

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA

FACULTAD DE ZOOTECNIA Y ECOLOGÍA

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

**EFFECTO ANTIOXIDANTE Y ANTIMICROBIANO DEL ÁCIDO FERÚLICO EN LA
ELABORACIÓN DE CARNE SECA DURANTE SU VIDA EN ANAQUEL**

POR:

I.Z.S.P. ANY GUADALUPE HERNÁNDEZ JAIME

**TESIS PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
GRADO DE**

MAESTRO EN CIENCIAS

CHIHUAHUA, CHIH., MÉXICO

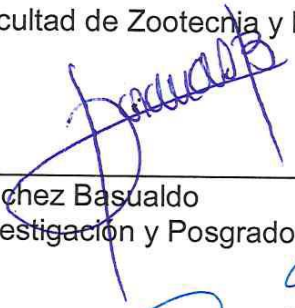
ENERO 2025



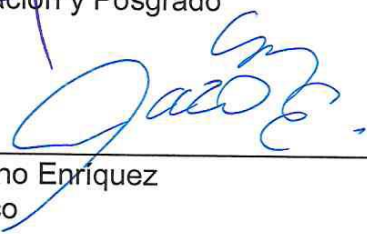
Efecto antioxidante y antimicrobiano del ácido ferúlico en la elaboración de carne seca durante su vida en anaquel. Tesis de maestría presentada por Any Guadalupe Hernández Jaime como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias, ha sido aprobado y aceptado por:



D.Ph. Alfredo Pinedo Álvarez
Director de la Facultad de Zootecnia y Ecología



Dra. Rosalía Sánchez Basualdo
Secretaria de Investigación y Posgrado



Dr. Lauro Manuel Espino Enríquez
Coordinador Académico



Ph.D. América Chávez Martínez
Presidente

13 Enero 2025

Fecha



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

Fecha: 27 de noviembre, 2024

Después de haber reunido la revisión final del trabajo de tesis a nivel Maestría, bajo el nombre: Efecto antioxidante y antimicrobiano del ácido ferúlico en la elaboración de carne seca durante su vida en anaquel

Elaborado por: Any Guadalupe Hernández Jaime

Los integrantes del comité están de acuerdo en que dicho trabajo satisface los requisitos para su publicación (indicándolo con una "X"), desde el punto de vista de:

Puesto en comité	Nombre y firma	Contenido Técnico	Análisis de la Información	Formato (estilo y forma)
Asesor:	América Chávez Martínez 	X	X	X
Representante área relacionada:	Ana Luisa Rentería Monterrubio 	X	X	X
Representante área estadística:	Eduardo Santellano Estrada 	X	X	X
Representante de la coordinación:	Francisco Castillo Rangel 	X	X	X


Dr. Lauro Manuel Espino Enríquez
Unidad/Coordinación Académica
Vo. Bo.

Fecha actualización: octubre 2024

FACULTAD DE ZOOTECNIA Y ECOLOGÍA
Periférico Francisco R. Almada km 1
C.P. 31453 Chihuahua, Chih.
Tel. 52 (614) 434-0363, 434-0304, 434-0458 fax 434-0345
www.fz.uach.mx

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos más débiles y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad. Le doy gracias a mis padres Martín y Paola por siempre apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado y, sobre todo, por siempre enseñarme que todo lo que me propongo se puede lograr.

A mi esposo Eduardo por siempre apoyarme en todos los momentos y decisiones que he tomado, por tenerme tanta paciencia y amor, por darme el regalo más bonito de todos, a nuestra bebé Kaili.

A mis suegros Martha y Manuel, por siempre estar cuando más los necesito y apoyarme tanto en el transcurso de mi estancia académica. A mi cuñado Zaid por siempre sacarme una sonrisa.

A mi asesora de tesis América Chávez por haberme brindado la oportunidad de desarrollar mi tesis, por todo el apoyo brindado y confianza puesta en mí, por darme la oportunidad de crecer profesionalmente y aprender cosas nuevas, por brindarme su amistad.

A mis compañeros de laboratorio Eunice, Tony y Gera por hacerme tan amena mi estancia académica, por siempre estar cuando los necesito y siempre sacarme una sonrisa.

A mis maestros, la Dra. Ana Rentería, Dr. Paco Castillo y el señor de procesado por su paciencia y amor como docentes.

Dedicatoria

Dedico esta tesis a mi papá por enseñarme que nunca nos debemos de rendir, por siempre estar al pendiente de mí, por enseñarme a cuidar y tener ese respeto tan grande que los animales se merecen. A mi mamá, por siempre estar echándome porras en cada paso que logro. A mi esposo Eduardo, que siempre me estuvo apoyando en cada paso que daba sin importar cuantas veces tropezara, por estar ahí en cada paso que doy, por siempre demostrarme que todo lo que quiero lo puedo lograr y apoyarme tanto con nuestra bebé. A Kaili, porque todo lo que hago es gracias a ella, por darme la felicidad más grande al ser su mamá. Al igual que a mis amigas que me hicieron compañía en los momentos más difíciles. A mis maestros que nunca desistieron de enseñarme, sin importar cuantas veces me equivocara. Dedico esta tesis a todas las personas especiales que me acompañaron en esta etapa, aportando a mi formación tanto profesional y como ser humano.

CURRICULUM VITAE

La autora nació el 04 de diciembre de 1998 en Chihuahua, Chih, México.

2016 – 2020	Estudios de Licenciatura de Ingeniero Zootecnista en Sistemas de Producción en la Facultad de Zootecnia y Ecología. Universidad Autónoma de Chihuahua. En CD. Chihuahua, Chihuahua, México.
-------------	--

RESUMEN

EFFECTO ANTIOXIDANTE Y ANTIMICROBIANO DEL ÁCIDO FERÚLICO EN
LA ELABORACIÓN DE CARNE SECA DURANTE SU VIDA EN ANAQUEL

POR:

I.Z.S.P. ANY GUADALUPE HERNÁNDEZ JAIME

Maestría en Ciencias

Secretaria de Investigación y Posgrado

Facultad de Zootecnia y Ecología

Universidad Autónoma de Chihuahua

Presidente: Ph.D. América Chávez Martínez

El ácido ferúlico (AF) es un compuesto fenólico antimicrobiano y antioxidante localizado en la pared celular de las plantas. El objetivo de este estudio fue evaluar el potencial antimicrobiano y antioxidante del AF en carne seca. Se evaluaron cuatro tratamientos: carne seca sin nitritos ni AF (tratamiento de control; TC), carne seca con nitritos (TN), carne seca con 0.05 % de AF (TF05) y carne seca con 0.1 % de AF (TF1). Se evaluó la composición fisicoquímica, contenido de sodio, color, actividad antioxidante (ABTS, DPPH y FRAP) y oxidación lipídica (TBARS), estas últimas dos determinaciones se realizaron a los días 1, 30, 60, 90, 120, 150 y 180. Se encontraron diferencias en el contenido de grasa y humedad ($p < 0.05$). El TN presentó el mayor contenido de sodio ($p < 0.05$). Con relación al color, el TC presentó los menores valores de L^* , a^* y b^* ($p < 0.05$). Durante el periodo de almacenamiento se observó una disminución de

la actividad antioxidante en todos los tratamientos ($p < 0.05$). Siendo el TF1 el que presentó la mayor actividad antioxidante, seguido del TF05, TN y, por último, el TC ($p < 0.05$). Asimismo, los tratamientos con adición de AF presentaron menores conteos de mesófilos aerobios ($p < 0.05$). El AF al 0.1 % redujo la oxidación y presentó la mayor actividad antioxidante. Por lo tanto, este presenta potencial como antioxidante natural para sustituir el uso de nitritos en la elaboración de carne seca.

ABSTRACT

EFFECT OF FERULIC ACID ADDITION TO BEEF JERKY ON ITS ANTIOXIDANT AND ANTIMICROBIAL ACTIVITY DURING SHELF LIFE

By

Any Guadalupe Hernández Jaime

Ferulic acid (FA) is an antimicrobial and antioxidant phenolic compound located in the cell wall of plants. The objective of this study was to evaluate the antimicrobial and antioxidant potential of FA in beef jerky. Four treatments were evaluated: beef jerky without nitrite and FA (control treatment; CT), beef jerky with nitrite (NT), beef jerky with 0.05 % FA (FT05) and beef jerky with 0.1 % FA (FT1). The physicochemical composition, sodium content, color, antioxidant activity (ABTS, DPPH and FRAP) and lipid oxidation (TBARS) were evaluated; the latter two determinations were carried out at days 1, 30, 60, 90, 120, 150 and 180. The NT presented the highest sodium content ($p < 0.05$). Regarding color, the CT presented the lowest values of L^* , a^* and b^* ($p < 0.05$). During the storage period, a decrease in antioxidant activity was observed in all treatments ($p < 0.05$). FT1 presented the highest antioxidant activity, followed by FT05, NT and, finally, CT ($p < 0.05$). Likewise, the treatments with FA addition presented lower aerobic mesophilic counts ($p < 0.05$). The 0.1 % FA reduced oxidation and presented the highest antioxidant activity. Therefore, it presents potential as a natural antioxidant to substitute the use of nitrites in the processing of beef jerky.

CONTENIDO

RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	ix
LISTA DE CUADROS.....	xiii
LISTA DE GRÁFICAS.....	xiv
LISTA DE FIGURAS.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
Productos Cárnicos.....	3
Secado de Productos Cárnicos.....	3
Carne Seca.....	3
Características fisicoquímicas.....	4
Factores que Afectan el Crecimiento de Microorganismos....	4
Sal.....	4
Aditivos.....	4
Potencial de hidrógeno.....	5
Actividad de agua.....	5
Características Microbiológicas de la Carne seca.....	5
Oxidación Lipídica y su Relación con la Calidad de la Carne.....	7
Antioxidantes.....	7
Antioxidantes sintéticos.....	7
Química del Nitrito y Nitrato.....	8

Efectos de los Nitritos en la Salud.....	8
Antioxidantes naturales.....	9
Acido Ferúlico.....	10
Mecanismos de acción y efecto antioxidante.....	12
Importancia como ingrediente funcional.....	13
MATERIALES Y METODOS.....	14
Localización del Área de Estudio.....	14
Tratamientos y Formulación de la Salmuera.....	14
Elaboración de la Carne Seca.....	14
Composición Fisicoquímica.....	15
Potencial de Hidrógeno.....	15
Determinación de Sodio.....	15
Color.....	16
Actividad Antioxidante.....	17
ABTS.....	17
DPPH.....	18
FRAP.....	18
Oxidación de Lípidos.....	19
Análisis Microbiológicos.....	20
Evaluación Sensorial.....	21

Análisis Estadístico.....	21
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
Composición Fisicoquímica.....	23
Color.....	26
Actividad Antioxidante por el Método ABTS.....	28
Actividad Antioxidante por el Método DPPH.....	31
Actividad Antioxidante por el Método FRAP.....	33
Oxidación de Lípidos.....	35
Análisis Microbiológico.....	38
Evaluación Sensorial	40
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	41
REVISION DE LITERATURA.....	42

LISTA DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Composición fisicoquímica (%) de la carne seca (media $\pm$ desviación).....	24
2	Valores de color L*, a*, b* y diferencia de color (ΔE) de la carne seca (media $\pm$ desviación).....	27
3	Mesófilos aeróbicos totales de la carne seca (media $\pm$ desviación estándar).....	39

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica	Página
1 Actividad antioxidante por el método ABTS de la carne seca (media $\pm$ desviación estándar).....	29
2 Actividad antioxidante por el método DPPH de la carne seca (media $\pm$ desviación estándar).....	32
3 Actividad antioxidante por el método FRAP de la carne seca (media $\pm$ desviación estándar).....	34
4 Oxidación de la carne seca (media $\pm$ desviación estándar).....	37

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Estructura química del ácido ferúlico.....	11



INTRODUCCIÓN

La carne y sus subproductos son una fuente importante de macro y micronutrientes, tales como proteína, grasa, vitaminas y minerales. Estos componentes hacen que la carne sea un medio ideal para el crecimiento de microorganismos deteriorativos y patógenos (Ramírez et al., 2018). Dado que la carne es un alimento altamente perecedero, esta ha sido procesada y transformada en una gran variedad de productos con el objetivo de conservarla durante un largo periodo de tiempo; los procesos más comunes para la conservación de la carne son refrigeración, congelación, cocción, salado, curado y deshidratación (Barcellos et al., 2011; Duarte et al., 2019). Los productos cárnicos curados consisten en partes comestibles cárnicas a las cuales se les adicionan sales de curado, entre ellas las más utilizadas en la industria cárnica son el cloruro de sodio, especias y nitritos/nitratos (Villamil et al., 2021). Uno de los productos cárnicos curados es la carne seca, misma que se define como un producto cárnico curado en seco, triturado o no, que han sido deshidratado para alargar su vida en anaquel (ŠUPUT et al., 2019). La carne seca es usualmente elaborada con nitritos/nitratos, los cuales desempeñan la función de fijación de color, además de prevenir el desarrollo de algunas bacterias (Alahakoon et al., 2015; Karwowska et al., 2020). En las últimas décadas se ha cuestionado el uso de nitritos/nitratos debido a que su ingesta, en altas concentraciones, puede causar problemas de intoxicación y llevar a la generación de nitrosamidas (Kalaycioglu et al., 2019; Karwowska & Kononiuk, 2020). Aunado a esto, la carne seca puede presentar diversos defectos de calidad; entre los principales está la



oxidación, misma que conduce a la rancidez, alterando el color, textura, aroma y contenido nutrimental (Mediani et al., 2022), lo que provoca cambios significativos en su aceptabilidad. Una forma de reducir la oxidación en la carne seca es adicionar antioxidantes en la salmuera durante el proceso de curado (Pateiro et al., 2018).

