. Dal Magro, P.J.S. Filho, E.A. Gandra, A.L. Radünz, E. da Rosa Zavareze, Antimicrobial potential of spray drying encapsulated

- thyme (*Thymus vulgaris*) essential oil on the conservation of hamburger-like meat products, *Int. J. Food Microbiol.* 330 (2020), 108696, <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108696>.
47. ee. R.C. Baptista, C.N. Horita, A.S. Sant'Ana, Natural products with preservative properties for enhancing the microbiological safety and extending the shelf-life of seafood: a review, *Food Res. Int.* 127(2020), 108762, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108762>.
 48. ff. E. Alp, M.I. Aksu, Effects of water extract of *Urtica dioica* L, modified atmosphere packaging on the shelf life of ground beef 86 (2010) 468–473, <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.05.036>.
 49. gg. P.E.S. Munekata, G. Rocchetti, M. Pateiro, L. Lucini, R. Domínguez, J.M. Lorenzo, Addition of plant extracts to meat and meat products to extend shelf-life and health-promoting attributes: an overview, *Curr. Opin. Food Sci.* 31 (2020) 81–87, <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.03.003>.
 50. hh. T. Bor, S.O. Aljaloud, R. Gyawali, S.A. Ibrahim, *Antimicrobials from Herbs, Spices, and Plants*, Elsevier Inc., 2016, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802972-5.00026-3>.
 51. ii. R. Syafiq, S.M. Sapuan, M.R.M. Zuhri, Antimicrobial activity, physical, mechanical and barrier properties of sugar palm based nanocellulose/starch biocomposite films incorporated with cinnamon essential oil, *J. Mater. Res. Technol.* 11 (2021) 144–157, <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.12.091>.
 52. jj. S. Badui, *Salvador Badui Dergal*, fifth ed., 2013.
 53. kk. M.S.B. Leite, S.A. da, a^o E. Morais, A. Vito, N.G. Alves, 54. E.D.S. Maciel, L. Adriane, D.M. Pinto, I.N. Kaneko, A. Guerrero, A. Paula, F. Correa, J. In, P. Lopes, 55. M. Jose, Incorporation of copaiba and oregano essential oils on the shelf life of fresh ground beef patties under display, Evaluation of their impact on quality parameters and sensory attributes (2022) 1–19, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0272852>.
 56. ll. A. Alfonzo, A. Martorana, V. Guarrasi, M. Barbera, R. Gaglio, 57. Santulli, L. Settanni, A. Galati, G. Moschetti, N. Francesca, Effect of the lemon essential oils on the safety and sensory quality of salted sardines (*Sardina*

- pilchardus Walbaum 1792), Food Control 73 (2017) 1265–1274, <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.10.046>.
60. mm. M. Vargas-Ramella, J.M. Lorenzo, S. Zamuz, M.E. Vald'es,
 61. D. Moreno, M.C. Guama'n Balca'zar, J.M. Fern'andez-Arias, J.F. Reyes, D. Franco, The antioXidant effect of colombian berry (*Vaccinium meridionale* sw.) extracts to prevent lipid oxidation during pork patties shelf-life, *AntioXidants* 10 (2021) 1–25, <https://doi.org/10.3390/antiox10081290>.
 62. nn. M. Muthukumar, B.M. Naveena, S. Vaithiyanathan, A.R. Sen, K. Sureshkumar, Effect of incorporation of *Moringa oleifera* leaves extract on quality of ground pork patties, *J. Food Sci. Technol.* 51 (2014) 3172–3180, [https://doi.org/10.1007/s13197-](https://doi.org/10.1007/s13197-012-0831-8)
 63. 012-0831-8.
 64. oo.J.M. Guedes-Oliveira, B.R.C. da Costa-Lima, L.C.M.Cunha, A.P. A de, A. Salim, J.D. Baltar, A.R. Fortunato, C.A.
 65. Conte-Junior, Impact of myrciaria dubia peel and seed extractson oxidation process and colour stability of ground lamb, *CyTA*
 66. -*J.Food*16(2018)931–937,[https://doi.org/10.1080/](https://doi.org/10.1080/19476337.2018.1512529)
 67. 19476337.2018.1512529.
 68. pp. A. Zeb, *Phenolic AntioXidants in Foods: Chemistry, Biochemistry and Analysis*, first ed., Springer Cham, Switzerland, 2021 <https://doi.org/10.1007/978-3-030-74768-8>.
 69. qq. Y.L. Xiong, A. Guo, Animal and plant protein oxidation: chemical and functional property significance, *Foods* (2021) 10, <https://doi.org/10.3390/foods10010040>.
 70. rr. Z. Huang, X. Liu, S. Jia, Y. Luo, Antimicrobial effects of cinnamon bark oil on microbial composition and quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fillets during chilled storage, *Food Control*82(2017)316–324,
 71. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.07.017>.
 72. ss.F.H. Chamorro-Ramírez, *Mioglobina, factor principal delcualdependela carne,M'exico*,2020.
 73. <https://bmeditores.mx/entorno-pecuario/mioglobina-factor-principal-del-cual-depende-el-color-de-la-carne/>.
 74. tt. G. Andujar, D. P'erez, O. Venegas, *Química y bioquímica de la carne*

- y los productos cárnicos, La Editorial Universitaria, La Habana, 2009.
75. uu. M. Marcinkowska-Lesiak, A. Onopiuk, I. Wojtasik- Kalinowska, M. Zalewska, A. Połtorak, A. Wierzbicka, The influence of sage and hemp oils addition to gelatin- based edible coating on the quality features of pork, *CyTA - J. Food* 18 (2020) 719–727, <https://doi.org/10.1080/19476337.2020.1836027>.
 76. vv. G. Lavado, L. Ladero, R. Cava, Cork oak (*Quercus suber* L.) leaf extracts potential use as natural antioXidants in cooked meat, *Ind.Crop.Prod.*160(2021) 1–9,<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.113086>.
 77. ww. F. Bahmanyar, S.M. Hosseini, L. Mirmoghtadaie, S. Shojae- Aliabadi, Effects of replacing soy protein and bread crumb with quinoa and buckwheat flour in functional beef burger formulation, *MeatSci.*172(2021),108305, <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108305>.
 79. xx. R. Chawla, S. Sivakumar, H. Kaur, Antimicrobial edible films in food packaging: current scenario and recent nanotechnological advancements- a review, *Carbohydr. Polym. Technol.Appl.*2(2021),100024, <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2020.100024>.
 80. yy. C.M. Galanakis, *Functionality of Food Components and Emerging Technologies*, 2021, pp. 1–26.
 81. zz. E.A. Erbay, B.B. (Gořzü) Dagřtekin, M. Türe, A.F. Yes,ilsu, S. Torres-Giner, Quality improvement of rainbow trout fillets by whey protein isolate coatings containing electrospun poly(ϵ -caprolactone) nanofibers with *Urtica dioica* L. extract during storage, *Lwt* 78 (2017) 340–351, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.01.002>.
 82. aaa. A. Cořzar, H. Vergara, Lamb burgers made with low and high value cuts: effect of the spice added and the packaging method on shelf life, *CyTA - J. Food* 16 (2018) 1115–1124, <https://doi.org/10.1080/19476337.2018.1537303>.
 83. bbb. H. Vergara, A. Cořzar, N. Rubio, Effect of adding of different forms of oregano (*Origanum vulgare*) on lamb meat burgers quality during the storage time, *CyTA - J. Food* 18 (2020) 535–542, <https://doi.org/10.1080/19476337.2020.1794981>.
 84. ccc. A. Cořzar, N. Rubio, H. Vergara, Combined effect of the spice and the packaging method on lamb burgers shelflife made with high value cuts, *CyTA - J. Food* 16

85. (2018) 544–552, <https://doi.org/10.1080/19476337.2018.1431310>.
86. ddd.E.E. Fadilog˘lu, M.Z. oban, The effects of goji berry (*Lycium barbarum* L.) extract on some chemical, microbiological and sensory characteristics of liquid smoked common carp (*Cyprinus carpio* L., 1758) sausages, *Yuz. Yil Univ. J. Agric. Sci.* 29 (2019) 702–710, <https://doi.org/10.29133/yyutbd.632966>.
87. eee. C. Aquilani, T. P´erez-Palacios, F. Sirtori, E. Jim´enez-Martín, T. Antequera,
88. O. Franci, A. Acciaioli, R. Bozzi, C. Pugliese, Enrichment of Cinta Senese burgers with
89. omega-3 fatty acids. Effect of type of addition and storage conditions on quality characteristics, *Grasas Aceites* 69 (2018) 1–13, <https://doi.org/10.3989/gya.0671171>.
90. fff. E.M. Maass, Elementos bioactivos de los alimentos y ejemplos de alimentos funcionales, CEIICH UNAM, 2021. <https://youtu.be/wtvufWDgnkI>.
91. ggg.A. Sridhar, V. Vaishampayan, S.P. Kumar, M. Ponnuchamy, A. Kapoor, Extraction techniques in food industry: insights into process parameters and their optimization, *Food Chem. Toxicol.* 166 (2022), 113207, <https://doi.org/10.1016/j.fct.2022.113207>.
92. hhh.I. Majid, S. Khan, A. Aladel, A.H. Dar, M. Adnan, M.I. Khan, A.M. Awadelkareem, S.A. Ashraf, Recent insights into green extraction techniques as efficient methods for the extraction of bioactive components and essential oils from foods, *CyTA - J. Food* 21 (2023) 101–114, <https://doi.org/10.1080/19476337.2022.2157492>.
93. iii. P. Junsathian, S. Nakamura, S. Katayama, S. Rawdkuen, AntioXidant and Antimicrobial Activities of Thai Edible Plant Extracts Prepared Using Different Extraction Techniques, 2022, pp. 1–14.
94. jjj. A. Borges, H. Jos´e, V. Homem, M. Simoˆes, Comparison of Techniques and Solvents on the Antimicrobial and AntioXidant Potential of Extracts from *Acacia Dealbata* and *Olea Europaea*, 2020, <https://doi.org/10.3390/antibiotics9020048>.
95. kkk.E.I. Garofulic, V. Malin, M. Repajic, Z. Zoric, S. Pedisic, M. Sterniˆsa, S.S. Mozina, D.-U. Verica, Phenolic Profile, AntioXidant Capacity and Antimicrobial Activity of Nettle Leaves Extracts Obtained by Advanced Extraction

Techniques, 2021.