Una alternativa para evitar el uso de los nitritos/nitratos en el proceso de curado de la carne seca, es elaborarla con ácido ferúlico (AF). Este es un compuesto bioactivo que se encuentra en la pared celular de plantas, frutas, vegetales, alimentos y granos de cereales (Valadez et al., 2021) al que se le atribuyen propiedades antioxidante, antiinflamatorio, anticancerígeno, antimicrobiano y regulador de glucosa en problemas de diabetes (Olivera et al., 2017; Kuppusamy et al., 2019). Por consiguiente, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto antioxidante y antimicrobiano del ácido ferúlico en la elaboración de carne seca durante su vida en anaquel.



REVISIÓN DE LITERATURA

Productos Cárnicos

Los productos cárnicos son alimentos que contienen principalmente carne y también pueden contener grasa, agua, sal, agentes curativos, especias y otros ingredientes. Desde el principio de los tiempos, la carne ha sido procesada y convertida en una gama de productos alimenticios con el objetivo de conservarla e incrementar la variedad de productos que se derivan de ella (Mediani et al., 2022).

Secado De Productos Cárnicos

Debido a que es eficaz y asequible, el secado es una de las técnicas de conservación más antiguas y populares (Aksoy et al., 2019). Este consiste en reducir o eliminar el contenido de agua hasta obtener un alimento seco con mayor vida en anaquel. La temperatura, el tiempo, la humedad relativa y el contenido de agua son parámetros cruciales en el proceso de deshidratación y que determinan la calidad de la carne seca (Mishra et al., 2017).

Carne Seca

La carne deshidratada se conoce como músculo entero o productos cárnicos triturados y formados que han sido deshidratados para eliminar el contenido de agua en la carne que dificultará el crecimiento de reacciones microbianas y bioquímicas para prolongar su vida útil y mejorar la calidad de la carnes (ŠUPUT et al., 2019). Desde entonces hasta ahora, los alimentos, incluida la carne, se han deshidratado o secado mediante diversas técnicas. La técnica de secado más convencional fue el secado al sol; sin embargo, este método se ha sustituido por el secado mecánico (Moses et al., 2014).



Características fisicoquímicas. Las características fisicoquímicas se refieren a los aspectos físicos y químicos intrínsecos de los alimentos. Las características fisicoquímicas de la carne seca incluyen el pH, actividad del agua, oxidación de lípidos, composición proximal y color. La calidad de la carne seca además de estar influida por estos parámetros, está determinada por la cantidad de grasa que contiene (Mishra et al., 2017).

Factores que Afectan el Crecimiento de los Microorganismos

Además de la carne como ingrediente principal de los productos cárnicos deshidratados, comúnmente se agregan varios ingredientes como sal, especias y aditivos. Aunque estos ingredientes se adicionan para mejorar las características organolépticas del chorizo, en ocasiones pudieran representar una función como conservador al inhibir o evitar el crecimiento microbiano (Bampi et al., 2019).

Sal. El ingrediente que se agrega con más frecuencia a los productos cárnicos secos es la sal o cloruro de sodio (NaCl) (Dimakopoulou et al., 2017). La sal es esencial no sólo como condimento, sino también por su efecto deshidratante que favorece su conservación al ayudar a la deshidratación y evitar el crecimiento microbiano (Barat et al., 2011).

Aditivos. Durante el proceso de secado de la carne se añaden diversos aditivos que tienen como objetivo conseguir el color deseado, inhibir el crecimiento microbiano y/o aumentar su aceptación y vida en anaquel (Zdanowska et al., 2018a). Uno de los conservadores comúnmente utilizado es el sorbato de potasio, cuyo principal objetivo es actuar como conservador al



reducir o inhibir el crecimiento microbiano, lo que a su vez prolongará la vida útil de la carne seca. Este aditivo presenta efectos antimicrobianos contra *Salmonella* spp. y *Listeria monocytogenes* (González et al., 2007; Jia et al., 2021). La adición de sorbato de potasio, junto con otros factores como el pH, la a_w y la temperatura han demostraron tener éxito en la inactivación de *Salmonella* spp. y *Clostridium botulinum* (Govari & Pexara, 2015).

Potencial de Hidrógeno (pH). El pH de los productos cárnicos secos se ve significativamente afectado por los procedimientos de secado. El pH de la carne seca oscila entre 5.4 y 5.8 (Dong-Gyun et al., 2012). Estos valores deben mantenerse para evitar la desnaturalización de las proteínas de la carne (Mediani et al., 2022).

Actividad de Agua. Uno de los elementos críticos que regulan el crecimiento microbiano y la actividad enzimática en los alimentos secos es la actividad de agua (a_w , por sus siglas en inglés). En estos alimentos, la a_w suele ser inferior a 0.7 (Lim et al., 2012a). El uso de cloruro de sodio (NaCl) en el proceso de secado reduce la a_w de la carne (Petit et al., 2014).

Características Microbiológicas De La Carne Seca

Los microorganismos en la carne seca y los productos cárnicos son importantes ya que determinan la calidad de los productos. Muchos factores atribuibles afectan las actividades microbianas en la carne seca como los valores de a_w , que indican el equilibrio de humedad relativo o el agua disponible que proporciona las condiciones óptimas para el crecimiento de los microorganismos (Gill et al., 2003).



Aunque la deshidratación de la carne reduce la contaminación de esta con microorganismos, en el pasado se han reportado brotes de gastroenteritis causados por el consumo de carne seca. La contaminación de la carne seca con *S. aureus* y *Salmonella* spp. fueron las principales causas de los brotes de enfermedades causados por alimentos en Nuevo México en Estados Unidos de América (EUA) en 1966 y 1995 (Nummer et al., 2004). Los brotes se produjeron debido a temperaturas insuficientes durante el proceso de secado (Nummer et al., 2004).

En otro caso ocurrido en Oregón, EUA, la contaminación de la carne seca con *E. coli* ocasionó un brote de ETA's en 1995 (Nummer et al., 2004). Reportándose que la causa de la contaminación fueron las temperaturas de secado.

Por otra parte, un experimento que involucraba la deshidratación de carne a 62.8 °C inoculada con *E. coli* O157:H7, reportó que después del tiempo de secado se encontró *E. coli* O157:H7 (Ingham et al., 2006). Dicho esto, la carne seca sigue siendo susceptible a la contaminación bacteriana, aunque se haya reducido el contenido de agua. Esto hace que sea preocupante para los consumidores, ya que algo tan simple como un embalsado inadecuado podría hacer que la carne seca se convierta en un peligro potencial para la salud.

Debido a su contacto con la microbiota ambiental durante el procesamiento, el secado y el punto de venta, la carne seca también es propensa a contaminarse con hongos, que a su vez pueden liberar micotoxinas (Dada et al., 2020). Las micotoxinas son metabolitos secundarios producidos por hongos que infectan principalmente los cultivos y alimentos (Gashaw, 2015).



Oxidación Lipídica y su Relación con la Calidad de la Carne

La oxidación lipídica es una de las causas del deterioro de la carne y sus derivados porque su aparición determina el inicio de cambios indeseables en sabor, textura y valor nutricional (Gill, 2003). La oxidación de los lípidos es considerado un proceso bastante complejo, en el que los ácidos grasos insaturados reaccionan con el oxígeno molecular a través de un mecanismo llamado autooxidación primaria, que involucra la acción de radicales libres, y que ocasiona la formación de peróxidos, hidroperóxidos y compuestos volátiles de bajo peso molecular (Gray et al., 1996). La tasa de oxidación de los lípidos puede ser retardado eficazmente por el uso de antioxidantes. Los antioxidantes sintéticos se utilizaron ampliamente en la industria cárnica, pero las preocupaciones de los consumidores sobre la seguridad y la toxicidad de estos están presionando a la industria alimentaria a encontrar antioxidantes de fuentes naturales (Coronado et al., 2001).

Antioxidantes

Los antioxidantes son compuestos capaces de donar radicales de hidrógeno (H-) para emparejarse con otros radicales libres disponibles e impedir la reacción de propagación durante el proceso de oxidación. Esto minimiza el enranciamiento y retrasa la oxidación de los lípidos sin dañar las propiedades sensoriales o nutricionales, lo que permite mantener la calidad y la vida útil de los alimentos que los contienen (Kumar et al., 2015).

Antioxidantes sintéticos. Son comúnmente utilizados en grasas, aceites y sus derivados, aunque también pueden ser utilizados en el envasado de los alimentos para prevenir su degradación durante el procesamiento y



almacenamiento; sin embargo, elevadas concentraciones de antioxidantes exógenos pueden alterar la homeostasis redox del organismo (Fasihnia et al., 2020). Estos antioxidantes son denominados sintéticos ya que son creados en laboratorios, la mayoría a partir de la molécula del benceno (1,3,5-ciclohexatrieno, C_6H_6) que es un hidrocarburo aromático derivado de la destilación del petróleo (Carbajal-Sánchez et al., 2021)

Química de nitritos y nitratos. En términos generales, los productos cárnicos curados consisten en alimentos a los cuales se les ha adicionado sal ($NaCl$, o $NaCl$ con KCl) con o sin agregado de nitratos o nitritos, durante el proceso de elaboración de estos productos cárnicos. La concentración media de nitratos y nitritos utilizada está en el rango de 100-200 mg/Kg, mientras que la sal ($NaCl$) está en 2000 mg/Kg (IARC, 2018). Su importancia radica en que imparten un color rojizo y sabor único a los productos curados (Parthasarathy & Bryan, 2012). Durante el desarrollo de color, los nitritos (NO_2^-) adicionados a los productos cárnicos, se descomponen en óxido nítrico (NO). El óxido nítrico generado a partir del nitrito es el compuesto clave de los productos curados (Bazan, 2008). Sin embargo, es altamente reactivo con el oxígeno y ciertos radicales (El desarrollo de ese color rojizo característico de los productos cárnicos curados ocurre debido a que el óxido nítrico reacciona con la mioglobina (Fe^{+2}) y la metamioglobina (Fe^{+3}), formando la NO-mioglobina (Nitrosomioglobina) que puede resultar inestable. La aplicación de calor por encima de los $57^\circ C$, estabiliza su estructura, dando lugar a un color rosa (Nitrosilhemocromo).

Efecto de los nitritos en la salud. La acción que tienen los nitritos y nitratos al inhibir a *Clostridium botulinum* (bacteria causante del Botulismo), es un



argumento poderoso acerca de la necesidad de utilizarlo sin tomar en cuenta la salud del consumidor. Un factor determinante en la incidencia de la toxicidad del nitrito es la concentración de nitratos, ya que estos últimos pueden reducirse a nitritos por la acción de bacterias nitrato-reductasas (Ayala-Armijos, H et al., 2016). De acuerdo con estudios efectuados por la OMS y otras instituciones de salud, se ha detectado que los nitratos, al reducirse a nitritos, puede provocar la enfermedad conocida como metahemoglobinemia (Kalaycioğlu & Erim, 2019). Además, los nitritos originan compuestos cancerígenos denominados nitrosaminas, al reaccionar con aminos secundarias o terciarias presentes en el embutido. Las cuales pueden surgir, en el producto cárnico, lo que se conoce como nitrosación exógena y en el organismo, de manera fundamental, en la saliva y el estómago, lo que se conoce como nitrosación endógena (Ayala-Armijos H et al., 2016; Parthasarathy & Bryan, 2012; Villamil-Galindo & Piagentini, 2021).

Antioxidantes naturales. Los antioxidantes naturales pueden encontrarse en cualquier parte de la planta, como granos, frutas, frutos secos, semillas, hojas, raíces, arilos y cortezas (Kumar et al., 2015). Exhiben potencial terapéutico para una variedad de enfermedades como el cáncer, la diabetes, enfermedades cardiovasculares y neurodegenerativas (Kim et al., 2011). Donde los radicales libres juegan un papel clave en el desarrollo, recientemente ha habido un aumento público e interés científico en emplear antioxidantes naturales en su lugar de antioxidantes sintéticos, debido a sus potenciales efectos adversos sobre la salud que pueden incluir carcinogenicidad (Ito et al., 2015; Wurtzen et



al., 1990). Los antioxidantes que se encuentran en las verduras pueden actuar como secuestrantes, agentes reductores, inhibidores de enzimas, metales quelantes o captadores de radicales libres (Wurtzen et al., 1990). Los fenoles están ampliamente distribuidos en el reino vegetal y verduras dietéticas. Se encuentran en importantes concentraciones en frutas, verduras y bebidas y se han indicado como antioxidantes eficaces (Clifford et al., 1999).

Acido Ferúlico

El AF (Figura 1) es el compuesto fenólico más abundante del grupo de los hidroxycinamatos y se encuentra como parte de la pared celular de plantas, frutas, vegetales, alimentos y granos de cereales (Brenelli de Paiva et al., 2013; Cao et al., 2016). Este fenol se aisló por primera vez de *Ferula foetida* en el siglo XIX y se describió químicamente en 1925 (de Oliveira Silva et al., 2017).

El AF [(E) -3- (4-hidroxi-3-metoxifenil) propil-2-enoico] presenta isomería cis y trans, siendo el isómero cis un líquido aceitoso amarillo y el isómero trans (el más abundante en la naturaleza) un cristal blanco (Brenelli de Paiva et al., 2013). En general, es soluble en acetato de etilo, etanol y éter etílico, sensible a la isomerización por la luz solar (Bento-Silva et al., 2018), y tiene un punto de fusión

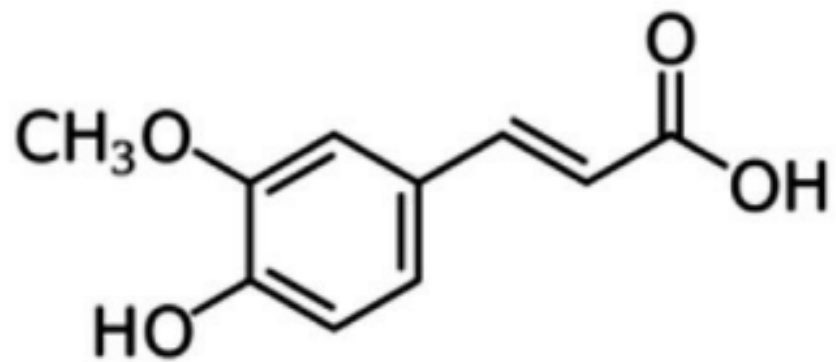


Figura 1. Estructura química del ácido ferúlico



de 168–171 °C y una masa molar de 194.186 g/mol (Sigma-Aldrich, 2024).

Mecanismo de acción y efecto antioxidante. El mecanismo de acción antioxidante del AF es complejo y se basa principalmente en la inhibición de la formación de especies reactivas de oxígeno (ROS) o nitrógeno, pero también en la neutralización (“barrido”) de radicales libres. Además, este ácido es responsable de quelar iones metálicos protonados, como Cu (II) o Fe (II) (Rice-Evans et al., 1996; Catherine A. et al., 1997). El AF no sólo es un eliminador de radicales libres, sino también un inhibidor de las enzimas que catalizan la generación de radicales libres y un potenciador de la actividad de las enzimas eliminadoras. Está directamente relacionado con su estructura química (Bezerra et al., 2017; Lodovici et al., 2001). Sus propiedades antioxidantes están relacionadas principalmente con la eliminación de radicales libres, la unión de metales de transición como el hierro y el cobre y la prevención de la peroxidación lipídica. El mecanismo de actividad antioxidante del AF es la capacidad de formar radicales fenoxilo estables, mediante la reacción de la molécula del radical con la molécula del antioxidante. Esto dificulta el inicio de una compleja cascada de reacciones que conduzcan a la generación de radicales libres. Este compuesto también puede actuar como donador de hidrógeno, cediendo átomos directamente a los radicales. Esto es particularmente importante para la protección de los ácidos lipídicos de la membrana celular frente a procesos de autooxidación no deseados. Como antioxidante secundario, los ácidos ferúlicos y sus compuestos relacionados pueden unirse a metales de transición como el hierro y el cobre (Kiewlicz et al., 2015). Esto previene la formación de radicales



hidroxilos tóxicos, que provocan la peroxidación de la membrana celular (Scharffetter et al., 2000).

Importancia como ingrediente funcional. El AF se absorbe más fácilmente en el cuerpo y permanece en la sangre por más tiempo que cualquier otro ácido fenólico (Tee-Ngam et al., 2013). Es un ingrediente funcional porque tiene efectos beneficiosos sobre la salud humana asociados a su acción antioxidante (Kumar et al., 2013). Así, este fenol actúa como agente antiinflamatorio, hepatoprotector, antidiabético, anticolesterolémico, anticancerígeno, neuroprotector y protector UV (de Oliveira Silva & Batista, 2017a).



MATERIALES Y METODOS

Localización del Área de Estudio

La investigación se realizó en el laboratorio de biotecnología de productos de origen animal de la Facultad de Zootecnia y Ecología de la Universidad Autónoma de Chihuahua, México.

Tratamientos y Formulación de la Salmuera

Se preparó un litro de salmuera para cada tratamiento. Para el tratamiento de control (TC), la salmuera se preparó disolviendo 50 g de sal y 10 g de azúcar en 1 L de agua. Para el tratamiento con nitritos (TN), la salmuera se preparó disolviendo 50 g de sal, 10 g de azúcar y 20 g de nitritos en 1 L de agua. Para los tratamientos con adición de AF (TF), se utilizaron dos porcentajes de adición de éste en sustitución de los nitritos en la salmuera: 0.05 y 0.1 % (TF05 y TF1, respectivamente).

Elaboración de la Carne Seca

Una pieza de bola (6,500 kg) de carne de vacuno Angus se cortó en lonchas de 7 mm de grosor (se eliminó el exceso de grasa de la pieza de carne). A continuación, la carne se dividió en 12 porciones para elaborar (540 g) tres réplicas para cada tratamiento. Para preparar la carne seca, cada loncha se sumergió durante 15 segundos en la salmuera correspondiente y se dejó escurrir durante 10 min en una bandeja a temperatura ambiente. A continuación, la carne se colocó en el deshidratador (Nictemaw, FD-08DGP-L, China) durante cuatro horas a 70 °C. Una vez finalizado el proceso de secado, la carne se dejó enfriar y se envasó en bolsas de poliestireno. Durante el periodo de conservación, la carne se almacenó en un lugar seco y oscuro a temperatura ambiente.



Composición Fisicoquímica

El análisis fisicoquímico de los tratamientos se realizó por triplicado tras 24 horas de almacenamiento. Los contenidos de humedad, cenizas, grasas y proteínas se determinaron según la AOAC (926,08, 935,42, 989,05 y 991,20, respectivamente) (AOAC, 1990).

Potencial de Hidrógeno

El pH se midió con un potenciómetro (Thermo Scientific™, Orion VersaStar) previamente calibrado. Primero se molió la carne seca en un molino de café (Hamilton Beach, 80335RV, China). Se tomaron 5 g de carne, se añadieron 45 mL de agua destilada y se agitó durante dos minutos hasta que la mezcla fue homogénea. Posteriormente, se sumergió el electrodo de pH en la suspensión de carne hasta que el valor de pH del monitor se hizo constante. Esta medición se realizó por triplicado.

Determinación de Sodio

La determinación de sodio se realizó de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-F-150 S-1981 (Alimentos para humanos-Determinación de cloruro de sodio en salmueras). Se colocaron de 0.15 a 0.17 g de carne molida en un matraz Erlenmeyer. A continuación, se añadieron 75 mL de agua hirviendo y se dejó reposar de 10 a 15 minutos, agitando de vez en cuando hasta obtener una temperatura entre 50 y 55 °C (temperatura de valoración). A continuación, se añadió 1 mL de solución indicadora de cromato potasio al 5 %. La solución se valoró con nitrato de plata (0.1 N) mientras se agitaba hasta que apareció un color marrón anaranjado permanente y detectable. Para los cálculos y la expresión de los resultados se utilizó la fórmula siguiente:



$$\% \text{ NaCl} = [0.0585 * N (V_1 - V_0) * m] * 100$$

Donde:

N = Normalidad de la solución de nitrato de plata

V_1 = cm³ gastados de nitrato de plata en la titulación en los tratamientos

V_0 = cm³ gastados de nitrato de plata en el ensayo en blanco (agua destilada)

m = Masa en gramos de la muestra

0.0585 = miliequivalente del cloruro de sodio

Color

El color se midió con un colorímetro Modelo CR-410 (Konica Minolta®, Japón) utilizando la técnica del sistema CIELAB para L^* , a^* y b^* . Donde L^* es un indicador de luminosidad (de negro a blanco), los valores de a^* varían del verde (números negativos) al rojo (números positivos) y b^* varían del azul (valores negativos) al amarillo (valores positivos). Las determinaciones se realizaron por triplicado y los valores L^* , a^* y b^* se utilizaron para calcular ΔE^* .

La diferencia de color (ΔE^*) de los tratamientos se calculó utilizando como referencia el promedio de las lecturas de los parámetros L^* , a^* y b^* del tratamiento control y mediante la siguiente fórmula: (Aportela-Palacios et al., 2005).

$$\Delta E = \sqrt{(L_s - L_c)^2 + (a_{h_s} - a_{h_c})^2 + (b_{h_s} - b_{h_c})^2}$$

Donde:



ΔE = Diferencia de color

L_c , ah_c y bh_c = Parámetros de control

L_s , ah_s y bh_s = Parámetros de tratamiento

Actividad Antioxidante

AA por el método ABTS. La actividad antioxidante (AA) por el método ABTS¹ se realizó según Thaipong et al. (2006). Se preparó una solución madre de ABTS 7,4 mM (ácido 2,2-azinobis {3-etilbenzotiazolina}-6-sulfónico) disolviendo 38,8 mg de sal de amonio crisotalizada de ABTS en 10 mL de agua destilada. Posteriormente, se preparó una solución de persulfato potásico 2,6 mM disolviendo 6,6 mg en 10 mL de agua destilada. Para generar el radical libre ABTS, se mezclaron estas dos soluciones y se dejaron reposar en la oscuridad a temperatura ambiente durante 12 horas. Para la solución de trabajo de ABTS, se mezcló 1 mL de la solución de radical libre ABTS con 60 mL de metanol hasta alcanzar una absorbancia de $1,1 \pm 0,02$ (734 nm). Posteriormente, se colocaron 10 μ L de muestra (o estándar: Trolox), o 10 μ L de agua destilada para el control, y 280 μ L de la solución de trabajo de ABTS en una microplaca de 96 pocillos (3591, COSTAR®). La absorbancia a 734 nm se leyó inmediatamente en un lector de placas espectrofotométrico (Mul-tiskan Go, Thermo Scientific). Las mediciones se realizaron por triplicado. La capacidad antioxidante se expresó como mg de Trolox equivalentes (mg TE/100 g), utilizando una curva de calibración de Trolox preparada con varias concentraciones de este ($y = -10.467x + 1.0323$, $R^2 = 0.9758$).



AA por el método DPPH. La capacidad antioxidante se determinó mediante la metodología DPPH (2,2-Difenil-1-Picrilhidrazil) utilizada por Thaipong et al. (2006) con modificaciones para su medición en una microplaca de 96 pocillos. Primero, se preparó una solución madre de DPPH 0.6 mM (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) en metanol (J.T. Baker, México); la solución se almacenó en una botella ámbar hasta su uso. A partir de la solución madre, se preparó la solución de trabajo de DPPH, mezclando 10 mL de la solución madre con 45 mL de metanol para obtener una absorbancia de 1.1 ± 0.02 (515 nm). Para los ensayos, se mezclaron 20 μ L de la muestra o agua destilada como control con 280 μ L de la solución de trabajo de DPPH y se leyó inmediatamente a 515 nm en un lector de placas espectrofotométrico (Multiskan GO, Thermo Scientific) a 515 nm. Se utilizaron varias concentraciones de Trolox (($\pm$)-6-hidroxi-2, 5, 7, 8-tetra-metilcromano-2-ácido carboxílico; Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, EE.UU.) para crear una curva estándar, que arrojó la siguiente ecuación: $y = -8,3715x + 1,0209$ ($R^2 = 0.9602$). La capacidad antioxidante se expresó como mg Trolox equivalente (mg ET/mL). Las determinaciones se realizaron por triplicado. Para el análisis de las muestras y los datos se utilizó el software SkanIt versión 4.1 para lectores de microplacas.

AA por el método FRAP. La actividad antioxidante por el método FRAP se realizó según Sigma-Aldrich (2019). En primer lugar, se prepararon 10 μ L de diferentes concentraciones de solución ferrosa en una microplaca de 96 pocillos (3591, COSTAR®) como estándares, 10 μ L (4 μ L de control positivo FRAP se mezclaron con 6 μ L de tampón de ensayo FRAP) del control positivo y 10 μ L de cada muestra de ensayo también se colocaron en la microplaca. A continuación,



se añadieron 190 μL de la mezcla de reacción (152 μL de tampón de ensayo FRAP, 19 μL de solución de FeCl_3 y 19 μL de sonda FRAP) a cada pocillo que contenía los estándares, el control positivo y las muestras de ensayo. Las mediciones se realizaron por triplicado. Las reacciones se incubaron a 37 °C durante 60 minutos y la absorbancia se leyó a 594 nm en un lector de placas espectrofotométrico (Multiskan GO, Thermo Sci-entific). La capacidad antioxidante se notificó como equivalente ferroso mM (nmol/ μL o equivalentes Fe^{2+} mM), utilizando la curva estándar ($y = 0.0624971 + 0.0328649x$, $R^2 = 0,992$). Se utilizó la siguiente fórmula para determinar el equivalente ferroso en mM de la muestra:

$$\text{Muestra FRAP o equivalente ferroso mM} = \frac{B \times D}{V}$$

Dónde:

B = Cantidad de sulfato ferroso y amónico de la curva estándar (nmol)

D = Factor de dilución de la muestra

V = Volumen de muestra agregado al pocillo de reacción (μL)

Oxidación de Lípidos

La oxidación lipídica se determinó mediante la cuantificación de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS) según Pfalzgraf et al. (1995) con algunas modificaciones. Brevemente, se homogeneizó 1 g de carne con 5 mL de ácido tricloroacético (1 %), luego se centrifugó el homogeneizado y se decantó el sobrenadante. A continuación, se mezclaron 2 mL del filtrado con 2 mL de reactivo TBA (20 mM). La mezcla se mantuvo en un baño de agua durante 20 min a 80 °C, tras enfriarse, se transfirieron 200 μL a una microplaca de 96 pocillos



(3591, COSTAR®) para medir la absorbancia a 531 nm utilizando un lector de placas espectrofotométrico (Multiskan GO, Thermo Scientific). Los valores de los resultados de TBARS se expresaron como miligramos de malondialdehído (MDA) por kilogramo de carne seca, según una curva de calibración estándar construida con concentraciones crecientes (1,1,3,3,3, 4,73 mM de 0 a 30 μ L) de tetraetoxipropano (TEP), obteniéndose la siguiente ecuación: $y = 144.2x + 0.0066$, $R^2 = 0.9977$.