96. Ill. B.D. da Silva, P.C. Bernardes, P.F. Pinheiro, E. Fantuzzi, C.D. Roberto, Chemical composition, extraction sources and action mechanisms of essential oils: natural preservative and limitations of use in meat products, *Meat Sci.* 176 (2021), 108463, <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108463>.
97. mmm. A. Hudson, E. Lopez, A.J. Almalki, A.L. Roe, S. Arabia, G. Company, *A Review of the Toxicity of Compounds Found in Herbal Dietary Supplements* Authors, 2018, pp. 613–626.
98. nnn. A.A. Vilas-Boas, M. Pintado, A.L.S. Oliveira, *Natural Bioactive Compounds from Food Waste : Toxicity and Safety Concerns*, 2021.
99. ooo. M. Perricone, E. Arace, M.R. Corbo, M. Sinigaglia, A. Bevilacqua, Bioactivity of essential oils: a review on their interaction with food components, *Front. Microbiol.* 6 (2015) 1–7, <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00076>.
100. ppp. K. Srinivasan, *Spices and Flavoring Crops: Uses and Health Effects*, first ed., Elsevier Ltd., 2015 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00645-0>.
- qqq. G. Giuberti, G. Rocchetti, D. Montesano, L. Lucini, The potential of *Moringa oleifera* in food formulation: a promising source of functional compounds with health-promoting properties, *Curr. Opin. Food Sci.* 42 (2021) 257–269, <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.09.001>.
101. rrr. M. Pateiro, R. Domínguez, J.M. Lorenzo, Recent research advances in meat products, *Foods* 10 (2021) 5–9, <https://doi.org/10.3390/foods10061303>.
102. sss. H. Papapostolou, V. Kachrimanidou, M. Alexandri, S. Plessas, A. Papadaki,
103. N. Kopsahelis, *Natural Carotenoids : Recent Advances on Separation from Microbial Biomass and Methods of Analysis*, 2023.
104. ttt. R. Moshikur, R.L. Carrier, M. Moniruzzaman, *Recent Advances in Biocompatible Ionic Liquids in Drug Formulation and Delivery*, 2023.
105. uuu. B. Sepulveda, D. Benites, L. Alborno, M. Simirgiotis, O. Garcia-beltran, C. Areche, B. Sepulveda, D. Benites, L. Alborno, M. Simirgiotis, Green ultrasound- assisted extraction of lichen substances from *Hypotrachyna cirrhata* . Ethyl lactate , a better extracting agent than methanol toxic organic solvent, *Nat. Prod. Res.* 0(2021)1–5, <https://doi.org/10.1080/14786419.2021.1956922>.
106. vvv. A.R. Abubakar, M. Haque, *Preparation of Medicinal Plants: Basic*

- Extraction and Fractionation Procedures for Experimental Purposes, 2020, pp. 1–10, [https:// doi.org/10.4103/jpbs.JPBS](https://doi.org/10.4103/jpbs.JPBS).
- 107.www. W. Tezara, I. Coronel, A. Herrera, G. Dzib, K. Canul-Puc, L.M. Calvo-Irabi'en, M. Gonz'alez-Meler, Photosynthetic capacity and terpene production in populations
 - 108.of Lippia graveolens (Mexican oregano) growing wild and in a common garden in the Yucat'an peninsula, Ind. Crop. Prod. 57 (2014) 1–9, <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.03.012>.
 - 109.xxx.R. Hao, K. Roy, J. Pan, B.R. Shah, J. Mraz, Critical review on the use of essential oils against spoilage in chilled stored fish: a quantitative meta-analysis: essential oils and seafood, Trends Food Sci. Technol. 111 (2021) 175–190, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.054>.
 - 110.yyy.P.S. Negi, International Journal of Food Microbiology Plant extracts for the control of bacterial growth : efficacy , stability and safety issues for food application, Int. J. Food Microbiol. 156 (2012) 7–17, <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2012.03.006>.
 - 111.zzz. A. Martínez, M. Manrique-Moreno, M.C. Klaiss-Luna, E. Stashenko, G. Zafra, C. Ortiz, Effect of essential oils on growth inhibition, biofilm formation and membrane integrity of escherichia coli and staphylococcus aureus, Antibiotics (2021) 10, <https://doi.org/10.3390/antibiotics10121474>.
 - 112.aaaa. G. Francis, Z. Kerem, H.P.S. Makkar, K. Becker, The biological action of saponins in animal systems: a review, Br. J. Nutr. 88 (2002) 587–605, <https://doi.org/10.1079/bjn2002725>.
 - 113.bbbb. M. Est'avez, Y.L. Xiong, Protein oxidation in foods: mechanisms, consequences, and antioxidant solutions, Foods 10 (2021) 1–5, [https://doi.org/10.3390/ foods10102346](https://doi.org/10.3390/foods10102346).
 - 114.cccc. A.B. Falowo, V. Muchenje, A. Hugo, O.A. Aiyegoro, P.O. Fayemi, Actividades antioxidantes de extractos de hoja de Moringa oleifera L. y Bidens pilosa L. y sus efectos en la estabilidad oxidativa de ternera cruda picada durante el almacenamiento en frío, CyTA - J. Food 15 (2017) 249–256, <https://doi.org/10.1080/19476337.2016.1243587>.
 - 115.dddd. I. Koodkaew, C. Senaphan, N. Sengseang, S. Suwanwong, Characterization of phytochemical profile and phytotoxic activity of Mimosa pigra L, Agric. Nat. Resour. 52 (2018) 162–168,

<https://doi.org/10.1016/j.anres.2018.06.005>.

- 116.eeee. N.F.S. Mohamad Shariff, T. Singgampalam, C.H. Ng, C.S. Kue, AntioXidant activity and zebrafish teratogenicity of hydroalcoholic *Moringa oleifera* L. leaf extracts, *Br. Food J.* 122 (2020) 3129–3137, <https://doi.org/10.1108/BFJ-02-2020-0113>.
- 117.ffff.A.I. Boruzi, V. Nour, Walnut (*Juglans regia* L.) leaf powder as a natural antioXidant in cooked pork patties, *CyTA - J. Food* 17 (2019) 431–438, <https://doi.org/10.1080/19476337.2019.1596984>.
- 118.gggg. D.A.E. Elhadi, E.A. Elgasim, I.A. Mohamed Ahmed, Características microbianas y oxidativas de la hamburguesa de pollo refrigerada con moringa en polvo (*Moringa oleifera*), *CyTA - J. Food* 15 (2017) 234–240, <https://doi.org/10.1080/19476337.2016.1242157>.
- 119.hhhh. J. Jiang, Y.L. Xiong, Natural antioXidants as food and feed additives to promote health benefits and quality of meat products: a review, *Meat Sci.* 120 (2016) 107–117, <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.04.005>.
- 120.P.E.S. Munekata, G. Nieto, M. Pateiro, J.M. Lorenzo, Phenolic compounds obtained from *olea europaea* by-products and their use to improve the quality and shelf life of meat and meat products—a review, *AntioXidants* 9 (2020) 1–24, <https://doi.org/10.3390/antiox9111061>.
- 121.jjjj. [Biorender.Com](https://www.biorender.com), [Biorender](https://www.biorender.com), 2021.
- 122.kkkk. M.M. Selani, C.J. Contreras-castillo, L.D. Shirahigue, C.R. Gallo, M. Plata-oviedo, N.D. Montes-villanueva, Wine industry residues extracts as natural antioXidants in raw and cooked chicken meat during frozen storage, *MESC* 88 (2011) 397–403, <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.01.017>

**III. CAPÍTULO 3. ANTIBACTERIAL, ANTIOXIDANT, AND GC-MS
PROFILING OF FIVE YUCATÁN PLANT LEAF EXTRACTS
AGAINST *Listeria monocytogenes*, *Salmonella enteritidis*, AND
*Escherichia coli***

Olvera-Aguirre, Gabriel.¹; Segura-Campos, Maira R.²; Gómez-Hernández Erik³; Jiménez-Villeda, Brenda E³; Piñeiro-Vázquez, Angel T.^{1*} and Chay-Canul, Alfonso, J.⁴

¹Instituto Tecnológico de México, Campus Conkal, Avenida Tecnológico s/n Conkal, Yucatán. Conkal, Yucatán. C.P. 97345.

²Facultad de Ingeniería Química, Universidad Autónoma de Yucatán, Periférico Norte Km. 33.5, Colonia Chuburná de Hidalgo Inn, Mérida, Yucatán, México.

³Instituto Tecnológico de México, Campus Occidente, Paseo del Agrarismo 2000. Carr. Mixquiahuala - Tula, km 2.5. Mixquiahuala de Juárez, Hidalgo, C.P. 42700.

⁴División Académica de Ciencias Agropecuarias. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, km 25. Carretera Villahermosa-Teapa, R/A La Huasteca. CP 86280. Colonia Centro Tabasco, México.

*Autor para correspondencia: pineiroiamc@gmail.com; Primer autor: DD21800322@conkal.tecnm.mx

ABSTRACT

Objective: To determine the antibacterial and antioxidant activity and to identify the volatile compounds in extracts from *Bixa orellana*, *Cnidoscolus aconitifolius*, *Mentha spicata*, *Piper auritum*, and *Lippia origanoides* from Yucatan.

Design/methodology/approach: Antibacterial activity was evaluated using the disk diffusion method; antioxidant activity was assessed through 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) and 2,2'-Azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS) assays, and volatile compounds were identified by gas chromatography-mass spectrometry.

Results: In antibacterial assays, *L. origanoides* and *M. spicata* significantly inhibited *L. monocytogenes*; *B. orellana* was effective against *E. coli*, and *L. origanoides* extract showed significant inhibition of *S. enteritidis*. In antioxidant activity, *B. orellana*, *L. origanoides*, and *M. spicata* showed the highest antioxidant capacity percentages ($p < 0.05$). Chromatographic analysis tentatively identified the presence of compounds such as carvacrol, phytol, ishwarene, palmitic acid, and linolenic acid.

Limitations on study/implications: Although further MIC/MBC determinations and food-matrix validation are required, the high biological activity observed in *B. orellana*, *L. origanoides*, and *M. spicata*, suggests their potential as natural preservative candidates.

Findings/conclusions: The extracts with the highest antioxidant and antibacterial effects are *B. orellana*, *L. origanoides*, and *M. spicata*. GC-MS analyses tentatively identified the presence of bioactive compounds such as phytol, β -Cyclocitral, linolenic, and palmitic acid, carvacrol, thymol, guaiol acetate, epiglobulol and ishwarene. Results suggest that these three plant extracts represent promising natural alternatives for application in agro-food systems, specifically as potential antioxidant and selective antimicrobial agents.

Keywords: Pathogenic strains, Natural antibacterials, Natural additives, Bioactive compounds, Medicinal plants.

IV. CAPÍTULO 4. EFFECT OF *Gymnopodium floribundum* AND *Melicoccus oliviformis* EXTRACTS ON THE OXIDANTIVE STABILITY, PHYSICOCHEMICAL AND SENSORY PROPERTIES OF SHEEP BURGERS STORED UNDER REFRIGERATION

Gabriel Olvera-Aguirre¹, Mariana Huerta-Jiménez², Iván A. García-Galicia²⁻³, Einar Vargas-Bello-Pérez², Victor Manuel Moo-Huchin^{4*}, Maira Rubi Segura-Campos⁵, Ángel Trinidad Piñeiro-Vázquez¹ y Alfonso Juventino Chay-Canul⁶

¹Instituto Tecnológico de México, Campus Conkal, Calle 10 S/N, CP 97345, Conkal, Yucatán, México.; DD21800322@conkal.tecnm.mx (GOA) y angel.pineiro@itconkal.edu.mx (ATPV).

²Facultad de Zootecnia y Ecología, Universidad Autónoma de Chihuahua, Periférico R. Aldama Km 1, 31031 Chihuahua, México evargasb@uach.mx (EVBP), mhuertaj@uach.mx (MHJ).

y igarciag@unam.mx (IAGG).

³ C.E.I.E.G.T. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional Autónoma de México. Km 5.5 Carr. Fed. Martínez de la Torre - Tlapacoyan. Tlapacoyan, México, 93600. igarciag@unam.mx (IAGG).

⁴Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Mérida, Avenida Tecnológico S/N Km. 4.5 C.P. 97118, Mérida, Yucatán, México. vm moo@yahoo.com (VMMH).

⁵ Facultad de Ingeniería Química, Universidad Autónoma de Yucatán, Periférico Norte Km. 33.5, Colonia Chuburná de Hidalgo Inn, Mérida, Yucatán, México.

⁶ División Académica de Ciencias Agropecuarias. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, km 25. Carretera Villahermosa - Teapa, R/A La Huasteca. CP 86280. Colonia Centro Tabasco, México. alfonso.chay@ujat.mx (AJCC).

Corresponding authors: Victor Manuel Moo-Huchin.

Summary

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de extractos de *Gymnopodium floribundum* y *Melicoccus oliviformis* sobre las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de hamburguesas de cordero durante el almacenamiento en refrigeración. Las hamburguesas se formularon utilizando carne de ovino de pelo que contenía cloruro de sodio, distribuyéndose en cuatro tratamientos: Control negativo (C-, sin extracto antioxidante), Control positivo con eritorbato de sodio (C+), *G. floribundum* (GF) y *M. oliviformis* (MO). Las hamburguesas se almacenaron bajo refrigeración durante un periodo determinado y se evaluaron periódicamente en distintos tiempos de almacenamiento.