Análisis Microbiológicos

Se hicieron enumeraciones para determinaciones microbianas del conteo de mesófilos aerobios (TAC, AOAC 990.12) en agar cuenta estándar (PCA, CM0325, Oxoid®, Basingstoke, Reino Unido), coliformes totales (AOAC 991.14) en agar violeta biliar rojo (RBV, 70188, Fluka, Spruce, EE.UU.) y mohos y levaduras (AOAC 997.02) en agar papa dextrosa (PDA; 213300, BD BIOXON®, Heidelberg, Alemania) acidificado con ácido tartárico al 10 % (T400 DL-tartaric, Merck, Saint Louis, MO.). Primeramente, se homogeneizaron asépticamente 10 g de cada tratamiento en 90 mL de diluyente de máxima recuperación (MRD, CM0733, Oxoid®, Basingstoke, Reino Unido) y se mezclaron en un Stomacher® (Lab Blender, Seward, Londres, Reino Unido) a velocidad máxima durante 2 min. La muestra homogeneizada se diluyó serialmente (1:10) en MRD (CM0733, Oxoid®, Basingstoke, Reino Unido) de acuerdo con las Normas Oficiales Mexicanas. Posteriormente, 100 μ L de cada dilución se añadieron a los medios de cultivo y se incubaron durante 48 h aeróbicamente a 36 °C, excepto en el caso de mohos y levaduras, que se incubaron a 25 °C. El número de unidades



formadoras de colonias (UFC) se contó en placas con números entre 10 y 200 UFC, y los resultados se transformaron de UFC/g a Log_{10} UFC/g.

Evaluación Sensorial

La evaluación sensorial se llevó a cabo con un panel no entrenado de 59 consumidores. Según Meilgaard et al. (2007) se recomienda un panel de entre 25 a 50 panelistas por producto en pruebas de laboratorio. La evaluación se realizó empleando una prueba de diferencia simple. El objetivo de esta prueba es determinar si existe diferencia sensorial entre dos productos. Las muestras se identificaron con un código de 3 dígitos y se presentaron aleatoriamente a los panelistas. Se indicó a los panelistas que se enjuagaran el paladar con agua entre muestra y muestra. Las muestras para evaluar serán la provenientes del tratamiento con nitritos y la que presente mayor actividad antioxidante de los tratamientos con AF. Además del formato empleado para la evaluación a los panelistas se les preguntó la edad y la frecuencia de consumo.

Análisis Estadístico

Se utilizó un diseño unidireccional completamente aleatorizado para diseñar los tratamientos. Las variables de respuesta fueron la composición fisicoquímica (humedad, cenizas, grasa y proteína), el pH, el contenido de sodio, el color (L^* , a^* , b^* , ΔE^*), la actividad antioxidante (ABTS, DPPH, FRAP), la oxidación lipídica, la calidad microbiológica (recuento aerobio total, mohos y levaduras y coliformes totales) y la evaluación sensorial (olor, color, textura, sabor y aspecto general). Los datos se analizaron mediante el procedimiento ANOVA utilizando el Modelo Lineal General (GLM) de SAS, versión 9.1.3 (SAS Institute



Inc., EE.UU., 2006). Posteriormente, se realizó una comparación múltiple de medias mediante la prueba de Tukey, utilizando un valor de $\alpha = 0.05$. En cuanto a la evaluación sensorial, se realizó una prueba Chi²; considerando los grados de libertad de 1 y la probabilidad de 0.05.

La composición fisicoquímica (humedad, cenizas, grasa, carbohidratos y proteína), color, pH y el contenido de sodio se analizaron para comparar las medias a una significación de $p < 0.05$ con el modelo:

$$y_{ij} = \mu + T_i + \epsilon_{ij}$$

Donde: y_{ij} es la variable de respuesta medida en la j -ésima repetición del i -ésimo tratamiento, T_i es el efecto del i -ésimo tratamiento y ϵ_{ij} es el error aleatorio correspondiente a la j -ésima repetición del i -ésimo tratamiento.

La actividad antioxidante, oxidación lipídica y actividad antimicrobiana se evaluaron a lo largo del tiempo con el modelo:

$$y_{ijk} = \mu + T_i + P_j + \tau P_{(ij)} + \epsilon_{ijk}$$

Donde: y_{ijk} es la variable de respuesta medida en la k -ésima repetición del i -ésimo tratamiento en el i -ésimo período, t_i es el efecto del i -ésimo tratamiento, P_j es el efecto del j -ésimo período y $\tau P_{(ij)}$ es el efecto de la interacción del i -ésimo tratamiento con el j -ésimo período y ϵ_{ijk} es el error aleatorio correspondiente a la k -ésima repetición del i -ésimo tratamiento en el i -ésimo período.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Composición Fisicoquímica

El ph de las muestras fue de 5.5 ($p > 0.5$) para los cuatro tratamientos, lo que concuerda con un estudio realizado por Aykın-Dinçer et al. (2021) donde el ph de las muestras de carne de res secadas por aire caliente y asistidas por microondas oscilaba entre 5.56 - 5.58. Por otra parte, el contenido de proteína de la carne seca en los cuatro tratamientos no presentó diferencias significativas ($p > 0.05$) (Tabla 1).

En cuanto al porcentaje de grasa, el TF05 (15.42 ± 0.28) no presentó diferencias ($p > 0.05$) con los demás tratamientos, siendo el TC (14.77 ± 0.51) el que presentó diferencias ($p < 0.05$) con los tratamientos TN (15.77 ± 0.50) y TF1 (15.75 ± 0.09) ($p > 0.05$). Estos resultados concuerdan con un estudio realizado por Zdanowska-Sasiadek et al. (2018) donde se determinó el porcentaje de grasa en una muestra de carne seca de ternero reportando valores promedio de 18.2 ± 0.551 , no obstante, la variabilidad del porcentaje de grasa presentada con otros estudios puede deberse a la raza y edad del animal como también al tipo de musculo utilizado para elaborar la carne seca. Respecto al porcentaje de cenizas, no hubo diferencias ($p > 0.05$) entre tratamientos con un rango de 12.38 a 14.49.

El porcentaje de humedad mostró diferencias ($p < 0.05$) entre los tratamientos TC (7.58 ± 0.52) y TF1 (6.4 ± 0.21) en comparación con el TN (5.2 ± 0.30) y TF05 (5.24 ± 0.33) estos últimos no presentaron diferencias significativa



Cuadro 1. Composición fisicoquímica (%) de carne seca (media $\pm$ desviación).

Parámetros	Tratamientos			
	TC	TN	TF05	TF1
Proteína	64.05 $\pm$ 3.08 ^a	64.05 $\pm$ 1.63 ^a	64.84 $\pm$ 1.56 ^a	62.82 $\pm$ 1.16 ^a
Grasa	14.77 $\pm$ 0.51 ^b	15.77 $\pm$ 0.50 ^a	15.42 $\pm$ 0.28 ^{ab}	15.75 $\pm$ 0.09 ^a
Ceniza	13.40 $\pm$ 0.90 ^a	12.38 $\pm$ 1.01 ^a	14.25 $\pm$ 1.26 ^a	14.49 $\pm$ 1.26 ^a
Humedad	7.58 $\pm$ 0.52 ^a	5.2 $\pm$ 0.30 ^c	5.24 $\pm$ 0.33 ^c	6.4 $\pm$ 0.21 ^b
Sodio (mg Na/100g)	2715.28 $\pm$ 22.11 ^a	3130.56 $\pm$ 25.80 ^b	2507.64 $\pm$ 30.83 ^a	2539.58 $\pm$ 29.25 ^a

TC, carne seca sin adición de nitritos ni ácido ferúlico en la salmuera; TN, carne seca con 2 % de nitritos en la salmuera; TF05, carne seca con 0.05 % de ácido ferúlico en la salmuera; TF1, carne seca con 0.1 % de ácido ferúlico en la salmuera. ^{a,b,c} Diferentes literales entre columnas denotan diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos.



($p > 0.05$). Zdanowska-Sasiadek et al. (2018) mencionan que la carne seca debe de contener un porcentaje por debajo del 15 % de humedad para proteger la calidad de la carne durante el tiempo de almacenamiento, todos los tratamientos presentaron valores de humedad por debajo del 15 % lo que favorece la conservación de la carne seca durante su vida en anaquel. En este sentido, Elmas et al. (2021) encontró un contenido de humedad que oscilaba de 10.19 a 12.34 a 75 °C utilizando un método de secado con aire caliente. Por otra parte, el contenido de sodio en TN fue mayor ($p < 0.05$) (3130.56 mg Na/100g) con relación a los tratamientos TC, TF05 y TF1 (2715.28, 2507.64 y 2539.58 mg Na/100g, respectivamente). Esto se le atribuye a la adición de nitritos en el proceso de curado, debido a que estos están conformados de sodio (Villamil-Galindo & Piagentini, 2021). No obstante, se sabe que el curado de carne es un proceso mediante el cual se agregan sustancias como sal, nitrito y nitrato de sodio a los productos cárnicos para conservar la carne y obtener su color característico (Gómez et al., 2020). Históricamente, la sal se ha utilizado para la conservación de la carne, aunque en las últimas décadas se ha cuestionado su consumo debido a que una alta ingesta de este mineral en la dieta aumenta el riesgo de padecer de hipertensión y enfermedades cardiovasculares (Dimakopoulou-Papazoglou & Katsanidis, 2017b; Parthasarathy & Bryan, 2012; Sorroza-Rojas et al., 2019). Con relación a esto, se han encontrado una cantidad considerable de subproductos cancerígenos formados como resultado de agregar nitrito a la carne, lo que lleva a la reducción de su uso para curar carnes (Gómez et al., 2020a). Dado esta información, se observó que el uso de AF es



una alternativa viable para reducir el porcentaje de sodio en la carne seca en comparación con los nitritos ($p < 0.05$).

Color

Los valores de los parámetros de color se muestran en la Tabla 2. Donde luminosidad (L^*) mostró diferencias significativas ($p < 0.05$) entre el TC (28.99 ± 0.45) y el resto de los tratamientos, siendo el TC el que presentó el menor valor de luminosidad. El TN (35.80 ± 0.16) fue diferente ($p < 0.05$) de el TF1 (34.54 ± 0.44) aunque este último no mostró diferencia con el TF05 (35.20 ± 0.61) ($p > 0.05$). Los tratamientos TN y TF05 presentaron los mayores valores de luminosidad. Con relación al parámetro a^* todos los tratamientos presentaron valores positivos lo que indica tendencia al rojo. El TC (6.23 ± 0.18) presentó el menor valor de a^* ($p < 0.05$), seguido del TF1 (9.58 ± 0.57) y por último los tratamientos TN (11.05 ± 0.09) y TF05 (10.50 ± 0.39) que presentaron los mayores valores de a^* ($p < 0.05$) sin observarse diferencias ($p > 0.05$) entre estos. Estos resultados son similares a los presentados por Bampi et al. (2019) donde reportan valores de a^* de 2.8 – 4 en cortes de carne de res salados y secados. En términos de b^* , todos los tratamientos presentaron valores positivos que indican tendencia al amarillo. El TC (4.57 ± 0.47) presentó el menor valor ($p < 0.05$) y el TF05 (12.56 ± 0.11) obtuvo el mayor valor ($p < 0.05$). Finalmente, los tratamientos TC (9.75 ± 0.09) y TF1 (9.97 ± 0.37) no presentaron diferencias entre ellos ($p > 0.05$), aunque fueron diferentes de TC y TF05 ($p < 0.05$). Esto concuerda con un estudio realizado por Rahman et al. (2005) donde describió cómo se ve afectado el color de la carne seca dependiendo su método de secado,



Cuadro 2. Valores de color L*, a*, b* y diferencia de color (ΔE) de la carne seca (media $\pm$ desviación).

Tratamientos	TC	TN	TF05	TF1
L*	28.99 $\pm$ 0.45 ^c	35.80 $\pm$ 0.16 ^a	35.20 $\pm$ 0.61 ^{ab}	34.54 $\pm$ 0.44 ^b
a*	6.23 $\pm$ 0.18 ^c	11.05 $\pm$ 0.09 ^a	10.50 $\pm$ 0.39 ^a	9.58 $\pm$ 0.57 ^b
b*	4.57 $\pm$ 0.47 ^c	9.75 $\pm$ 0.09 ^b	12.56 $\pm$ 0.11 ^a	9.97 $\pm$ 0.37 ^b
ΔE	10.01 $\pm$ 0.31 ^a	_____	3.01 $\pm$ 0.26 ^b	2.98 $\pm$ 0.68 ^b

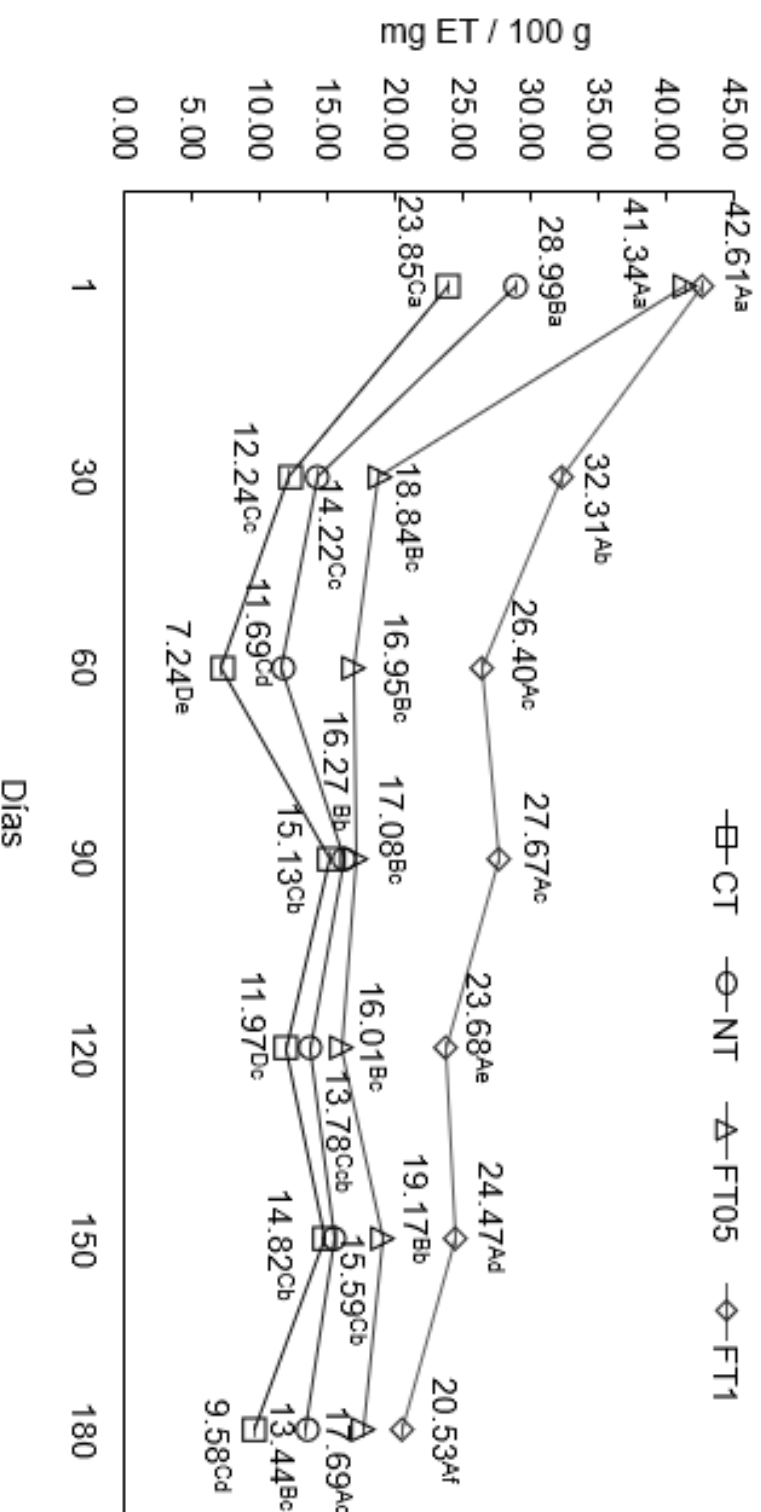
TC, carne seca sin adición de nitritos ni ácido ferúlico en la salmuera; TN, carne seca con 2 % de nitritos en la salmuera; TF05, carne seca con 0.05 % de ácido ferúlico en la salmuera; TF1, carne seca con 0.1 % de ácido ferúlico en la salmuera. ^{a,b,c} Diferentes literales entre columnas denotan diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos. L* = luminancia, más claro (+) y más oscuro (-); A* = verde (-) y rojo (+); b* = azul (-) y amarillo (+); ΔE = diferencia de color. ^{a,b,c} Diferentes literales entre columnas denotan diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos.



los resultados oscilaban para el parámetro de b^* de 6.42 hasta 16.28. Finalmente, las diferencias de color (ΔE^*) entre los tratamientos TF05 (3.01 ± 0.26) y TF1 (2.98 ± 0.68) no fueron diferentes ($p > 0.05$) pero si mostraron diferencia con el TC (10.01 ± 0.31) ($p < 0.05$). Para obtener los valores de ΔE^* , se emplearon los valores del TN como control, ya que estos son los que usualmente presenta la carne seca que utiliza nitritos en la salmuera. Valores de ΔE de entre 2.5 y 3.0 indican que el cambio de color no será apreciable al ojo humano encontrándose en este rango los tratamientos adicionados con AF. (ninguno 0–0.7, ligeramente 0.7–2.5, notable 2.5–3.0, apreciable 3.0–6.0, considerable 6.0–12.0 y máximo >12) (Ramírez-Navas & Rodríguez De Stouvenel, 2012). La carne seca se caracteriza por tener un color marrón, este color sufre cambios que varían de rojo a marrón según la temperatura y sal adicionada durante el secado (Mediani et al., 2022). Los cambios de color durante el secado son causados por la oxidación, el cambio en la estructura de la superficie de la carne y las reacciones de pardeamiento no enzimático (Aksoy et al., 2019b).

Actividad Antioxidante

AA por el método ABTS. El ensayo de ABTS mide la capacidad de los antioxidantes para eliminar el radical catión $ABTS^{\bullet+}$, un cromóforo azul-verde con absorción máxima a 734 nm que disminuye su intensidad en presencia de antioxidantes (Vázquez-Ovando et al., 2022). En cuanto a los resultados, se encontraron diferencias ($p < 0.05$) entre los tratamientos ($p < 0.05$) y a través del tiempo (Gráfica 1). La AA más alta se observó al día 1 ($p < 0.05$) en los



Grafica 1. Actividad antioxidante por el método ABTS de carne seca (media $\pm$ desviación estándar). TC, carne seca sin adición de nitritos ni ácido ferúlico en la salmuera; TN, carne seca con 2 % de nitritos en la salmuera; TF05, carne seca con 0.05 % de ácido ferúlico en la salmuera; TF1, carne seca con 0.1 % de ácido ferúlico en la salmuera. ^{A,B,C,D} Superíndices en mayúsculas indican diferencias entre los días para un mismo tratamiento ($p < 0.05$). ^{a,b,c,d} Superíndices en minúsculas indican diferencias entre los tratamientos en un mismo día ($p < 0.05$).



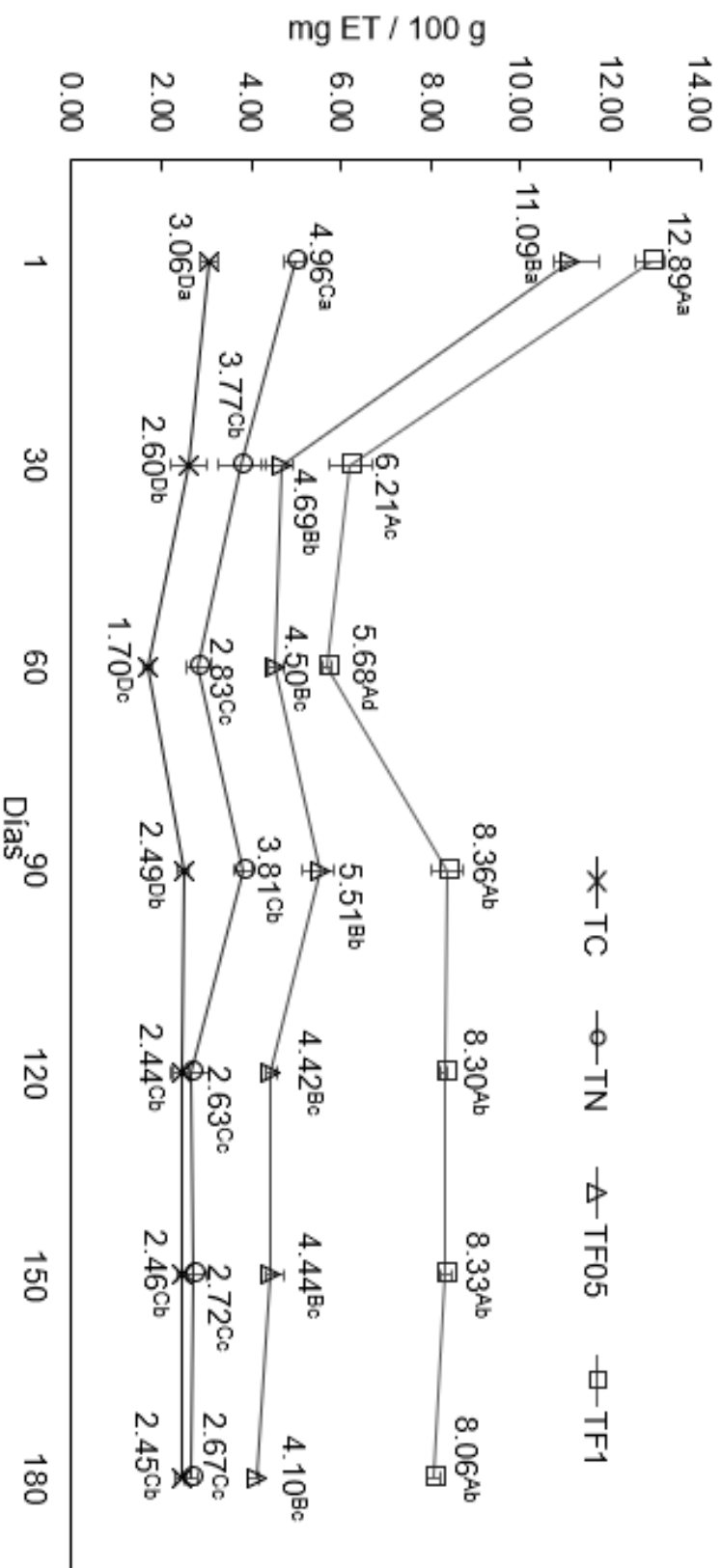


tratamientos TF05 y TF1 (41.34 y 42.61 mg ET/100g, respectivamente) sin encontrarse diferencias ($p > 0.05$) entre estos tratamientos. El TC presentó la menor AA (23.85 mg ET/100g) ($p < 0.05$). Por último, el TN (28.99 mg ET/100g) mostró diferencias significativas ($p < 0.05$) con el resto de los tratamientos. Al final de los 180 días de vida en anaquel los tratamientos TF1 (20.53 mg ET/100g) y TF05 (17.69 mg ET/100g) presentaron las mayores AA ($p < 0.05$), sin mostrar diferencias entre ellos ($p > 0.05$) y, el TC presentó el menor valor de AA (9.58 mg ET/100g) ($p < 0.05$). En cuanto al comportamiento de la AA a través del tiempo, entre los días 30 y 60 todos los tratamientos presentaron una disminución de la AA ($p < 0.05$). Del día 60 al 90, todos los tratamientos presentaron aumento en la AA, aunque este aumento solo fue significativo para los tratamientos TN y TC ($p < 0.05$). Posteriormente, del día 90 al 120 todos los tratamientos presentaron una disminución en su AA, aunque esta disminución solo fue significativa para los tratamientos TF1 y TC ($p < 0.05$). A continuación del día 120 al 150 todos los tratamientos aumentaron su AA ($p < 0.05$) excepto para el TN. Para el final de la vida en anaquel, del día 150 al 180, todos los tratamientos disminuyeron su AA ($p < 0.05$). Los resultados obtenidos con relación a los nitritos coinciden con un estudio reportado por Karwowska y Kononiuk (2020) donde mencionan que aproximadamente entre el 10 % y el 20 % de los nitritos añadidos originalmente, denominados nitritos residuales, suelen estar presentes en los productos cárnicos después de la producción, aunque esta cantidad disminuye lentamente durante el período de almacenamiento de los productos cárnicos curados. Lo que muestra que el efecto de los nitritos en la elaboración de carne seca no es



permanente durante su vida en anaquel, abriendo el paso a la posibilidad de emplear otros antioxidantes tales como el AF. Varios estudios han destacado las propiedades antioxidantes del ácido ferúlico, atribuidas principalmente a sus características químicas peculiares; de hecho, fue capaz de eliminar radicales libres, inhibir la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS) y modular varias vías de señalización implicadas en el control del estrés oxidativo. (Balasubashini et al., 2004; Di-Giacomo et al., 2022; Fazeli, 2021; Li et al., 2021; Pyrzynska, 2024; Zduńska et al., 2018). Sin embargo, no se encontraron estudios donde explique la actividad antioxidante del AF en productos cárnicos.

AA por el método DPPH. El método de eliminación del radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) es de los más utilizados y ofrece el primer enfoque para evaluar la AA total. El método se basa en la donación de electrones de los antioxidantes para neutralizar el radical DPPH. La reacción va acompañada de un cambio de color medido a 517 nm, y la decoloración actúa como indicador de la eficacia antioxidante (Vázquez-Ovando et al., 2022). Los resultados de la AA por el método DPPH se muestran en la Gráfica 2. En general, la AA por los métodos ABTS, DPPH y FRAP siguieron el mismo comportamiento a lo largo del tiempo y por tratamiento. Al inicio de la vida en anaquel todos los tratamientos mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$). El TF1 (12.89 mg ET/100g) mostró mayor actividad antioxidante, seguido de TF05 (11.09 mg ET/100g), TN (4.96 mg ET/100g) y por último TC (3.06 mg ET/100g). En cuanto al comportamiento de la AA a través del tiempo, todos los tratamientos presentaron una disminución de AA del día 1 al 60 ($p < 0.05$). Posteriormente, del día 60 al 90, todos los tratamientos presentaron un aumento de AA ($p < 0.05$). Posteriormente, del día