Ni el tratamiento ni el tiempo de almacenamiento ejercieron un efecto significativo ($p > 0.05$) sobre la composición química, el pH o la fuerza de corte. Durante el almacenamiento, los extractos de GF y MO inhibieron la oxidación lipídica de las hamburguesas ($p < 0.05$), manteniendo bajas concentraciones de malondialdehído (MDA). Además, el porcentaje de metmioglobina disminuyó al final del periodo de almacenamiento en los tratamientos C-, C+ y MO en comparación con GF.

Ambos extractos mostraron una elevada capacidad antioxidante. En las pruebas sensoriales de ordenamiento, los tratamientos C+, C- y MO obtuvieron las puntuaciones más altas en textura, olor y sabor, mientras que en las pruebas descriptivas no se observaron diferencias significativas ($p > 0.05$) en la aceptabilidad global entre estos tres tratamientos.

La sustitución del eritorbato de sodio por extracto de *M. oliviformis* no altera la composición nutricional ni los atributos sensoriales de las hamburguesas de cordero y proporciona una protección eficaz frente a la oxidación de lípidos y de la mioglobina durante el almacenamiento en refrigeración.

Keywords: natural antioxidants, functional foods, lamb burgers, oxidative stability, quality.

CONCLUSIONES GENERALES.

Mediante la bioprospección de 13 especies vegetales utilizadas por la cultura maya, se eligieron dos de ellas (*M. oliviformis* y *G. floribundum*) con las que no se ha observado competencia humana y que presentaron una actividad biológica superior a los demás tratamientos. Los extractos crudos de MO y GF, adicionados a una dosis de 1 g/kg presentaron potencial para la conservación de una hamburguesa elaborada con carne de ovino. Esto al reducir significativamente la producción de MDA a través del tiempo en las hamburguesas de ovino tratadas con MO y GF. En las pruebas bromatológicas e instrumentales no existió un efecto negativo ni sobresaliente en comparación con los testigos. Las pruebas sensoriales revelaron que la aceptabilidad general de MO a través del tiempo no era diferente a los testigos, por el contrario, GF obtuvo la aceptabilidad más baja, pero una de las mejores evaluaciones de color en las pruebas sensoriales. Por el momento, este es el primer reporte del uso de extractos de MO y GF en la conservación de un PC.

Uso de extractos de plantas para conservar productos cárnicos^φ

Gabriel Olvera-Aguirre¹, Ángel Trinidad Piñeiro-Vázquez¹, Mayra Rubi Segura-Campos²,
Alfonso Juventino Chay-Canul^{3*}

Introducción

La carne es un alimento altamente nutritivo pero susceptible a la oxidación de lípidos y a la contaminación microbiana, lo que compromete su calidad e inocuidad (Echegaray *et al.* 2021). Los conservadores sintéticos como el hidroxianisol butilado (BHA), hidroxitolueno butilado (BHT), o la terbutilhidroquinona (TBHQ), disminuyen la oxidación de grasas y proteínas en la carne, pero se ha demostrado que ocasionan riesgos para la salud humana como intoxicación alimentaria, daño hepático, carcinogénesis y mutagénesis (Hadidi *et al.* 2022). Sin embargo, para controlar los fenómenos oxidativos, existe la tendencia de añadir extractos de plantas aromático-medicinales ricos en compuestos bioactivos (CBs) directamente a la carne o como suplemento en la dieta de los animales.

Las proteínas (como la mioglobina) y los lípidos que se encuentran en la carne y los productos cárnicos (PCs) pueden perder electrones cuando se exponen al oxígeno durante la manipulación. Cuando las grasas se oxidan, los ácidos grasos insaturados se degradan para producir aldehídos, cetonas y alcoholes, lo que produce un sabor acartonado y un olor rancio. Al mismo tiempo, las proteínas y la mioglobina se oxidan para producir carbonilos y aminas biogénicas tóxicas (Chaijan 2008).

^φ ¹Instituto Tecnológico de México, Campus Conkal, CP 97345, Conkal, Yucatán, México.

²Facultad de Ingeniería Química, Universidad Autónoma de Yucatán, Periférico Norte Km. 33.5, Colonia Chuburná de Hidalgo Inn, Mérida, Yucatán, México.

³División Académica de Ciencias Agropecuarias. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, km 25. Carretera Villahermosa-Teapa, R/A La Huasteca. CP 86280. Colonia Centro Tabasco, Mexico.

*Autor para correspondencia: alfonso.chay@ujat.mx

DOI: <http://doi.org/10.56369/BAC.5131>

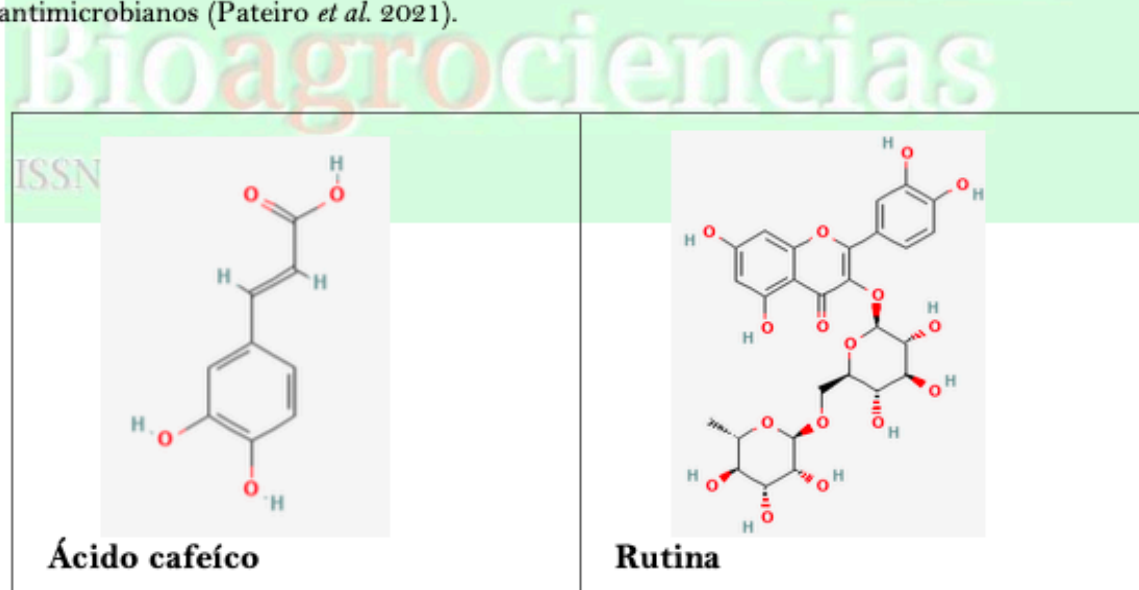


Uno de los principales aldehídos generados como producto secundario de la oxidación lipídica es el malonaldehído, que se utiliza para medir el proceso de oxidación de lípidos (Wojtasik-Kalinowska *et al.* 2021). Al mismo tiempo, el deterioro microbiano de la carne y el PCs es causado por bacterias patógenas naturales. Alternativamente, puede deberse a contaminación cruzada si se manipulan mal durante la transformación. Los CBs de las plantas se han utilizado eficazmente para inhibir el crecimiento de algunos microorganismos como *Salmonella enterica*, *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes* y *Staphylococcus aureus* (Radünz *et al.* 2020).

Las plantas comúnmente utilizadas en la cocina y la medicina tradicional tienen beneficios para la salud y también se usan para mejorar la vida útil y el sabor de las carnes porque contienen CBs. El objetivo de este estudio es difundir los beneficios científicamente probados de los CBs en plantas que conservan el PC por más tiempo, mejoran el sabor, mejoran el valor nutricional y mejoran la seguridad y la calidad.

Compuestos bioactivos: antioxidantes y antimicrobianos

Los aceites esenciales o extractos de plantas contienen CBs y sirven como alternativa más segura a los antioxidantes sintéticos. Los CBs extraídos de plantas medicinales y especias como la moringa, el achiote, el orégano y el romero (Fig. 1) actúan como antioxidantes y antimicrobianos (Pateiro *et al.* 2021).



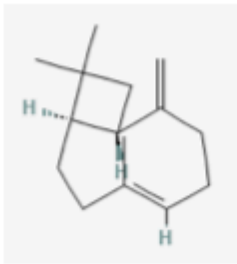
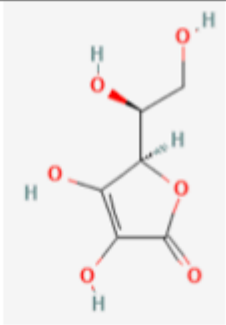
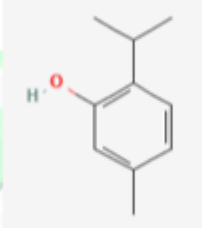
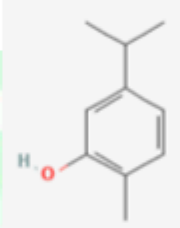
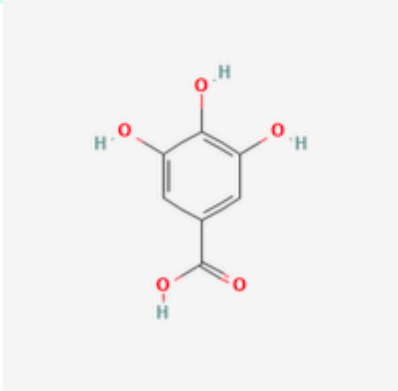
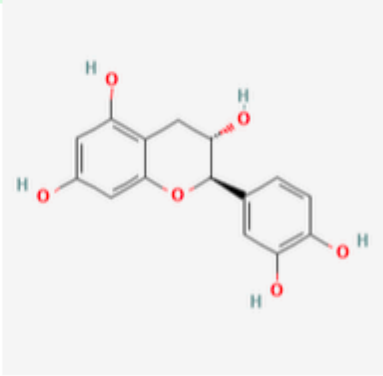
 Cariofileno	 Vitamina C (ácido ascórbico)
 Timol	 Carvacrol
 Ácido gálico	 Catequina

Figura 1. Principales CBs en extractos de plantas y aceites esenciales con actividad antioxidante.

“Los aceites esenciales o extractos de plantas contienen CBs y sirven como alternativa más segura a los antioxidantes sintéticos.”

Los CBs se pueden utilizar para extender la vida útil de la carne y al mismo tiempo mejorar su calidad y seguridad, proporcionando beneficios económicos para la industria y satisfaciendo las necesidades de los consumidores preocupados de su salud. La incorporación de CB también mejora el valor nutricional, el color, sabor y la estabilidad oxidativa, protegiendo a los consumidores de los radicales libres (Fig. 2) que pueden causar enfermedades crónicas (Hadidi *et al.* 2022).

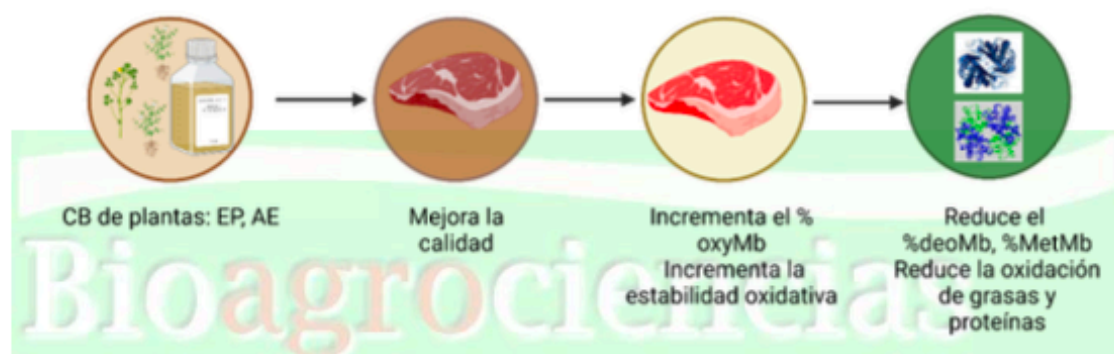


Figura 2. Beneficios de los CB sobre los productos cárnicos. CB: compuestos bioactivos; EP: extractos de plantas; AE: aceites esenciales; oxyMb: oximioglobina; deoMb: deoximioglobina, MetMb: metamioglobina. Creado con [BioRender.com](https://www.biorender.com).

La oxidación de los PCs puede ocurrir en grasas, proteínas y pigmentos, generando sustancias tóxicas como las especies reactivas de oxígeno, comúnmente llamados radicales libres (aunque no todos son radicales), aminos biógenos y sus precursores, generando un cambio indeseado en color, olor y acabando con su vida útil (Chaijan 2008). La carne sufre cambio de color cuando la mioglobina se oxida. La mioglobina presenta 3 pigmentos diferentes: púrpura cuando el hierro se encuentra reducido, rojo brillante cuando el hierro está reducido en presencia de oximioglobina (oxyMb) y café-gris cuando el hierro se encuentra en estado oxidado con la metamioglobina (MetMb) (Fig. 3). Los 3 pigmentos están cambiando constantemente, pero cuando la MetMb es del 60% del total de pigmentos su reacción es irreversible. La oxidación de la carne afecta su textura, olor, sabor y color, lo que impacta en su vida útil y genera pérdidas económicas y desperdicio de alimentos (Chaijan 2008).

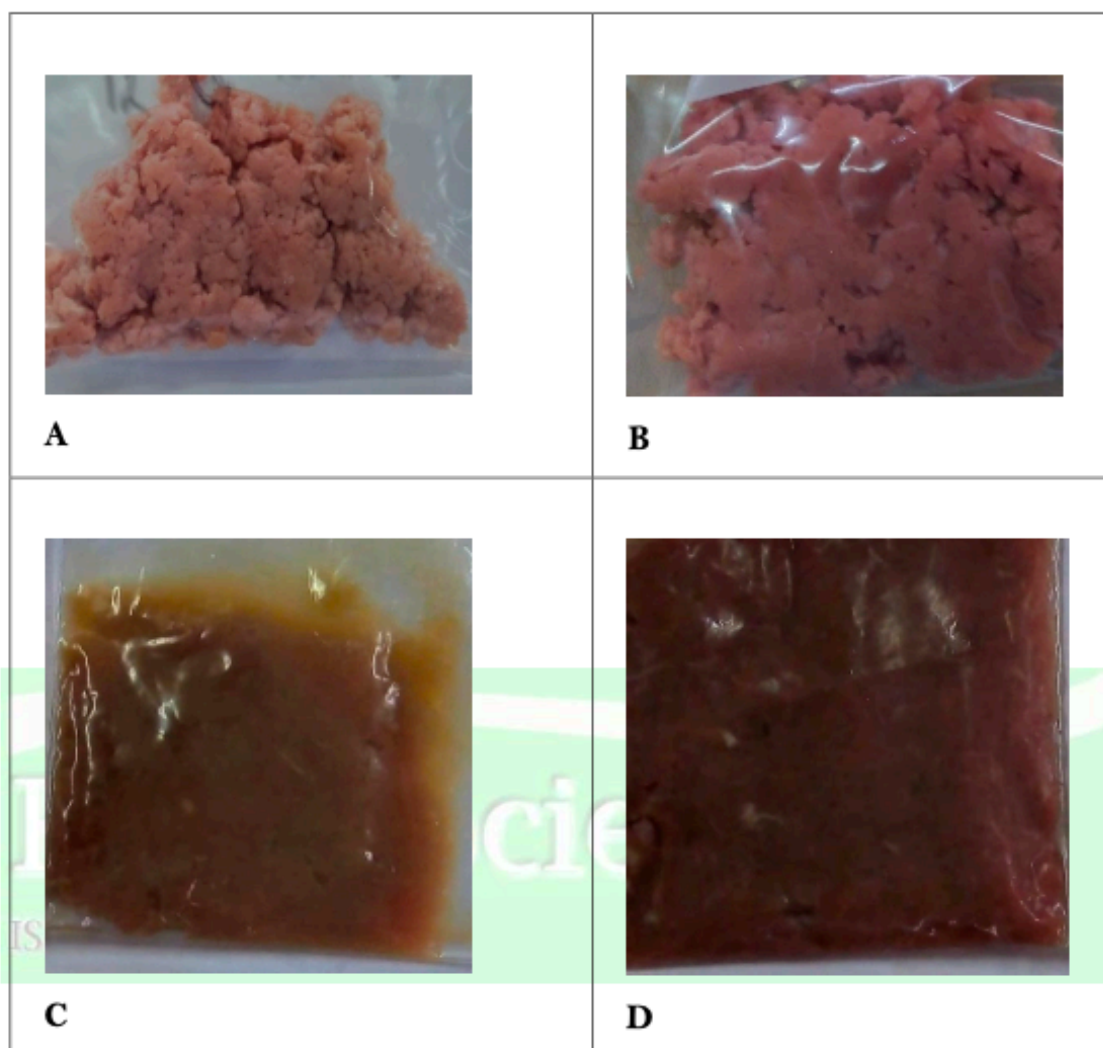


Figura 3 A, B: carne de cordero recién molida; C, D: carne de cordero molida después de 75 días de congelación.

Para el ser humano es importante proteger a los PCs del deterioro microbiano y la oxidación de lípidos, proteínas y mioglobina. Esto se ha realizado durante años mediante procesos como el marinado (Fig. 4), el salado y ahumado.



Figura 4. Carne de cordero marinada con pimienta, laurel y aceite de oliva licuados durante 1 minuto

La adición correcta de CBs ayuda a conservar los PCs. Sin embargo, existe la posibilidad de obtener un efecto no deseado sobre el producto con ciertas plantas, o con dosis muy altas o bajas, pues tienen un efecto sobre la carne que acelera la oxidación o imprime un sabor desagradable para los consumidores. En un experimento de Guedes-Oliveira *et al.* (2018) adicionaron extracto de hojas y semillas de *Myrciaria dubia* en hamburguesas de cordero, el extracto no retardaba el proceso de oxidación de las proteínas e incluso ejerció un efecto pro-oxidante, resultando en un producto que el consumidor rechazó.

"La oxidación de los PCs puede ocurrir en grasas, proteínas y pigmentos, generando sustancias tóxicas como las especies reactivas de oxígeno, comúnmente llamados radicales libres."

Calidad de los productos cárnicos

La calidad de los PCs se evalúa mediante sus características fisicoquímicas (e.g, cantidad de agua, proteína, grasa y cenizas o minerales) y sensoriales (e.g, olor, color, textura, jugosidad), la oxidación de la grasa es la principal causa de deterioro de la calidad de los PC. Para extender la vida útil y prevenir los fenómenos de oxidación, la carne se envasa al vacío,

se enfría, se congela y se incorpora a la carne y los PCs antioxidantes libres (naturales o sintéticos) o microencapsulados (Lavado *et al.* 2021).

La vida útil de los PCs es corta en comparación con la carne sin procesar, debido a su alto contacto con las superficies, al exposición al oxígeno y la manipulación humana, lo que los hace altamente susceptibles al deterioro microbiano y a una rápida oxidación. La vida útil de un PCs se mide evaluando el tiempo que tarda en perder las características de calidad: coordenadas de color, microbiología, evaluación sensorial y oxidación de nutrientes (Vargas-Ramella *et al.*, 2021).

Uso de compuestos bioactivos sobre los productos cárnicos

Los CBs contenidos en los extractos de plantas actúan como un agente antioxidante y antibacteriano superior en comparación con los antioxidantes sintéticos al proteger mejor la grasa y las proteínas de la carne y reducir su oxidación. Además, tienen propiedades antimicrobianas que pueden inhibir el crecimiento de patógenos transmitidos por alimentos, reduciendo la formación de aminas biogénicas y otros compuestos de deterioro que pueden llevar al rechazo del consumidor. En investigación y desarrollo es importante considerar cuidadosamente y optimizar las cantidades de CBs a utilizar para garantizar la eficacia sin causar efectos no deseados a la carne como la prooxidación, colores y olores extraños (Gonçalves *et al.* 2011).

Los antimicrobianos naturales, como orégano (*Origanum vulgare*), romero (*Salvia rosmarinus*), tomillo (*Thymus vulgaris*), salvia (*Salvia officinalis*), harina de semillas de moringa (*Moringa oleifera*) ajo (*Allium sativum*) y clavo (*Syzygium aromaticum*), extienden la vida útil de los alimentos al prevenir la proliferación de microorganismos y reducir la resistencia de las bacterias a los antibióticos (Cózar y Vergara, 2018). Agregar aceites esenciales, como el de canela en filetes de carpa (*Ctenopharyngodon idellus*), puede retrasar la producción de putrecina y cadaverina. Éstos son productos de bacterias (deterioro microbiano) que causan el característico olor a podrido (Huang *et al.* 2017).

Los mecanismos que explican los efectos antioxidantes de los compuestos bioactivos incluyen la transferencia de átomos de hidrógeno, la transferencia de un solo electrón, la pérdida de protones y electrones y la eliminación de metales pesados (Zeb 2021). Por ejemplo, la harina de semillas de *M. oleifera* es rica en grasas de alta calidad y antioxidantes como la vitamina C, que ayudan a prolongar la vida útil de los PCs al eliminar los radicales libres y prevenir la oxidación de grasas y la degradación de proteínas.

“Los CBs contenidos en los extractos de plantas actúan como un agente antioxidante y antibacteriano superior en comparación con los antioxidantes sintéticos al proteger mejor la grasa y las proteínas de la carne y reducir su oxidación.”

Dados los beneficios que ejercen los CBs se han convertido en una opción atractiva para su uso en productos cárnicos al mejorar su seguridad, calidad y vida útil. Sin embargo, es esencial realizar una evaluación meticulosa de diversos CBs y sus concentraciones adecuadas sobre los PCs para determinar su dosis adecuada para la mejora de la calidad y la prolongación de la vida útil. Regularmente, dosis benéficas para el PC van desde 0.250-25 g sobre kg de carne o carne procesada como hamburguesas o carne molida (res, cerdo, pollo), filetes de pescado, salsas de carne, salami, carne de caballo, entre otros (Olvera-Aguirre *et al.* 2023).

Los CBs utilizados en los PCs pueden derivarse de diferentes plantas y se prefieren por sus propiedades antimicrobianas y su capacidad para extender la vida útil. La seguridad de los CBs es una consideración importante y se deben realizar estudios toxicológicos para garantizar que no haya efectos adversos. Su efectividad se ve afectada por muchos factores y se requiere una evaluación cuidadosa para optimizar su uso en los PCs y garantizar su seguridad.

ISSN 2007 - 431 X
Conclusiones

Por miles de años, las plantas se han utilizado para diversos propósitos, alimento, medicina y aditivos para sabor, color, aroma y conservación. Los compuestos bioactivos de plantas tienen el potencial de preservar y mejorar las características de los productos cárnicos. Los principales compuestos bioactivos con alta actividad antimicrobiana son fenólicos, terpenos, terpenoides y fenilpropanoides. Sin embargo, su actividad antimicrobiana puede ser influenciada por grasas, carbohidratos, proteínas, agua, sal y microorganismos. La encapsulación, o las biopelículas de liberación lenta, ofrecen un enfoque para aprovechar al máximo las propiedades antimicrobianas y antioxidantes de los CB para la conservación de la carne. Es importante realizar evaluaciones toxicológicas antes de introducirlos en el mercado alimentario para garantizar la seguridad del consumidor. Un uso fácil que se les puede dar a los CBs es mediante técnicas como el marinado y mezclando plantas secas o frescas con aceite o leche en licuadora para homogeneizarlas y aprovecharlas al máximo. Esto asegura la vida útil de los PCs por más tiempo en refrigeración o congelación. En general, el uso de CBs para la conservación de la carne ofrece un gran potencial para extender la vida útil de los productos cárnicos, reducir el desperdicio de alimentos y aumentar la seguridad y calidad de estos alimentos.