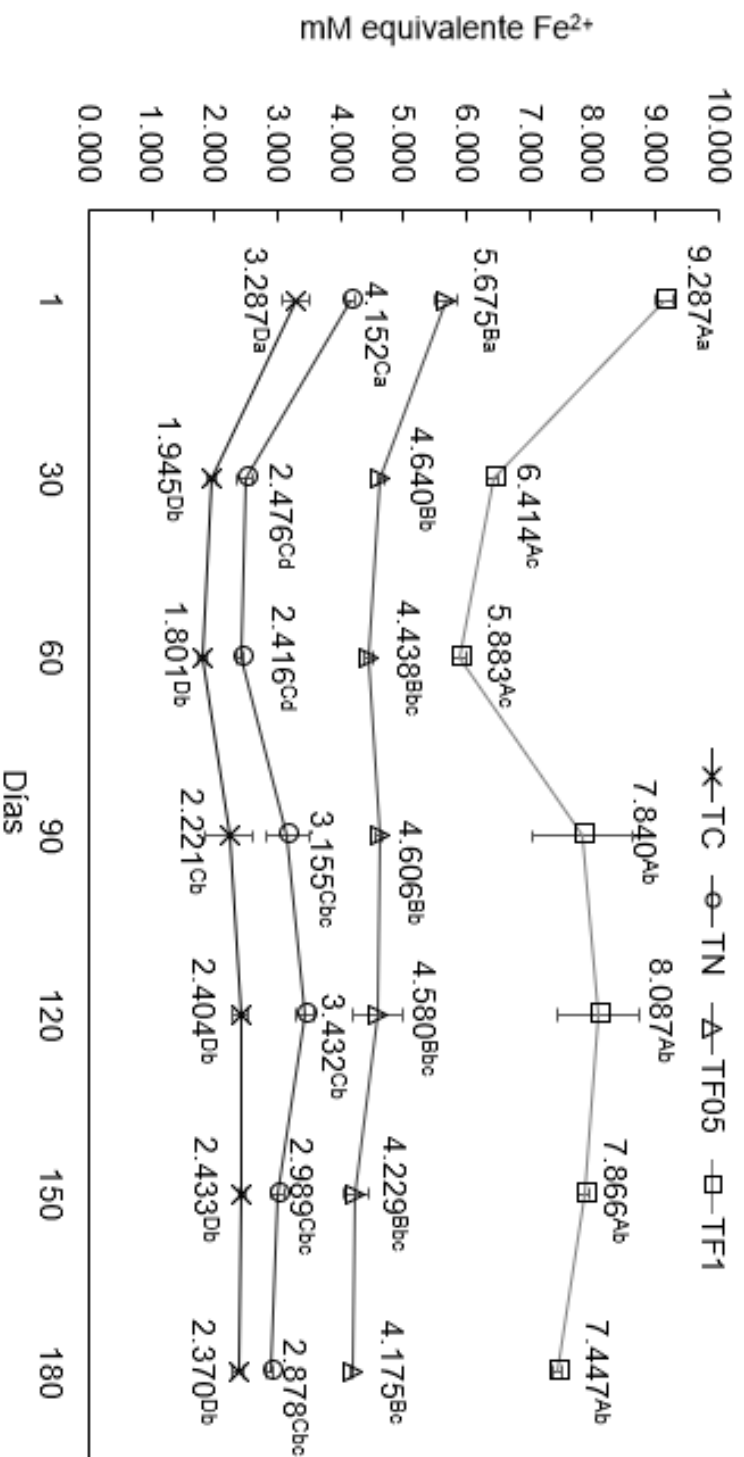
Grafica 2. Actividad antioxidante por el método DPPH de la carne seca (media $\pm$ desviación estándar) con y sin adición de nitritos o ácido ferúlico (0,1 y 0,05 %). TC, carne seca sin nitritos ni ácido ferúlico; TN, carne seca con 2 % de nitritos; TF05, carne seca con 0,05 % de ácido ferúlico; TF1, carne seca con 0,1 % de ácido ferúlico. ^{A,B,C,D} = los superíndices en mayúsculas indican diferencias estadísticas significativas entre los días del mismo tratamiento ($p < 0,05$). ^{a,b,c,d} = los superíndices en minúsculas indican diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos del mismo día ($p < 0,05$).





90 al 180 los tratamientos TF1 y TC ya no mostraron cambios en su AA ($p > 0.05$); sin embargo, TF05 y TN mostraron una disminución de su AA del día 90 al 120 ($p < 0.05$) y de este día en adelante ya no presentaron cambios ($p > 0.05$). El principal enfoque de la industria cárnica reducir los procesos de oxidación es el enriquecimiento de antioxidantes en la carne y los productos cárnicos (Echegaray et al., 2021). Estas son sustancias que retrasan o previenen el daño causado por los radicales libres; el AF es un derivado del ácido hidroxicinámico con un excelente potencial antioxidante, puede prevenir la oxidación del ADN y la dihidrorodamina mediada por peroxinitrito (Zheng et al., 2020). No solo atrapa los radicales libres, sino que también puede aumentar la actividad de captación de radicales libres de las enzimas e inhibir la producción de radicales libres catalizada por las enzimas. Los resultados obtenidos en este estudio resaltan el valor que tiene el AF como un potente antioxidante, lo que concuerda con un estudio realizado por Boz (2015) donde menciona que el ácido ferúlico tiene un alto efecto antioxidante y depurador de radicales libres como el peróxido de hidrógeno, superóxido, radical hidroxilo y el dióxido de nitrógeno. Además, de que depura el 92.5 % de los radicales hidroxilos en una concentración de 250 mg/L. Con relación a esto, un estudio realizado por Pyrzynska (2024) demostró que el AF en concentraciones bajas tuvo un poder de eliminación de radicales DPPH mucho mayor que el ácido ascórbico (como control).

AA por el método FRAP. Esta técnica mide la capacidad de los antioxidantes para reducir el ion férrico (Fe^{3+}) a ion ferroso (Fe^{2+}). La AA por el método de FRAP se muestra en la Gráfica 3. Al inicio de la vida en anaquel todos los tratamientos mostraron diferencias ($p < 0.05$).



Grafica 3. Actividad antioxidante por el método FRAP de la carne seca (media $\pm$ desviación estándar) con y sin adición de nitritos o ácido ferúlico (0,1 y 0,05 %). TC, carne seca sin nitritos ni ácido ferúlico; TN, carne seca con 2 % de nitritos; TF05, carne seca con 0,05 % de ácido ferúlico; TF1, carne seca con 0,1 % de ácido ferúlico. ^{A,B,C,D} = los superíndices en mayúsculas indican diferencias estadísticas significativas entre los días del mismo tratamiento ($p < 0,05$). ^{a,b,c,d} = los superíndices en minúsculas indican diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos del mismo día ($p < 0,05$).





El TF1 (9.0 mg ET/100g) mostró mayor AA, seguido de TF05 (5.78 mg ET/100g), TN (4.17 mg ET/100g) y por último TC (3.26 mg ET/100g). En cuanto al comportamiento de la AA a través del tiempo, todos los tratamientos presentaron una disminución de AA del día 1 al 30 ($p < 0.05$). Posteriormente, del día 30 al 60 los tratamientos no presentaron cambios en su AA ($p > 0.05$). A continuación, del día 60 al 90, únicamente el TF1 aumento su AA ($p < 0.05$). Finalmente, del día 90 al 180 los tratamientos se comportaron de manera similar en su AA ($p < 0.05$). Con relación a esto, el AF mostró fuertes propiedades antioxidantes, esto puede deberse a que su anillo fenólico le da una fuerte estabilidad de resonancia y puede aceptar el electrón de los radicales libres más fácilmente; por lo tanto, es un eliminador directo de radicales libres (Alam, 2019).

Concretamente el AF demostró ser un potente antioxidante durante la vida en anaquel, al día 180, el TF1 y TF05 mostraron mayor AA que TN y TC al día 1.

Oxidación de Lípidos

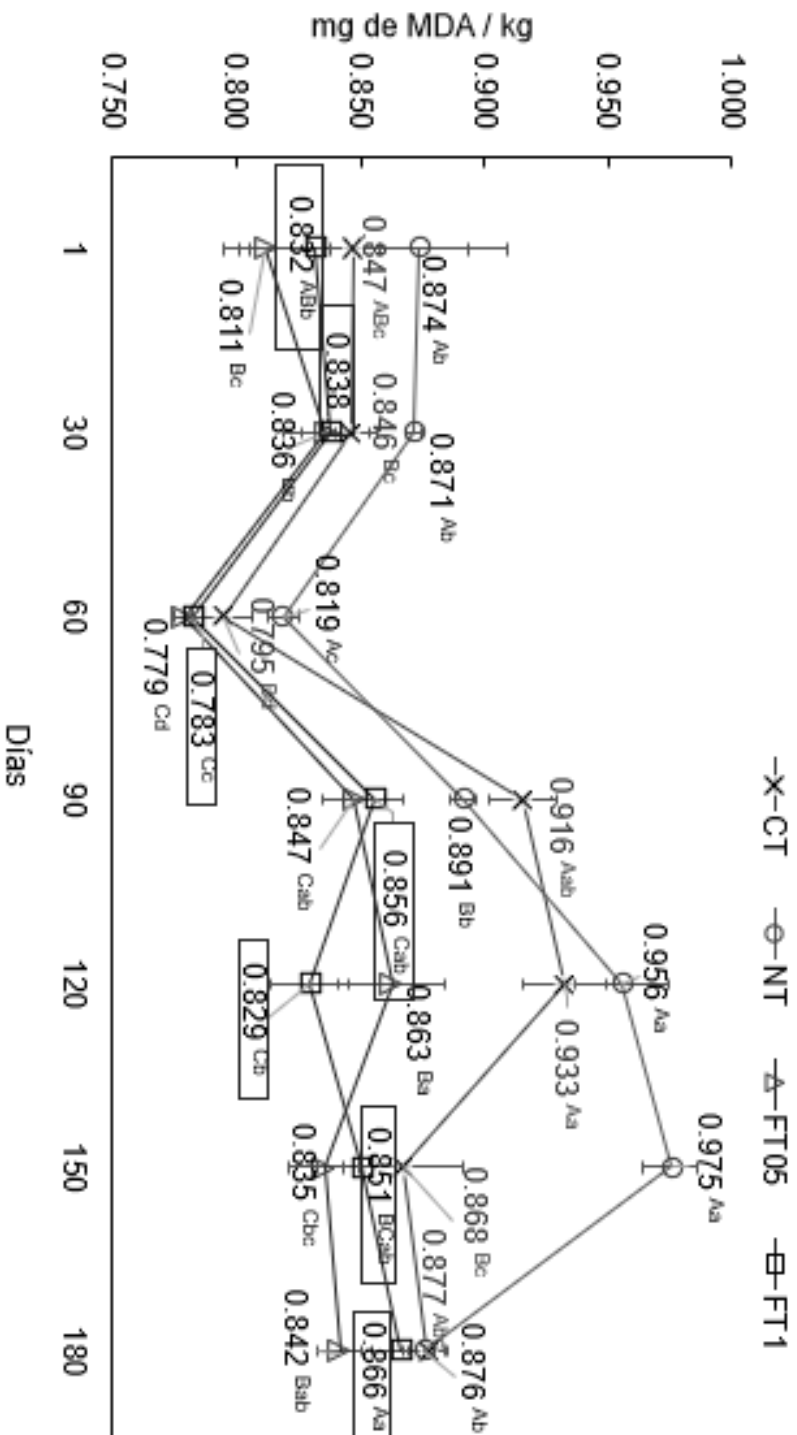
El método más utilizado para determinar la oxidación es medir la cantidad de malonaldehído (MDA) oxidado (Elmas et al., 2021). Esto debido a que el MDA es uno de los principales productos finales de la oxidación de los lípidos y está asociado con el desarrollo de olores no deseados (Manassis et al., 2020). Los resultados de oxidación se muestran en la Grafica 4, esta muestra un comportamiento similar en los cuatro tratamientos durante su vida en anaquel, presentandose valores que oscilaban entre 0.779 a 0.975 mg MDA/kg ($p < 0.05$). Sin embargo, los valores obtenidos para todos los tratamientos estuvieron por



debajo del umbral de percepción de rancidez (2.0 mg MDA/kg) y se mantuvieron por debajo del umbral de aceptabilidad de 1 mg MDA/kg (Selani et al., 2016).

Zioud et al. (2023) reportaron en carne seca, elaborada por el método de convección, la tasa de oxidación más baja, con 0.35 mg MDA/kg, mientras que los valores más altos se obtuvieron mediante secado al sol (0.93 mg MDA/kg). Por otra parte, Mediani et al. (2022) mencionó que la carne secada al sol presentó un menor grado de oxidación (0.77 mg MDA/kg) que la carne secada al aire (0.68 mg MDA/kg), lo que sugiere que la carne secada al sol es más susceptible a la oxidación de lípidos. Por otra parte, los resultados obtenidos en este estudio, utilizando el método de convección, mostraron un valor similar a otros estudios donde se empleo el secado al sol, esto pudiera deberse a que la carne utilizada para la elaboración de la carne seca fue de la raza Angus, que es caracterizada por su marmoleo haciéndola más susceptible a los procesos de oxidación.

Por otra parte, se observó que a medida que el valor de a_w disminuye, se produce un aumento proporcional de la oxidación de lípidos y esto está estrechamente relacionado con la presencia de NaCl, que actúa como prooxidante (Lim et al., 2012b). Lo anterior explica el aumento de TBARS en el TN, debido a que los nitritos están compuestos de sales residuales de sodio. Del mismo modo, la adición de ácido ferúlico en el TF05 y TF1 solo mostró diferencias significativas ($p < 0.05$) en el día 30, 60, 90, 120 y 150 con relación al TN, presentando el TF05 y TF1 menores valores de MDA; es importante resaltar que el porcentaje añadido de nitritos para el tratamiento TN fue de 2 % y para los tratamientos con AF fue de 0.05 % y 0.1 % (TF05 y TF1 respectivamente) a pesar de la disminución porcentual, los tratamientos adicionados con AF presentaron menores valores de



Grafica 4. Oxidación de la carne seca (media $\pm$ desviación estándar) con y sin adición de nitritos o ácido ferúlico (0,1 y 0,05 %). TC, carne seca sin nitritos ni ácido ferúlico; TN, carne seca con un 2 % de nitritos; TF05, carne seca con un 0,05 % de ácido ferúlico; TF1, carne seca con un 0,1 % de ácido ferúlico. A,B,C,D = los superíndices en mayúscula indican diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos del mismo día ($p < 0,05$). a,b,c,d = los superíndices en minúscula indican diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos del mismo día ($p < 0,05$).





MDA lo que refleja su potencial como agente antioxidante, aunque cabe mencionar que no se encontraron estudios donde se utilizará AF en carne seca.

Análisis Microbiológico

Se determinó la cuenta total de mesófilos aerobios, coliformes totales y mohos y levaduras. Sin embargo, únicamente se presentó crecimiento para la cuenta total de mesófilos aerobios al día 1, donde el TC y TN (4.6 y 4.75 Log₁₀ UFC/mg, respectivamente) no presentaron diferencias entre ellos ($p > 0.05$) aunque si con TF05 y TF1 (4.3 y 4.0 Log₁₀ UFC/mg, respectivamente) ($p < 0.05$) (Gráfica 5). Se encontró que los tratamientos con AF eran más eficaces inhibiendo el crecimiento de mesófilos aerobios que el tratamiento con nitritos. Con relación a esto, Nereyda y Saucedo. (2011) mencionan que las bacterias gram-positivas y gram- negativas, mohos y levaduras comúnmente encontradas como organismos deteriorativos son sensibles a los derivados del ácido hidroxicinámico, ejemplos de este son los ácidos cafeico, ferúlico y p-cumárico. Del mismo modo, de Oliveira Silva y Batista. (2017) mencionan que una de las propiedades funcionales del AF, que lo hace una fuente importante para la aplicación en los alimentos, es su actividad antimicrobiana. Esto es debido a su mecanismo antibacteriano, relacionado tanto con la inhibición de arilamina N-acetiltransferasa, una enzima específica que cataliza acetilación de arilaminas en bacterias, cambiando irreversiblemente la morfología celular y las propiedades de la membrana, como la carga, la permeabilidad intra y extracelular. En este sentido, Ijabadeniyi et al. (2021) demostraron que el AF tiene actividad



Cuadro 3. Mesófilos aeróbicos totales (Log_{10} UFC/mg) de la carne seca (media $\pm$ desviación estándar).

Días	Tratamientos			
	TC	TN	TF05	TF1
1	4.86 ± 0.03^a	4.75 ± 0.17^a	4.30 ± 0.11^b	4.00 ± 0.01^b
60	ND	ND	ND	ND
180	ND	ND	ND	ND

TC, carne seca sin adición de nitritos ni ácido ferúlico en la salmuera; TN, carne seca con 2 % de nitritos en la salmuera; TF05, carne seca con 0.05 % de ácido ferúlico en la salmuera; TF1, carne seca con 0.1 % de ácido ferúlico en la salmuera. ^{a,b,c} Diferentes literales entre columnas denotan diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos. ND, no detectado.



antimicrobiana, por ejemplo, contra las bacterias patógenas *E. coli* O157:H7 ATCC 43888 y *L. monocytogenes* ATCC 7644. Dada esta información, Dasagrandhi et al. (2018b) reportaron que el AF inhibe la adhesión de células bacterianas patógenas en la superficie de biopelículas elaboradas a partir de quitosano. Por otra parte, Mediani et al. (2022) señalan que las características microbiológicas de la carne seca generalmente se describen en función del recuento total en placa (TPC) estándar ($< 5 \text{ Log}_{10} \text{ UFC/g}$) lo que concuerda con los resultados obtenidos en este estudio, mostrando valores que oscilaban entre 4.0 a $4.86 \text{ Log}_{10} \text{ UFC/g}$.

Evaluación Sensorial

Se realizó un análisis sensorial con 59 panelistas de los cuales el 45.76 % eran mujeres y el 54.23 % hombres. El 16.94 % consumía carne seca 1 vez por semana, el 40.67 % de 2 a 3 veces por mes y el 40.67 % consumía 1 vez cada 2 meses y el 1.69 % no la consumía. El rango de edad de los panelistas fue de 18 a 32 (83 %) de 33 a 46 (14 %) y de 47 a 60 años (3 %). Los resultados del análisis sensorial arrojaron que las muestras no fueron sensorialmente diferentes ($\text{Chi}^2 = 2.10$, $p > 0.05$). Por consiguiente, la adición de AF no presentó cambios en la percepción del consumidor, mostrando ser una alternativa para el remplazo de los nitritos en la elaboración de carne seca. Hoy en día, el uso de aditivos naturales en lugar de aditivos sintéticos está siendo ampliamente aceptado, del mismo modo, el desarrollo de nuevos productos cárnicos con perfiles nutricionales mejorados ha aumentado en la última década debido a que los consumidores demandan productos cárnicos sin conservantes, mínimamente procesados y con una vida útil más larga (Gómez et al., 2020).



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este estudio se investigó el efecto del ácido ferúlico sobre la vida útil de la carne seca. Las concentraciones de 0.05 y 0.1 % mostraron una mayor actividad antioxidante y antimicrobiana en comparación con los tratamientos de nitrito al 2 % y control, lo que muestra que el uso de AF en carne seca es una alternativa para reemplazar los nitritos. Además, demostró ser una alternativa viable para reducir el porcentaje de sodio debido a que el cambio de nitritos por AF no fue percibida por los consumidores. Los resultados de este estudio indican que el tiempo de almacenamiento incrementó la oxidación lipídica de la carne seca. En conclusión, el AF representa una alternativa para sustituir el uso de nitritos en la elaboración de carne seca.



REVISION DE LITERATURA

- Aksoy, A., Karasu, S., Akcicek, A., & Kayacan, S. (2019). Effects of different drying methods on drying kinetics, microstructure, color, and the rehydration ratio of minced meat. *Foods*, 8(6). <https://doi.org/10.3390/foods8060216>
- Alam, M. A. (2019). Anti-hypertensive Effect of Cereal Antioxidant Ferulic Acid and Its Mechanism of Action. In *Frontiers in Nutrition* (Vol. 6). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fnut.2019.00121>
- AOAC. (1990). *International Official Methods of Analysis* (Association of Analytical Chemists, Ed.; 15 th).
- Aportela-Palacios, A., Sosa-Morales, M. E., & Vélez-Ruiz, J. F. (2005). Rheological And Physicochemical Behavior Of Fortified Yogurt, With Fiber And Calcium. In *Journal of Texture Studies* (Vol. 36).
- Ayala-Armijos H, García González C, & Sánchez-Prado R. (2016). Efecto de la adición de ácido ascórbico en la degradación de nitratos en mortadela. *Revista Ciencia Unemi*, 9, 85–92. <https://doi.org/http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=582663826012>
- Aykın-Dinçer, E., Atlı, B., Çakmak, Ö., Canavar, S., & Çalışkan, A. (2021). Drying kinetics and quality characteristics of microwave-assisted hot air-dried beef chips. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, 55(3), 219–235. <https://doi.org/10.1080/08327823.2021.1952836>
- Balasubashini, M. S., Rukkumani, R., Viswanathan, P., & Menon, V. P. (2004). Ferulic Acid Alleviates Lipid Peroxidation in Diabetic Rats. *Phytotherapy Research*, 18(4), 310–314. <https://doi.org/10.1002/ptr.1440>
- Bampi, M., Schmidt, F. C., & Laurindo, J. B. (2019). A fast drying method for the production of salted-and-dried meat. *Food Science and Technology (Brazil)*, 39, 526–534. <https://doi.org/10.1590/fst.24418>
- Barat, J. M., Baigts, D., Aliño, M., Fernández, F. J., & Pérez-García, V. M. (2011). Kinetics studies during NaCl and KCl pork meat brining. *Journal of Food Engineering*, 106(1), 102–110. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.04.022>
- Bazan-Lugo, E. (2008). Nitritos y nitratos uso, control y alternativas en productos carnicos. *Nacameh, Avances En Ciencia y Tecnología de La Carne*, 2(2), 160–187.
- Bento-Silva, A., Vaz Patto, M. C., & do Rosário Bronze, M. (2018). Relevance, structure and analysis of ferulic acid in maize cell walls. In *Food Chemistry* (Vol. 246, pp. 360–378). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.012>



- Bezerra, G. S. N., Pereira, M. A. V., Ostrosky, E. A., Barbosa, E. G., de Moura, M. de F. V., Ferrari, M., Aragão, C. F. S., & Gomes, A. P. B. (2017). Compatibility study between ferulic acid and excipients used in cosmetic formulations by TG/DTG, DSC and FTIR. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 127(2), 1683–1691. <https://doi.org/10.1007/s10973-016-5654-9>
- Boz, H. (2015). Ferulic acid in cereals - A review. *Czech Journal of Food Sciences*, 33(1), 1–7. <https://doi.org/10.17221/401/2014-CJFS>
- Brenelli de Paiva, L., Goldbeck, R., Dantas dos Santos, W., & Marcio Squina, F. (2013). Ferulic acid and derivatives: molecules with potential application in the pharmaceutical field. In *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences* (Vol. 49).
- Cao, B. Bin, Jin, X., Yang, H. J., Li, S. L., & Jiang, L. S. (2016). Microbial release of ferulic and p-coumaric acids from forages and their digestibility in lactating cows fed total mixed rations with different forage combinations. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(2), 650–655. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7136>
- Carbajal-Sánchez, J. A., Ramírez-Durán, N., & Gamboa-Angulo, M. (2021). Estado de la información del consumo en México de antioxidantes sintéticos en alimentos ultra-procesados, basados en los productos de la canasta básica. *Scielo, Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 31(58). <https://doi.org/https://doi.org/10.24836/es.v31i58.1143>
- Clifford, M. N. (1999). Chlorogenic acids and other cinnamates - Nature, occurrence and dietary burden. In *Journal of the Science of Food and Agriculture* (Vol. 79, Issue 3, pp. 362–372). John Wiley and Sons Ltd. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(19990301\)79:3<362::AID-JSFA256>3.0.CO;2-D](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(19990301)79:3<362::AID-JSFA256>3.0.CO;2-D)
- Coronado, S. A., Trout, G. R., Dunshea, F. R., & Shah, N. P. (2001). Antioxidant effects of rosemary extract and whey powder on the oxidative stability of wiener sausages during 10 months frozen storage. *Meat Science*, 62, 217–224. [https://doi.org/10.1016/s0309-1740\(01\)00249-2](https://doi.org/10.1016/s0309-1740(01)00249-2)
- Dada, T. A., Ekwomadu, T. I., & Mwanza, M. (2020). Multi mycotoxin determination in dried beef using liquid chromatography coupled with triple quadrupole mass spectrometry (LC-MS/MS). *Toxins*, 12(6). <https://doi.org/10.3390/toxins12060357>
- Dasagrandhi, C., Park, S., Jung, W. K., & Kim, Y. M. (2018). Antibacterial and biofilm modulating potential of ferulic acid-grafted chitosan against human pathogenic bacteria. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(8). <https://doi.org/10.3390/ijms19082157>



- de Oliveira Silva, E., & Batista, R. (2017a). Ferulic Acid and Naturally Occurring Compounds Bearing a Feruloyl Moiety: A Review on Their Structures, Occurrence, and Potential Health Benefits. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(4), 580–616. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12266>
- de Oliveira Silva, E., & Batista, R. (2017b). Ferulic Acid and Naturally Occurring Compounds Bearing a Feruloyl Moiety: A Review on Their Structures, Occurrence, and Potential Health Benefits. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(4), 580–616. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12266>
- Di-Giacomo, S., Percaccio, E., Gullì, M., Romano, A., Vitalone, A., Mazzanti, G., Gaetani, S., & Di-Sotto, A. (2022). Recent Advances in the Neuroprotective Properties of Ferulic Acid in Alzheimer's Disease: A Narrative Review. In *Nutrients* (Vol. 14, Issue 18). MDPI. <https://doi.org/10.3390/nu14183709>
- Dimakopoulou-Papazoglou, D., & Katsanidis, E. (2017). Effect of Maltodextrin, Sodium Chloride, and Liquid Smoke on the Mass Transfer Kinetics and Storage Stability of Osmotically Dehydrated Beef Meat. *Food and Bioprocess Technology*, 10(11), 2034–2045. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-1973-5>
- Dong-Gyun, L., Sang-Suk, L., Kang-Seok, S., & Ki-Chang, N. (2012). Effects of Different Drying Methods on Quality Traits of Hanwoo Beef Jerky from Low-Valued Cuts during Storage. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 32(5), 531–539. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2012.32.5.531>
- Echegaray, N., Pateiro, M., Munekata, P. E. S., Lorenzo, J. M., Chabani, Z., Farag, M. A+, & Domínguez, R. (2021). Measurement of antioxidant capacity of meat and meat products: Methods and applications. *Molecules*, 26(13). <https://doi.org/10.3390/molecules26133880>
- Elmas, F., Bodruk, A., Köprüalan, Ö., Arıkaya, Ş., Koca, N., Serdaroğlu, F. M., Kaymak-Ertekin, F., & Koç, M. (2021). The effect of pre-drying methods on physicochemical, textural and sensory characteristics on puff dried Turkey breast meat. *LWT*, 145. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111350>
- Fasihnia, S. H., Peighambardoust, S. H., Peighambardoust, S. J., Oromiehie, A., Soltanzadeh, M., & Peressini, D. (2020). Migration analysis, antioxidant, and mechanical characterization of polypropylene-based active food packaging films loaded with BHA, BHT, and TBHQ. *Journal of Food Science*, 85(8), 2317–2328. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15337>
- Fazeli, F. (2021). Antioxidant Properties of Ferulic Acid on cardiovascular diseases. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 9(3), 228–240. <https://doi.org/10.22034/ijabbr.2021.525197.1350>