Referencias

- Biorender.Com. (2021). Biorender.
- Chaijan M. 2008. Review: Lipid and myoglobin oxidations in muscle foods. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 30:47–53.
- Cózar A y Vergara H. 2018. Lamb burgers made with low and high value cuts: Effect of the spice added and the packaging method on shelf life. *CYTA - Journal of Food*, 16:1115–1124.
- Echegaray N, Pateiro M, Munekata PES, Lorenzo JM, Chabani Z, Farag MA y Domínguez R. 2021. Measurement of antioxidant capacity of meat and meat products: Methods and applications. *Molecules* 26:1–21.
- Gonçalves LA, Lorenzo JM, y Trindade MA. 2011. Fruit and agro-industrial waste extracts as potential antimicrobials in meat products: A brief review. *Foods* 10:1–10.
- Guedes-Oliveira JM, da Costa-Lima BRC, Cunha LCM, Salim APA, de A Baltar JD, Fortunato A R y Conte-Junior CA. 2018. Impact of myrciaria dubia peel and seed extracts on oxidation process and colour stability of ground lamb. *CYTA - Journal of Food* 16:931–937.
- Hadidi M, Orellana-Palacios JC, Aghababaei F, Gonzalez-Serrano DJ, Moreno A, y Lorenzo JM. 2022. Plant by-product antioxidants: Control of protein-lipid oxidation in meat and meat products. *Food Science and Technology* 169:1–11.
- Huang Z, Liu X, Jia S, y Luo Y. 2017. Antimicrobial effects of cinnamon bark oil on microbial composition and quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fillets during chilled storage. *Food Control* 82:316–324.
- Lavado G, Ladero L y Cava R. 2021. Cork oak (*Quercus suber* L.) leaf extracts potential use as natural antioxidants in cooked meat. *Industrial Crops and Products* 160:1–9.
- Olvera-Aguirre G, Sanginés-García R, Sánchez-Zarate A, Ochoa-Flores A, Segura-Campos MR, Vargas-Bello-Pérez E y Chay-Canul AJ. 2023. Using plant-based compounds as preservatives for meat products : A review. *Helyion* 9:1–12.
- Pateiro M, Gómez-Salazar JA, Jaime-Patlán M, Sosa-Morales ME y Lorenzo JM. 2021. Plant extracts obtained with green solvents as natural antioxidants in fresh meat products. *Antioxidants* 10:1–21.
- Radünz M, dos Santos Hackbart HC, Camargo TM, Nunes CFP, de Barros FAP, Dal Magro J, Filho PJS, Gandra EA, Radünz AL, y da Rosa Zavareze E. 2020. Antimicrobial potential of spray drying encapsulated thyme (*Thymus vulgaris*) essential oil on the conservation of hamburger-like meat products. *International Journal of Food Microbiology* 330:1–8.
- Vargas-Ramella M, Lorenzo JM, Zamuz S, Valdés ME, Moreno D, Guamán-Balcázar MC, Fernández-Arias, JM, Reyes JF y Franco D. 2021. The antioxidant effect of colombian berry (*Vaccinium meridionale* sw.) extracts to prevent lipid oxidation during pork patties shelf-life. *Antioxidants* 10:1–25.

- Wojtasik-Kalinowska I, Onopiuk A, Szpicer A, Wierzbicka A y Póltorak A. 2021. Frozen storage quality and flavor evaluation of ready to eat steamed meat products treated with antioxidants. *CYTA - Journal of Food* 19:152–162.
- Zeb A. 2021. *Phenolic Antioxidants in Foods: Chemistry, Biochemistry and Analysis*. 1st edition. Springer Switzerland. 556 pp.

Olvera-Aguirre G, Piñeiro-Vázquez AT, Segura-Campos MR, Chay.Canul AJ. 2023. Uso de extractos de plantas para conservar productos cárnicos *Bioagrociencias* 16 (2):41-50. DOI: <http://doi.org/10.56369/BAC.5131>



EVALUACIÓN IN VITRO DE EXTRACTOS ETANÓLICOS SOBRE LA INHIBICIÓN DE *Escherichia coli*, *Salmonella enteritidis* y *Listeria monocytogenes*

Gabriel Olvera-Aguirre¹, Angel T. Piñeiro-Vázquez¹, Maira Rubi Segura-Campos² y Alfonso Juventino Chay-Canul³.

¹Instituto Tecnológico de Conkal, Av. Tecnológico s/n. Conkal, Yucatán.

Resumen. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la inhibición de *E. coli*, *S. enteritidis* y *L. monocytogenes* mediante el uso de extractos etanólicos de hojas de *Gymnopodium floribundum*, *Bixa orellana*, *Melicoccus oliviformis* y *Lippia origanoides*. Se realizó la extracción con etanol al 50% de *Gymnopodium floribundum*, *Bixa orellana*, *Melicoccus oliviformis* y *Lippia origanoides* y se evaluó su actividad antimicrobiana comparada con un antibiótico sintético como testigo (ampicilina y gentamicina).

Introducción. Las infecciones patógenas son un problema de salud pública, los patógenos causan alrededor de 600 millones de enfermedades transmitidas por alimentos y 420000 muertes al año en todo el mundo. *Salmonella entérica serovar Enteritidis* (*S. enteritidis*) es un patógeno común encontrado en huevos y aves (1). *Escherichia coli* (*E. coli*), es otra bacteria patógena que se encuentra de manera natural en los intestinos de animales de sangre caliente como los rumiantes: bovinos, ovinos, caprinos y ciervos, también se encuentra en mamíferos como cerdos, caballos, conejos, perros, gatos y aves como pollos y pavos (2). *Listeria monocytogenes* (*L. monocytogenes*) es también una bacteria patógena gram positiva de importancia que causa enfermedades transmitidas por alimentos. En este sentido, se combaten estos patógenos con el uso de antibióticos sintéticos o naturales, siendo estos últimos los más demandados y aceptados en los últimos años por los consumidores ya que se ha descubierto que los primeros causan resistencia bacteriana. Las cepas bacterianas mencionadas se seleccionaron debido a su relación con las enfermedades transmitidas por los alimentos (Figura 1) que causan miles de defunciones cada año, impactando de manera negativa en la economía de la sociedad y de la industria alimentaria (3). Es por esto que el objetivo del presente trabajo fue evaluar la inhibición de *E. coli*, *S. enteritidis* y *L. monocytogenes* mediante el uso de extractos etanólicos de hojas de *Gymnopodium*

floribundum, *Bixa orellana*, *Melicoccus oliviformis* y *Lippia origanoides*.

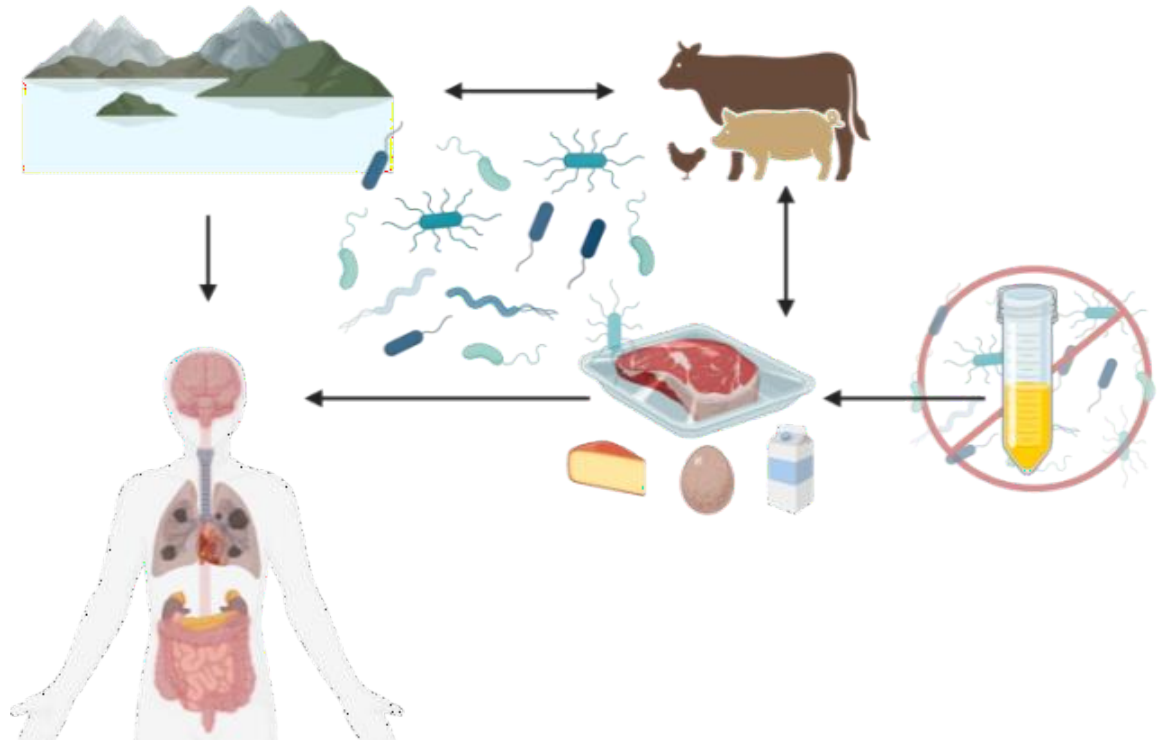


Figura 1. Transmisión y control de patógenos con extractos antimicrobianos. Creado con (4)

Materiales y Métodos. Se colectaron 500g de hojas maduras y jóvenes de *Gymnopodium floribundum*, *Bixa orellana*, *Melicoccus oliviformis* y *Lippia origanoides* en el municipio de Conkal Yucatán, México a 21.079113 N y -89.517276 O. Las hojas se lavaron, se desinfectaron, se secaron a 40 °C por 72 h y se pulverizaron en un molino Cyclotec™ 1093 Sample Mill (Thermo SCIENTIFIC, Galicia, España). Los extractos se realizaron a una concentración de 1:20 (p/v) en una mezcla de agua y etanol (1:1) con base en las técnicas descritas por Olvera-Aguirre et al. (5), con ligeras modificaciones. Las muestras se rotoevaporaron y se liofilizaron. Se utilizó la técnica de difusión en disco en agar Mueller Hinton del Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI) descrita por Madrazo-León et al. (6) para determinar la actividad antimicrobiana de los extractos. Las cepas bacterianas fueron proveídas de la colección de cultivos del laboratorio de biotecnología y microbiología de la Universidad Autónoma de Yucatán. Estas fueron: *Listeria monocytogenes* ATCC 51414, *Salmonella enteritidis* ATCC 13076 y *Escherichia coli* ATCC 10536. Los extractos fueron resuspendidos a 100 mg/mL de agua y se usó como testigo gentamicina para las gram negativas (*E. coli* y *S. enteritidis*) y ampicilina para la gram positiva (*L. monocytogenes*).

Resultados. Todos los extractos presentaron halos de inhibición significativamente diferentes a los controles ($p \leq 0.05$). En la Figura 2 se observa que sobre *L. monocytogenes* los extractos con la mayor inhibición fueron *M. oliviformis* y *G. floribundum*, sin diferencia estadísticamente significativa entre ellos, seguidos por *B. orellana*, y *L. origanoides*. En *S. enteritidis* ninguno de los extractos presento diferencia estadísticamente significativa entre sí. Por último, en *E. coli* se encontraron diferencias significativas entre *M. oliviformis* y *G. floribundum* y *B. orellana* y *L. origanoides* siendo los dos primeros extractos los que mayor inhibición presentaron contra esta cepa.