- Gashaw, M. (2015). Review on Mycotoxins in Feeds: Implications to Livestock and human health. *E3 Journal of Agricultural Research and Development*, 5(3), 137–0144.
- Gill, C. O. (2003). Active packaging in practice: meat. In *Novel Food Packaging Techniques* (pp. 375–379). Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9781855737020.3.365>
- Gómez, I., Janardhanan, R., Ibañez, F. C., & Beriain, M. J. (2020). The effects of processing and preservation technologies on meat quality: Sensory and nutritional aspects. In *Foods* (Vol. 9, Issue 10). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/foods9101416>
- González-Fandos, E., & Dominguez, J. L. (2007). Effect of potassium sorbate washing on the growth of *Listeria monocytogenes* on fresh poultry. *Food Control*, 18(7), 842–846. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2006.04.008>
- Govari, M., & Pexara, A. (2015). Nitrates and nitrites in meat products. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*, 66(3), 127–140. <https://doi.org/10.12681/jhvms.15856>
- Gray, J. I., Gomaaa, E. A., & Buckleyb, D. J. (1996). Oxidative Quality and Shelf Life of Meats. *Meat Science*, 43(S), 111–123. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(96\)00059-9](https://doi.org/10.1016/0309-1740(96)00059-9)
- IARC. (2018). Red Meat and Processed Meat. In *Monographs on The Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans* (Vol. 114, p. 421). International Agency for Research on Cancer.
- Ijabadeniyi, O. A., Govender, A., Olagunju, O. F., & Oyedeji, A. B. (2021). The antimicrobial activity of two phenolic acids against foodborne *Escherichia coli* and *Listeria monocytogenes* and their effectiveness in a meat system. *Italian Journal of Food Science*, 33(1), 39–45. <https://doi.org/10.15586/ijfs.v33i1.1933>
- Ingham, S. C., Searls, G., Mohanan, S., & Buege, D. R. (2006). Survival of *Staphylococcus aureus* and *Listeria monocytogenes* on Vacuum-Packaged Beef Jerky and Related Products Stored at 21°C. In *Journal of Food Protection* (Vol. 69, Issue 9). <https://doi.org/10.4315/0362-028x-69.9.2263>
- Ito, N., Fukushima, S., Haqlwara, A., Shibata, M., & Ogiso, T. (2015). *Carcinogenicity of Butylated Hydroxyanisole in F344 Rats* Downloaded from (Vol. 70, Issue 2). <https://doi.org/10.3109/10408448509029322>
- Jia, W., Wu, X., Li, R., Liu, S., & Shi, L. (2021). Effect of nisin and potassium sorbate additions on lipids and nutritional quality of Tan sheep meat. *Food Chemistry*, 365. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130535>



- Kalaycıoğlu, Z., & Erim, F. B. (2019). Nitrate and Nitrites in Foods: Worldwide Regional Distribution in View of Their Risks and Benefits. In *Journal of Agricultural and Food Chemistry* (Vol. 67, Issue 26, pp. 7205–7222). American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b01194>
- Karwowska, M., & Kononiuk, A. (2020). Nitrates/nitrites in food—risk for nitrosative stress and benefits. In *Antioxidants* (Vol. 9, Issue 3). MDPI. <https://doi.org/10.3390/antiox9030241>
- Kiewlicz, J., Szymusiak, H., & Zieliński, R. (2015). Synthesis thermal stability, and antioxidant activity of long-chain alkyl esters of ferulic acid. *Science Technology. Quality, Research Gate*, 22(4), 188–200. <https://doi.org/10.15193/ZNTJ/2015/101/066>
- Kim, H. Y., Park, J., Lee, K. H., Lee, D. U., Kwak, J. H., Kim, Y. S., & Lee, S. M. (2011). Ferulic acid protects against carbon tetrachloride-induced liver injury in mice. *Toxicology*, 282(3), 104–111. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2011.01.017>
- Kumar, C. G., Kamle, A., & Kamal, A. (2013). Purification and biochemical characterization of feruloyl esterases from *Aspergillus terreus* MTCC 11096. *Biotechnology Progress*, 29(4), 924–932. <https://doi.org/10.1002/btpr.1729>
- Kumar, Y., Yadav, D. N., Ahmad, T., & Narsaiah, K. (2015). Recent Trends in the Use of Natural Antioxidants for Meat and Meat Products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(6), 796–812. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12156>
- Li, D., Rui, Y. xin, Guo, S. duo, Luan, F., Liu, R., & Zeng, N. (2021). Ferulic acid: A review of its pharmacology, pharmacokinetics and derivatives. In *Life Sciences* (Vol. 284). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2021.119921>
- Dong-Gyun, L., Sang-Suk, L., Kang-Seok, S., & Ki-Chang, N. (2012). Effects of Different Drying Methods on Quality Traits of Hanwoo Beef Jerky from Low-Valued Cuts during Storage. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 32(5), 531–539. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2012.32.5.531>
- Lodovici, M., Guglielmi, F., Meoni, M., & Dolara, P. (2001). Effect of natural phenolic acids on DNA oxidation in vitro. *Food and Chemical Toxicology*, 39, 1205–1210. [https://doi.org/10.1016/s0278-6915\(01\)00067-9](https://doi.org/10.1016/s0278-6915(01)00067-9)
- Manassis, G., Kalogianni, A. I., Lazou, T., Moschovas, M., Bossis, I., & Gelasakis, A. I. (2020). Plant-derived natural antioxidants in meat and meat products. In *Antioxidants* (Vol. 9, Issue 12, pp. 1–30). MDPI. <https://doi.org/10.3390/antiox9121215>
- Mediani, A., Hamezah, H. S., Jam, F. A., Mahadi, N. F., Chan, S. X. Y., Rohani, E. R., Che Lah, N. H., Azlan, U. K., Khairul Annuar, N. A., Azman, N. A. F.,



- Bunawan, H., Sarian, M. N., Kamal, N., & Abas, F. (2022). A comprehensive review of drying meat products and the associated effects and changes. In *Frontiers in Nutrition* (Vol. 9). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1057366>
- Meilgaard, M. C., Civille, G. V., & Carr, B. T. (2007). *Sensory Evaluation Techniques* (4th ed). CRC Press: Boca Raton.
- Mishra, B., Mishra, J., Pati, P., & Rath, P. (2017). Dehydrated Meat Products: A Review. *International Journal of Livestock Research*, 1. <https://doi.org/10.5455/ijlr.20170812035616>
- Moses, J. A., Norton, T., Alagusundaram, K., & Tiwari, B. K. (2014). Novel Drying Techniques for the Food Industry. In *Food Engineering Reviews* (Vol. 6, Issue 3, pp. 43–55). Springer New York LLC. <https://doi.org/10.1007/s12393-014-9078-7>
- Nereyda, E., & Saucedo, R. (2011). Uso de Agentes Antimicrobianos Naturales en la Conservación de Frutas y Hortalizas. *Ra Ximhai*, 7(1), 153–170.
- NOM-F-150 S-1981. (n.d.). *Norma Oficial Mexicana Determinación de cloruro de sodio en salmueras*. Alimentos Para Humanos, Consultado El 30 de Octubre 2024. Retrieved November 24, 2024, from https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4716889&fecha=15/02/1982#gsc.tab=0
- Nummer, B. A., Harrison, J. A., Harrison, M. A., Kendall, P., Sofos, J. N., & Andress, E. L. (2004). Effects of Preparation Methods on the Microbiological Safety of Home-Dried Meat Jerky. In *Journal of Food Protection* (Vol. 67, Issue 10, pp. 2337–2341).
- Parthasarathy, D. K., & Bryan, N. S. (2012). Sodium nitrite: The “cure” for nitric oxide insufficiency. In *Meat Science* (Vol. 92, Issue 3, pp. 274–279). <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.03.001>
- Petit, T., Caro, Y., Petit, A. S., Santchurn, S. J., & Collignan, A. (2014). Physicochemical and microbiological characteristics of biltong, a traditional salted dried meat of South Africa. *Meat Science*, 96(3), 1313–1317. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.11.003>
- Pyrzyska, K. (2024). Ferulic Acid—A Brief Review of Its Extraction, Bioavailability and Biological Activity. In *Separations* (Vol. 11, Issue 7). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/separations11070204>
- Rahman, M. S., Salman, Z., Kadim, I. T., Mothershaw, A., Al-Riziqi, M. H., Guizani, N., Mahgoub, O., & Ali, A. (2005). Microbial and Physico-Chemical



- Characteristics of Dried Meat Processed by Different Methods. *International Journal of Food Engineering*, 1(2). <https://doi.org/10.2202/1556-3758.1016>
- Ramírez-Navas, J. S., & Rodríguez De Stouvenel, A. (2012). Characterization of Colombian quesillo cheese by spectrophotometry. *Vitae*, 19(2), 178–185. <https://doi.org/10.17533/udea.vitae.7849>
- Rice-Evans, C. A., Miller, N. J., & Paganga, G. (1996). Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. *Free Radical Biology & Medicine*, 20(7), 933–956. [https://doi.org/10.1016/0891-5849\(95\)02227-9](https://doi.org/10.1016/0891-5849(95)02227-9)
- Rice-Evans, C. A., Miller, N., & Paganga, G. (1997). Antioxidant properties of phenolic compounds. *Trends in Plant Science, Elsevier Science*, 2(4). [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(97\)01018-2](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(97)01018-2)
- Scharffetter-Kochanek, K., Brenneisen, P., Wenk, J., Herrmann, G., Ma, W., Kuhr, L., Meewes, C., & Wlaschek, M. (2000). Photoaging of the skin from phenotype to mechanisms. *Experimental Gerontology, Department of Dermatology*, 35, 307–316. [https://doi.org/10.1016/s0531-5565\(00\)00098-x](https://doi.org/10.1016/s0531-5565(00)00098-x)
- Selani, M. M., Shirado, G. A. N., Margiotta, G. B., Saldaña, E., Spada, F. P., Piedade, S. M. S., Contreras-Castillo, C. J., & Canniatti-Brazaca, S. G. (2016). Effects of pineapple byproduct and canola oil as fat replacers on physicochemical and sensory qualities of low-fat beef burger. *Meat Science*, 112, 69–76. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.10.020>
- Sigma-Aldrich. (Noviembre 2024). *Properties of Ferulic Acid*. https://www.sigmaaldrich.com/MX/es/product/aldrich/128708?srsId=AfmBOoo8MHb-4mDyA-lyMO2QztkhL2fPlIFVNq6v2d1E9ep3tKI_f_Ya
- Sorroza-Rojas, N. A., Jinez-Sorroza, B. E., Grijalva Endara, A. de las M., & Naranjo Álvarez, J. de L. (2019). El Cloruro de Sodio (NaCl) y los efectos en la Alimentación. *Recimundo, Revista Científica Mundo de La Investigación y Conocimiento*, 3(1), 913–937. [https://doi.org/10.26820/recimundo/3.\(1\).enero.2019.913-937](https://doi.org/10.26820/recimundo/3.(1).enero.2019.913-937)
- Šuput, D., Lazić, V., Pezo, L., Gubić, J., Šojić, B., Plavšić, D., Lončar, B., Nićetin, M., Filipović, V., & Knežević, V. (2019). Shelf life and quality of dehydrated meat packed in edible coating under modified atmosphere. *Romanian Biotechnological Letters*, 24(3), 545–553. <https://doi.org/10.25083/rbl/24.3/545.553>
- Tee-Ngam, P., Nunant, N., Rattanarat, P., Siangproh, W., & Chailapakul, O. (2013). Simple and rapid determination of ferulic acid levels in food and cosmetic samples using paper-based platforms. *Sensors (Switzerland)*, 13(10), 13039–13053. <https://doi.org/10.3390/s131013039>



- Thaipong, K., Boonprakob, U., Crosby, K., Cisneros-Zevallos, L., & Hawkins Byrne, D. (2006). Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(6–7), 669–675. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.01.003>
- Vázquez-Ovando, A., Mejía-Reyes, J. D., García-Cabrera, K. E., & Velázquez-Ovalle, G. (2022). Capacidad antioxidante: conceptos, métodos de cuantificación y su aplicación en la caracterización de frutos tropicales y productos derivados. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 9(1), 9–33. <https://doi.org/10.23850/24220582.4023>
- Villamil-Galindo, E., & Piagentini, A. M. (2021). Uso de nitritos y nitratos en la industria cárnica lo bueno, lo malo, y el modelo matemático para optimizar su uso. Una revisión. *Revista de La Asociación Colombiana de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Alimentos Hoy*, 29(56).
- Würtzen, G. (1990). Shortcomings of current strategy for toxicity testing of food chemicals: antioxidants. *Fd Chemistry Toxic*, 28(11), 743–745. [https://doi.org/10.1016/0278-6915\(90\)90070-4](https://doi.org/10.1016/0278-6915(90)90070-4)
- Zdanowska-Sasiadek, Z., Marchewka, J., Horbanczuk, J. O., Wierzbicka, A., Lipinska, P., Józwik, A., Atanasov, A. G., Huminiecki, Ł., Sieron, A., Sieron, K., Strzałkowska, N., Stelmasiak, A., De Smet, S., Hecke, T. Van, & Hoffman, L. C. (2018). Nutrients composition in fit snacks made from ostrich, beef and chicken dried meat. *Molecules*, 23(6). <https://doi.org/10.3390/molecules23061267>
- Zduńska, K., Dana, A., Kolodziejczak, A., & Rotsztein, H. (2018). Antioxidant properties of ferulic acid and its possible application. In *Skin Pharmacology and Physiology* (Vol. 31, Issue 6, pp. 332–336). S. Karger AG. <https://doi.org/10.1159/000491755>
- Zheng, Y. Z., Zhou, Y., Guo, R., Fu, Z. M., & Chen, D. F. (2020). Structure-antioxidant activity relationship of ferulic acid derivatives: Effect of ester groups at the end of the carbon side chain. *LWT - Food Science and Technology*, 120. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108932>
- Zioud, A., Hajji, W., Lobón, S., Joy, M., Bertolin, J. R., Smeti, S., Chabbouh, M., Bellagha, S., & Essid, I. (2023). Effects of Drying Methods on Chemical Composition, Lipid Oxidation, and Fatty Acid Profile of a Traditional Dried Meat Kaddid. *Foods*, 12(20). <https://doi.org/10.3390/foods12203837>