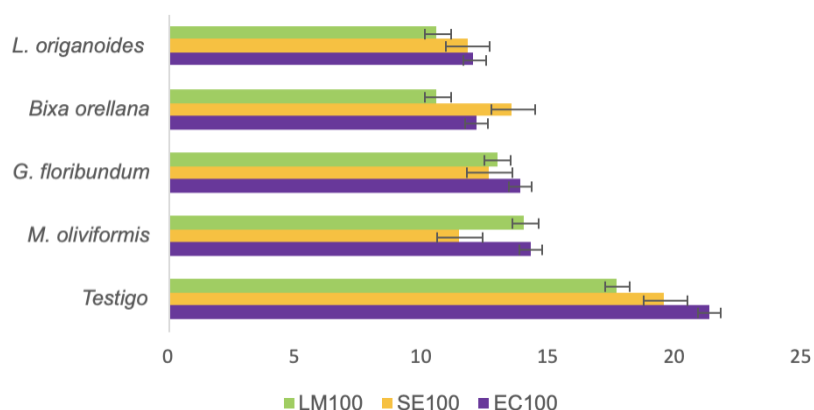


Figura 2. Gráfico de barras que muestra el halo de inhibición de los extractos y el testigo aplicados sobre los patógenos de estudio. LM100: *L. monocytogenes*; SE100: *S. enteritidis*; EC100: *E. coli*.

Discusión. Los extractos de *L. origanoides* y *B. orellana* han sido utilizados para la inhibición de microorganismos patógenos. Sarrazin et al. (7) determinaron que el uso de 1.25 $\mu\text{L/mL}$ de aceite esencial de *L. origanoides* es la concentración mínima bactericida para inhibir *E. coli*, en este estudio se utilizó una concentración de 100 mg/mL. El efecto inhibitorio de *L. origanoides* se atribuye a sus dos principales fotoquímicos que son carvacrol y timol. En *B. orellana* se sabe que los fitoquímicos que le confieren su actividad biológica contra estas cepas son taninos, flavonoides, fenoles, alcaloides, saponinas y triterpenos. En un estudio realizado (8) se reportó que al usar 700 μg de extracto de hojas de *B. orellana* se observó un halo de inhibición de 10.9 mm en *S. typhi* y 9.4 mm en *E. coli*. Los resultados del presente estudio confirman la actividad antimicrobiana de *L. origanoides* y *B. orellana* y reportan por primera vez la actividad antimicrobiana de *G. floribundum* y *M. oliviformis*.

Conclusiones. Los extractos de *G. floribundum* y *M. oliviformis* tienen potencial para inhibir cepas patógenas de *E. coli*, *S. enteritidis* y *L. monocytogenes* por lo que podrían ser utilizadas para reducir el impacto de las enfermedades causadas por estas cepas.

Referencias

He Y, Ren Y, Guo B, Yang Y, Ji Y, Zhang D, et al. Development of a specific nanobody and its application in rapid and selective determination of *Salmonella enteritidis* in milk. *Food Chem.* 2020 Apr;310:125942.

Organización Mundial de la Salud. *E. coli*. 2018.

Jiménez-Corona ME. Enfermedades transmitidas por alimentos [Internet]. 2018. Available from:

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/334668/7._Vigilancia_Epidemiologica-Ma._Eugenia-DGE-SSA.pdf

Biorender.Com. Biorender. 2021.

Olvera-Aguirre G, Mendoza-taco MM, Moo-Huchin VM, Roque-Jim A, Armando G. Effect of Extraction Type on Bioactive Compounds and Antioxidant Activity of *Moringa oleifera* Lam . Leaves. *Agriculture.* 2022;1–9.

Madrazo-León A, Fuentes-Ortíz AB, Morales-Mendoza LF, Segura-Campos MR. Antibacterial peptide fractions from chia seeds (*Salvia hispanica* L .) and their stability to food processing conditions. *J Food Sci Technol.* 2022;(613).

Palabras clave: Compuestos bioactivos, Microorganismos patógenos, Extractos

Autor responsable: Gabriel Olvera Aguirre

Correo electrónico: DD21800322@conkal.tecnm.mx **Área temática:** Agroindustrias y tecnología de alimentos **Modalidad de presentación:** Ponente oral



PLANTAS TROPICALES MULTIPROPÓSITO: DETERMINACIÓN DEL
CONTENIDO DE FENOLES Y FLAVONOIDES TOTALES MULTIPURPOUSE
TROPICAL PLANTS: DETERMINATION OF TOTAL PHENOLS AND FLAVONOIDS

¹*Olvera Aguirre G, ¹Piñeiro Vázquez AT, ²Segura Campos MR, ¹Sierra Vasquez AC,
³Chay Canul 3AJ, Ochoa Flores AA y ⁴Hernández-Becerra JA

¹ Instituto Tecnológico de México, Campus Conkal, CP 97345, Conkal, Yucatán, México.

² Facultad de Ingeniería Química, Universidad Autónoma de Yucatán, Periférico Norte Km.33.5, Colonia Chuburná de Hidalgo Inn, Mérida, Yucatán, México.

³ División Académica de Ciencias Agropecuarias. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, km 25. Carretera Villahermosa-Teapa, R/A La Huasteca. CP 86280. Colonia Centro Tabasco, Mexico.

⁴ División de Tecnología de Alimentos, Universidad Tecnológica de Tabasco, Villahermosa 86288, Tabasco, Mexico

*Autor de correspondencia: DD21800322@conkal.tecnm.mx

RESUMEN: El objetivo del presente estudio fue contabilizar por el método de espectrofotometría fenoles y flavonoides totales en 3 extractos de plantas multipropósito usadas en La Península de Yucatán. Una de las razones para usar extractos ricos en fenoles y flavonoides es por que benefician a la salud protegiendo del estrés y de enfermedades crónicas como cáncer al retardar el envejecimiento celular neutralizando los radicales libres. Fenoles y flavonoides son conocidos como antioxidantes fenólicos y tienen aplicaciones en alimentos, agricultura, medicina tradicional, cosmética, veterinaria y farmacia. Las plantas se colectaron en Yucatán, México, se elaboraron extractos con etanol-agua y se liofilizaron para su posterior cuantificación de fenoles y flavonoides totales. Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza ANOVA y las medias con diferencias estadísticamente



significativas se sometieron a una prueba de Tukey con un valor de $p \leq 0.05$. Al evaluar la cantidad de fenoles y flavonoides totales, se observó que el extracto con el mayor contenido de fenoles fue ts'its'ilché y el que presentó la mayor cantidad de fenoles fue sak kaat zin. Dada la elevada cantidad de fenoles y flavonoides en los extractos evaluados, estos, ejercen una gran actividad antioxidante y pueden ser una alternativa viable a los compuestos sintéticos utilizados para la conservación y/o desarrollo de alimentos, de productos agrícolas, médicos o farmacéuticos. Además, este estudio es un indicador que cimienta la investigación de la composición fitoquímica de ts'its'ilché, wuayúm y sak kaat zin, plantas con gran potencial antioxidante que no han sido exploradas a profundidad hasta el momento. Por último, es importante mencionar que es necesario realizar investigación más detallada de estas especies vegetales para su uso en humanos, animales o plantas, estudios de citotoxicidad, identificación de compuestos bioactivos y actividad antioxidante.

Palabras clave: Compuestos bioactivos, Metabolitos secundarios, Plantas medicinales, Antioxidantes.

INTRODUCCIÓN

Las hojas de algunas plantas tropicales y subtropicales en México tienen diversos usos comoculinarios para mejorar el sabor, prevenir el deterioro de los alimentos y en la medicina tradicional para tratar enfermedades leves a crónicas (Solís-Salas et al., 2021). Los extractos ricos en antioxidantes fenólicos como los fenoles y flavonoides son una fuente de moléculas con elevada actividad antioxidante (Estévez, 2021; Solís-Salas et al., 2021).

Los fenoles (taninos, ácido gálico, cafeico, ferulico, rosmarinico) son moléculas con actividades biológicas antioxidantes, por mencionar alguna de sus propiedades (López Herrera et al., 2008; Šimat et al., 2021)

Los flavonoides (flavones, flavonones, flavonoles, catequinas, quercetina, antocianina, kaempferol) tienen elevada actividad antioxidante y pueden regular la hipertensión (presión

arterial elevada) (Rathod et al., 2021; Solís-Salas et al., 2021)

En resumen, algunas razones del uso de los extractos de plantas es por su contenido de antioxidantes fenólicos que benefician a la salud protegiendo al cuerpo del estrés y de enfermedades cardiovasculares, neurodegenerativas, cáncer y retardando el envejecimiento celular al neutralizar los radicales libres, esto les confiere otros usos como en la cocina mejorando el sabor de los alimentos o en la agricultura atrayendo polinizadores.

Al evaluar los antioxidantes fenólicos se pueden clasificar las plantas proporcionando información relevante sobre su capacidad antioxidante y sus posibles usos contra enfermedades crónicas, conservación y desarrollo de alimentos o productos agrícolas. Por lo antes expuesto, el objetivo del presente estudio fue contabilizar por el método de espectrofotometría fenoles y flavonoides totales de 3 extractos de plantas multipropósito usadas en La Península de Yucatán.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia vegetal

Se identificaron y colectaron 500g de hojas de 3 plantas para su extracción y caracterización de *Gymnopodium floribundum*, *Mimosa bahamensis* y *Melicoccus oliviformis* en la unidad de producción e investigación “La Curva”, ubicada a 21.075058 N y -89.504310 O y en el municipio de Conkal Yucatán, México a 21.079113 N y -89.517276 O. Las hojas se lavaron 1 minuto con agua potable y se desinfectaron con 2 mL de plata coloidal al 0.08% por cada L de agua, se secaron en una estufa de convección (Fisher Scientific, EU) a 40 °C por 72 h y se molieron en un molino Cemotec™ 1090 Sample Mill (Thermo SCIENTIFIC, EU) para obtener partículas uniformes, y posteriormente se pulverizaron en un molino Cyclotec™ 1093 Sample Mill (Thermo SCIENTIFIC, EU). El polvo se almacenó en bolsas herméticamente cerradas a -20 °C hasta su extracción.

Extracción

Para la extracción sólido-líquido se siguió la técnica de Olvera-Aguirre et al. (2022), con modificaciones brevemente descritas: se utilizó etanol absoluto y agua destilada a una proporción de 1:1, para las proporciones soluto solvente se utilizaron 1:20. Se eliminaron



los solventes con un rotavapor (Rotavapor® R-215, baño maría B-49, bomba de vacío V- 700, y un controlador de vacío V-850 Buchi, Suiza). Posteriormente se reincorporó el remanente con 40 mL de agua y se congeló para su liofilización. Se almacenaron los extractos liofilizados protegidos de la luz y la humedad en frascos sellados a -20 °C

Flavonoides totales

Para el cálculo de flavonoides totales se utilizó la técnica de Uuh Narvaéz et al. (2022), descrita brevemente, se utilizaron 20 uL de la muestra o estándar a los cuales se les adicionaron 6 uL de NaNO_2 , posteriormente se añadieron 80 uL de H_2O , se dejaron reposar durante 5 minutos y se adicionaron 6uL de AlCl_3 , se dejaron reposar otros 6 min y se adicionaron 40 uL de NaOH y 40 uL de H_2O . La absorbancia se midió a 510 nm. Para realizar la curva de calibración se utilizaron concentraciones de 0-1000 mg/mL de catequina. Los resultados se expresaron como mg/g equivalentes de catequina.

Fenoles totales

Para el cálculo de fenoles totales se utilizó la técnica de Folin-Ciocalteu descrita por Uuh Narvaéz et al. (2022), con algunas modificaciones descritas brevemente, 10 uL de extracto se colocaron en 50 uL de Folin-Ciocalteu (1:10 en agua destilada), se homogeneizaron por 30 s y se incubaron a 25 °C por 2 minutos. Posteriormente se agregaron 40 uL de Na_2CO_3 (75 mg/mL), se incubó a 50 °C por 15 minutos protegido de la luz y se dejó reposar por 10 minutos. La absorbancia se midió a 760 nm. Para realizar la curva de calibración se utilizaron concentraciones de 0-1000 mg/mL de ácido gálico (GAL). Los resultados se expresaron como mg/g equivalentes de GAL.

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de los extractos se utilizó un diseño completamente al azar en donde la variable independiente fue la fuente del extracto y la variable dependiente la cantidad de flavonoides y fenoles totales.

Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza ANOVA y las medias con



diferencias estadísticamente significativas se sometieron a una prueba de Tukey con un valor de $p \leq 0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fenoles totales

En el **Cuadro 1** se observa que el extracto con mayor contenido de fenoles en MS fue ts'its'ilché, seguido de wuayúum y sak kaat zin.

Cuadro 1. Contenido de fenoles en extractos de 3 especies vegetales con diversos usos

Nombre común	Nombre científico	Fenoles mg/g eq GAL	DE
Ts'its'ilché	<i>Gymnopodium floribundum</i>	363.40 ^a	12.484
Wuayúum	<i>Melicoccus oliviformis</i>	356.84 ^b	21.44
Sak kaat zin	<i>Mimosa bahamensis</i>	205.17 ^c	6.101

DE: desviación estándar; mg/g eq de GAL: miligramos sobre gramo equivalentes de ácido gálico en materia seca. Literales diferentes representan diferencia estadísticamente significativa con un $p \leq 0.05$.

Luis et al. (2012) compararon la cantidad de fenoles extraídos en *Acacia melanoxylon*, *A. dealbata* y *Olea europea* con tres diferentes solventes: etanol-agua, metanol y acetona. Ellos encontraron que la mayor cantidad de fenoles extraídos fueron sobre *Acacia dealbata* con etanol y agua. Ellos encontraron 290.65 mg GAE/g MS, reflejando una actividad antioxidante muy fuerte.

Un ejemplo que demuestra la actividad antioxidante de los fenoles en el camu-camu (*Myrciaria dubai*) es al usarlo sobre carne de cordero molida, pues desactivo radicales

libresy aumentó la estabilidad lipídica de la carne (Olvera-Aguirre et al., 2023)

El contenido de fenoles encontrados para chaya es muy similar al reportado por Guillen-pootet al. (2022) que encontró un total de 22.84 mg/g GAE MS. En su estudio la extracción la realizó a una relación soluto solvente de 1:40, con agua etanol 1:1. De igual manera cuantificó wuayúum con un resultado de 10.48, resultado bastante alejado de lo encontrado en el presente estudio.

Por otro lado, no se encontraron reportes del contenido de fenoles totales para los extractos de ts'its'ilché y sak kaat zin.

Flavonoides totales

En el **Cuadro 2** se observa que el extracto con la mayor cantidad de flavonoides es Sakatsim,seguido por tzid zil che y wuaúyum. Por otra parte, no se encontró un reporte acerca del contenido de flavonoides en los extractos de Sakatsim, ts'its'ilché, jabín y wuayúum (huayaindia). Por lo que es el primer reporte de este antioxidante en estas especies vegetales.

Cuadro 2. Contenido de flavonoides en extractos de 3 especies vegetales con diversos usos

Nombre común	Nombre científico	Flavonoides mg/g eq CAT	DE
Sakatsim	<i>Mimosa</i>	397.45 ^a	73.789
	<i>bahamensis</i>		
Ts'its'ilché	<i>Gymnopodium</i>	228.97 ^b	22.828
	<i>floribundum</i>		
Wuayúum	<i>Melicoccus</i>	2.90 ^c	2.353
	<i>oliviformis</i>		

DE: desviación estándar; mg/g eq de CAT: miligramos sobre gramo equivalentes de catequina en materia seca. Literales diferentes representan diferencia estadísticamente significativa con un $p \leq 0.05$.



**XXXIV REUNION CIENTIFICA TECNOLÓGICA FORESTAL Y AGROPECUARIA TABASCO 2023
Y X SIMPOSIO INTERNACIONAL EN PRODUCCION AGROALIMENTARIA TROPICAL**

15, 16, 17 y 18 de noviembre, Villahermosa, Tabasco, México

Los flavonoides también actúan como antimicrobianos contra cepas como *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli* (Silva et al., 2020). También se han encontrado efectos inhibitorios contra virus como el VIH, virus simple del herpes tipo 1 (HSV-1), el virus de la polio tipo 1 y el virus de la para influenza tipo 3 (Bor et al., 2016).

Conocer el contenido de antioxidantes como los flavonoides nos demuestra porque ha sido tan importante el uso de algunas plantas en la medicina tradicional por milenios. Protegiendoo regenerando la salud de las personas en todo el mundo.

La actividad biológica de los antioxidantes fenólicos al utilizarlos en la medicina tradicional, por ejemplo, en la hipertensión, radica en la neutralización del exceso de radicales libres que produce el cuerpo y al mejorar la producción de óxido nítrico el cual es un vasodilatador (Rathod et al., 2021; Solís-Salas et al., 2021).

Los extractos con elevada cantidad de fenoles y flavonoides también se utilizan para alargarla vida de anaquel de los alimentos (Olvera-Aguirre et al., 2023), como repelentes de plagas atrayentes en la agricultura (Caferri et al., 2022) y como agentes antioxidantes en la industria farmacéutica, cosmética, odontológica y veterinaria (Escobar et al., 2020; Kachur & Suntres, 2020). Múltiples aplicaciones se pueden dar a las plantas y sus extractos si conocemos la distribución de sus antioxidantes sintéticos. Por otra parte, también es importante conocer su toxicidad para poder hacer un uso seguro de estos.

CONCLUSIONES

Al evaluar la cantidad de fenoles y flavonoides totales, se observó que el extracto con el mayor contenido de fenoles fue ts'its'ilché y el que presentó la mayor cantidad de fenoles fue sak kaat zin. Dada la elevada cantidad de fenoles y flavonoides en los extractos evaluados, estos, ejercen una gran actividad antioxidante y pueden ser una alternativa viable a los compuestos sintéticos utilizados para la conservación y/o desarrollo de alimentos, de

productos agrícolas, médicos o farmacéuticos. Además, este estudio es un indicador que



**XXXIV REUNION CIENTIFICA TECNOLÓGICA FORESTAL Y AGROPECUARIA TABASCO 2023
Y X SIMPOSIO INTERNACIONAL EN PRODUCCION AGROALIMENTARIA TROPICAL**

15, 16, 17 y 18 de noviembre, Villahermosa, Tabasco, México

cimenta la investigación de la composición fitoquímica de ts'its'ilché, wuayúm y sak kaat zin, plantas con gran potencial antioxidante que no han sido exploradas a profundidad hasta el momento. Por último, es importante mencionar que es necesario realizar investigación más detallada de estas especies vegetales para su uso en humanos, animales o plantas, estudios de citotoxicidad, identificación de compuestos bioactivos y actividad antioxidante.

LITERATURA CITADA

- Bor, T., Aljaloud, S. O., Gyawali, R., & Ibrahim, S. A. (2016). Antimicrobials from herbs, spices, and plants. In *Fruits, Vegetables, and Herbs: Bioactive Foods in Health Promotion* (Issue December 2017). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802972-5.00026-3>
- Cafferri, R., Guardini, Z., Bassi, R., & Dall'Osto, L. (2022). Assessing photoprotective functions of carotenoids in photosynthetic systems of plants and green algae. In E. T. Wurtzel (Ed.), *Carotenoids: Biological Functions of Carotenoids and Apocarotenoids in Natural and Artificial Systems* (pp. 53–84). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.mie.2022.04.006>
- Escobar, A., Pérez, M., Romanelli, G., & Blustein, G. (2020). Thymol bioactivity: A review focusing on practical applications. *Arabian Journal of Chemistry*, 13(12), 9243–9269. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2020.11.009>
- Estévez, M. (2021). Critical overview of the use of plant antioxidants in the meat industry: Opportunities, innovative applications and future perspectives. *Meat Science*, 181. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108610>
- Guillen-poot, M. A., Valencia-chan, L. S., Moo-puc, R. E., Richomme-peniguel, P., Rupasinghe, H. P. V., Manuel, L., Guillen-poot, M. A., Valencia-chan, L. S., Moo-puc, R. E., Richomme-, P., Guillen-poot, M. A., Valencia-chan, L. S., Esther, R., Richomme-peniguel, P., & Rupasinghe, H. P. V. (2022). Exploring the Potential Health Benefits of Plants and Fruits Traditionally Consumed in the Yucatan Peninsula. 0–11. <https://doi.org/10.29011/2574-7568.010111>
- Kachur, K., & Suntres, Z. (2020). The antibacterial properties of phenolic isomers, carvacrol

and thymol. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(18), 3042–3053.
<https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1675585>

López Herrera, M., Aurelia, M., Lorca, R., Antonio, J., Reyes, O., Mex, E., Guadalupe, J., Magaña, M., Ángel, M., García, S., Roberto, J., & Vázquez, S. (2008). Contenido nutritivo y factores antinutricionales de plantas nativas forrajeras del norte de Quintana Roo. *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias*, 46(2), 205–215.

Luis, A., Gil, N., Amaral, M. E., & Duarte, A. P. (2012). Antioxidant activities of extracts from *Acacia melanoxylon*, *Acacia dealbata* and *Olea europaea* and alkaloids estimation. July 2014.

Olvera-aguirre, G., Mendoza-taco, M. M., Moo-huchin, V. M., Roque-jim, A., & Armando, G. (2022). Effect of Extraction Type on Bioactive Compounds and Antioxidant Activity of *Moringa oleifera* Lam . Leaves. *Agriculture*, 1–9.

Olvera-Aguirre, G., Sanginés-García, R., Sánchez-Zarate, A., Ochoa-Flores, A., Segura-Campos, M. R., Vargas-Bello-Pérez, E., & Chay-Canul, A. J. (2023). Heliyon Using plant-based compounds as preservatives for meat products: A review. 9(June).
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17071>

Rathod, N. B., Kulawik, P., Ozogul, F., Regenstein, J. M., & Ozogul, Y. (2021). Biological activity of plant-based carvacrol and thymol and their impact on human health and food quality. *Trends in Food Science and Technology*, 116(March), 733–748.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.08.023>

Silva, S. A. de N. M., Barros, A. B., Souza, J. M. T., Moura, A. F., Araújo, A. R. de, Mendes, M. G. A., Daboit, T. C., Silva, D. A. da, Araújo, A. J., & Marinho Filho, J. D. B. (2020). Phytochemical and biological prospection of *Mimosa* genus plants extracts from Brazilian northeast. *Phytochemistry Letters*, 39(July), 173–181.
<https://doi.org/10.1016/j.phytol.2020.08.010>

Šimat, V., Čagalj, M., Skroza, D., Gardini, F., Tabanelli, G., Montanari, C., Hassoun, A., & Ozogul, F. (2021). Sustainable sources for antioxidant and antimicrobial compounds used in meat and seafood products. *Advances in Food and Nutrition Research*, 97, 55–118.
<https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2021.03.001>

Solís-Salas, L. M., Sierra-Rivera, C. A., Cobos-Puc, L. E., Ascacio-Valdés, J. A., & Silva-Belmares, S. Y. (2021). Antibacterial potential by rupture membrane and antioxidant capacity of purified phenolic fractions of *Persea americana* leaf extract. *Antibiotics*, 10(5).
<https://doi.org/10.3390/antibiotics10050508>

¿Son los productos cárnicos de ovino una opción para el paladar en Latinoamérica?



Rubisalen Diaz Herrera¹, Gabriel Olvera Aguirre^{2*}, Leonor del Carmen Pérez-Robles³, Lourdes Baeza Mendoza³, Ricardo Lopes Dias Da Costa⁴, Alfonso Juventino Chay Canul³

Introducción

La carne de ovino aporta nutrientes al organismo humano y es de una crianza noble. Este ganado crece de manera óptima donde otro tipo de ganado simplemente no se desarrollaría. Es una fuente de dinero y alimento para productores pequeños (incluyendo producciones familiares), los cuales pueden criar animales en su propio patio.

Incluso con estas razones, es una carne que no se aprecia en todas las zonas de los países Latinoamericanos. También, es carne que tiene muchos problemas de estandarización de crianza y distribución y logística, algunas veces es difícil consumirla porque no se encuentra con facilidad en los sitios de venta de carne, a veces, solo se encuentra en supermercados especializados o regiones específicas de los países de Latinoamérica. Estos casos incrementan significativamente el precio haciendo inviable su compra para la mayoría de la población.

De hecho, el consumo mundial de carne de ovino es bajo en comparación con carnes de

Resumen

Este trabajo tiene por objetivo mostrar una perspectiva general del consumo de carne ovina en algunos países de Latinoamérica. La carne de ovino es un alimento nutritivo y con un sabor característico, además es de alto valor en el mercado de algunas regiones de Latinoamérica. Algunos países europeos entienden que es necesario realizar estudios de consumidor para vender el producto final ofertado, por eso, Latinoamérica comienza a realizar este tipo de investigación y fomentar el consumo de carne ovina implementando nuevos productos. En este sentido, se desarrollan y aplican tecnologías de transformación de la carne para dar valor agregado y diversificar el consumo, abriendo el panorama para el consumidor y que comience a apreciar esta carne y sus productos cárnicos. Hay que destacar que la carne de ovino tiene la ventaja de ser una de las carnes que se puede producir bajo condiciones agrestes en donde la mayoría del ganado no prosperaría. En conclusión, es importante promover la carne ovina por sus beneficios nutricionales, su sabor característico y su noble crianza.

¹Egresado del programa de Ingeniería en alimentos, División de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

²Estudiante del Doctorado en Ciencias en Agricultura Tropical Sustentable del Instituto Tecnológico de Conkal, Yucatán. [*DD21800322@conkal.tecnm.mx](mailto:DD21800322@conkal.tecnm.mx)

³Profesor Investigador de la División de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

⁴Investigador del Instituto de Zootecnia/Apta/SAA-SP. São Paulo, Brasil.



vacuno, cerdo o aves de corral. En 2021, el consumo mundial de ovino se situó en una media de 1.78 kg per cápita (en peso al por menor), con marcadas diferencias regionales: 1.53 kg en Europa, 0.57 kg en América del Norte, 0.60 kg en América Latina, 2.14 kg en África, 4.99 kg en Oceanía y 1.95 kg en Asia (OECD/FAO, 2021; Etaio et al., 2023). Por ello este trabajo tiene por objetivo mostrar una perspectiva general del consumo de carne ovina en algunos países de Latinoamérica y el potencial de los productos cárnicos (PC) elaborados con este tipo de carne.

Desarrollo

La carne ovina no es un alimento que se aprecia en todas las regiones de Latinoamérica. Existen regiones e incluso países como Argentina en donde no existe una cadena de comercio establecida, la tecnología es escasa y los índices de producción son bajos. Como consecuencia, la cadena de suministro es deficiente al punto de no tener espacio para canales de un peso superior a los 16 kg y algunas ocasiones es difícil encontrar la carne en los puntos de venta.

Sin embargo, esto también depende de la región y los cambios culturales y perceptivos de la población que demandan productos saludables y nutritivos. Existen zonas en donde la carne de cordero es apreciada y consumida por sus cualidades nutricionales (Pecotich, 2021).

En México, la importación de carne ovina es considerable y mucha de la carne que se vende es consumida en forma de barbacoa o mixiotes (principalmente en el centro del país) o de manera secundaria como cortes de alto valor en restaurantes y de forma minoritaria como productos cárnicos. En regiones del país como en La Península de Yucatán también es difícil encontrar carne ovina en los puntos de venta, la producción ovina es nueva, pero en expansión. Yucatán pasó de producir 3 toneladas en el 2000 a 43 toneladas en el 2021, alcanzando el precio más alto del país. La carne ovina también se registró como la carne más cara del país, sin embargo, el consumo per cápita es bajo (alrededor de 690 g) y se deben buscar alternativas para promover su consumo y aumentar su vida útil para reducir el desperdicio de alimento y la producción de desechos sólidos.

Por otro lado, si bien Brasil tiene un rebaño estimado en 22 millones de ovejas, prácticamente el 80% de la carne que se consume es importada (en su mayoría de Uruguay), siendo las regiones Noreste y Sur las mayores productoras y la región Sureste el mayor centro consumidor del país. Sin embargo, el consumo per cápita es muy similar al de México (alrededor de 700 g/año), siendo uno de los principales obstáculos la falta de mataderos y el sacrificio clandestino. No obstante, la carne de ovino ha ido ganando protagonismo con nuevos métodos de

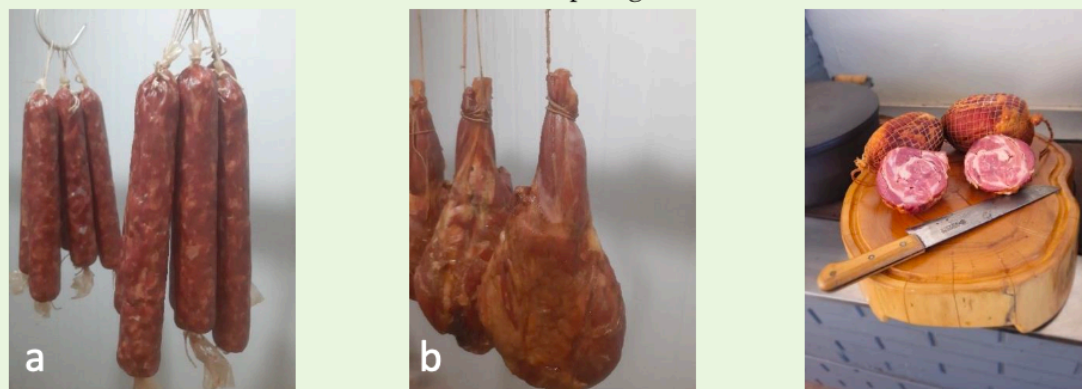


Figura 1. De izquierda a derecha: a) Salame, b) PC ahumados de carne ovina. Elaborados en Brasil. Fotos: Ricardo Lopes Dias Da Costa.



preparación y es muy apreciada en forma de PC, como carnes ahumadas, salamis, hamburguesas, chorizo, pepperoni e incluso embutidos (salchicha), conquistando, sobre todo, un nicho religioso en el mercado de aquellos que no pueden comer carne de cerdo.

Es importante destacar que los embutidos son parte fundamental de la tradición gastronómica en América latina y sus países. Estas naciones siguen manteniendo viva una tradición que llegó con los colonizadores para quedarse y formar parte de la identidad gastronómica (Gusto Latino, 2021). Por ello, los “**Embutidos, son herencia gastronómica en América**”, traída por los europeos durante la época de la colonia (Gusto Latino, 2021).

Entre los principales embutidos en América latina destacan:

- Chorizo:** Argentina, Bolivia, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, México, Paraguay, Perú, República Dominicana, Uruguay, Venezuela.
- Tandil:** Argentina.
- Longanizas y longanillitas:** Chile, Colombia, Uruguay, México.
- Arrollados:** Chile.
- Chorizo parrillero o choricillo:** Chile.
- Morcilla:** Chile, Colombia, Panamá.

Las investigaciones más recientes en el sureste de México demuestran que en los últimos años se desarrollan productos cárnicos en los estados de Tabasco (chorizo, butifarra y longaniza) y Yucatán (hamburguesas) con la intención de estudiar la aceptación de estos, de aprovechar esta carne que es subvalorada y de expandir el consumo de carne ovina dándole un valor agregado elaborando PC (Calao-Iglesiás et al., 2023).

Otro valor agregado es conservar la carne y los PC. Aunado a esto, en Yucatán y Tabasco se evalúa la adición de extractos de plantas ricas en antioxidantes fenólicos para mejorar calidad, sabor y vida útil de PC elaborados a partir de carne ovina y extractos de plantas encontradas en la región. Las investigaciones demuestran que los consumidores están aceptando los productos prototipo ofrecidos hasta el momento. Por ello, se sugiere continuar investigando estos productos y tener una alternativa a los productos ofrecidos en el mercado, a los cuales en ocasiones no se tiene fácil acceso por parte de comunidades que fácilmente pueden criar un borrego en traspatio y elaborar sus propios PC, preservarlos y consumirlos a lo largo de un periodo más prolongado que si simplemente conservan la carne sin ningún tipo de procesamiento (Olvera-Aguirre et al., 2023).



Figura 2. De izquierda a derecha: a) longaniza y b) chorizo de carne ovina ahumados y c) hamburguesas de carne ovina (con la adición de extractos vegetales).

Fotografías tomadas por: Alfonso J. Chay Canul (a y b) y Gabriel Olvera Aguirre (c).



En Colombia por ejemplo el Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sector Agropecuario Colombiano: Cadena Productiva Ovina-Caprina estableció en el 2022, aspectos para dar un valor agregado adecuado y estrategias de comercialización de la carne ovina, porque si un consumidor no valora el producto final, los esfuerzos que se realicen para elaborar un PC no tienen sentido. En Colombia, como en los países antes mencionados el consumo de carne ovina depende de la región en donde se comercialice. Por ejemplo, en el principal corredor turístico de Santander, los restaurantes demandan carne de ovino pues es uno de los ingredientes principales de sus patillos.

Aunque es verdad que el consumo y la producción de carne ovina es relativamente baja en comparación con la carne de cerdo, pollo y ganado vacuno. Una de las estrategias que han utilizado países de Europa para alcanzar el éxito en la comercialización de esta carne son los estudios de consumidores puesto que son los que tienen la última palabra a lo hora de consumir el PC. Colombia ha tratado de seguir la tendencia con la carne ovina, pero la investigación es muy limitada y muchos de los trabajos no se publican y se centran en reproducción, nutrición, saneamiento y salud (Sepúlveda & Mancilla, 2022).

Conclusión

En los diferentes países de Latinoamérica, la carne ovina es poco consumida, pero con un gran potencial de crecimiento y en constante investigación, es apreciada en regiones específicas. El consumo de carne ovina se promueve en Latinoamérica mediante el desarrollo de nuevos productos por sus beneficios nutricionales, su sabor característico y su noble crianza. Además, los productos cárnicos procesados de ovino no son sólo una

opción más para incrementar el consumo por parte de la población, ya que la mayoría nunca ha probado la carne de ovino, sino también una gran oportunidad para los productores, ya que algunos productos pueden sumar hasta el 300% del valor de la carne vendida.

Referencias

- Calao-Iglesiás, G., Muñoz-Osorio, G. A., & Chay-Canul, A. J. 2023. Carne de ovejas de desecho para embutidos. *Bioagrociencias*, 16(2). <http://doi.org/10.56369/BAC.493>
- Etaio, I., Bravo-Lamas, L., Pérez-Elortondo, F. J., Barron, L. J. R., & Aldai, N. 2023. Suckling or non-suckling? Sensory characterization of commercialized lamb meat according to feeding. *Food Science & Nutrition*, 11: 6544–6559. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3604>
- GUSTOLATINO 2021 Embutidos, herencia gastronómica en América. Consultado el 1 abril del 2024 en: <https://gustolatinogastronomia.com/embutidos-herencia-gastronomica-en-america/>
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)/ Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2021. Table C.29.2—Sheep meat projections: Consumption, food. OECD-FAO Agricultural Outlook 2021–2030. <https://doi.org/10.1787/30dfc724-en>
- Olvera-Aguirre, G., Piñeiro-Vázquez, Á. T., Segura-Campos, M. R., & Chay-Canul, A. J. 2023. Uso de extractos de plantas para conservar productos cárnicos. *Bioagrociencias*, 16(2). <http://doi.org/10.56369/BAC.493>
- Pecotich, J. M. 2021. Análisis del sector minorista cárnico ovino de Junín de los andes: problemas y transversalidades (2015 - 2021). Universidad Nacional de la Pampa. <https://repo.unlpam.edu.ar/bitstream/handle/unlpam/8892/atg-pecana021%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sepúlveda, W. S., & Mancilla, N. O. 2022. Marketing de la Carne Ovina y Caprina en Colombia (1st ed.). <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/26092/Marketing%20de%20la%20Carne%20Ovina.pdf?sequence=1>

