



**Centro de Investigación en Alimentación y
Desarrollo, A.C.**

**EXTRACTO DE ENCINO (*Quercus chihuahuensis*) COMO
ANTIOXIDANTE DE ACEITE DE GIRASOL UTILIZADO PARA
LA ELABORACIÓN DE TOTOPOS FRITOS**

Por:

Elsa Daniela Othón Díaz

TESIS APROBADA POR LA


COORDINACIÓN DE TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS DE ORIGEN VEGETAL

Como requisito parcial para obtener el grado de


MAESTRA EN CIENCIAS

APROBACIÓN

Los miembros del comité designado para la revisión de la tesis de Elsa Daniela Othón Díaz, la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Maestra en Ciencias.



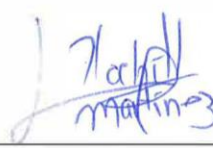
Dr. Jesús Fernando Ayala Zavala
Director de Tesis



M. C. Brenda Adriana Silva Espinoza
Integrante del comité de tesis



Dra. Ariadna Thalía Bernal Mercado
Integrante del comité de tesis



Dra. Leticia Xóchitl López Martínez
Integrante del comité de tesis

DECLARACIÓN INSTITUCIONAL

La información generada en la tesis "Extracto de Encino (*Quercus chihuahuensis*) como Antioxidante de Aceite de Girasol Utilizado para la Elaboración de Totopos Fritos" es propiedad intelectual del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD). Se permiten y agradecen las citas breves del material contenido en esta tesis sin permiso especial de la autora Elsa Daniela Othón Díaz, siempre y cuando se dé crédito correspondiente. Para la reproducción parcial o total de la tesis con fines académicos, se deberá contar con la autorización escrita de quien ocupe la titularidad de la Dirección General del CIAD.

La publicación en comunicaciones científicas o de divulgación popular de los datos contenidos en esta tesis, deberá dar los créditos al CIAD, previa autorización escrita del director(a) de tesis.



CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN
ALIMENTACIÓN Y DESARROLLO, A.C.
Coordinación de Programas Académicos

Dra. Graciela Caire Juvera
Directora General

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), por el apoyo económico brindado durante la realización de mis estudios de posgrado.

Al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. (CIAD) por aceptarme en el programa de Maestría en Ciencias y permitirme trabajar en sus instalaciones.

A mi director de tesis, Dr. Jesús Fernando Ayala Zavala, por todo su apoyo, comprensión, confianza, paciencia, y sobre todo por transmitirme sus conocimientos para lograr realizar este trabajo.

A los miembros de mi comité de tesis: M.C. Brenda Silva, Dra. Thalía Bernal y Dra. Xóchitl López, gracias por su apoyo, sus comentarios y sugerencias a lo largo de estos dos años.

A la Coordinación de Tecnologías de Alimentos de Origen Vegetal y a todos los que la conforman, en especial a Pame, Panchito, Emma, Moni, Toño, Aldo, quienes me apoyaron con sus comentarios, conocimientos y me facilitaron el acceso a equipos y materiales, permitiéndome avanzar con mi trabajo de tesis.

Al Laboratorio de Tecnologías Emergentes y a quienes forman parte de él. A Brenda, Reynaldo, Melvin, Yessi. A mis compañeros y amigos de la maestría, Marce y Jorge. Al Pancho, Luis, Meli y Thali. A las chiwis, Sonia, Gaby y Polet. Gracias por hacer de la maestría una experiencia extraordinaria, por su amistad, sus consejos, sus regaños y sus palabras de aliento. Son lo mejor.

Al Dr. Aldo Moreno, Jhordan y Alan de CICESE. Gracias por recibirme en su laboratorio y compartir sus conocimientos conmigo.

DEDICATORIA

“La ciencia es un largo viaje a través de una tierra desconocida y poco explorada, con un destino que cambia constantemente”

-Robert Oppenheimer.

“Somos el medio para que el cosmos se conozca a sí mismo”

“Somos polvo de estrellas”

-Carl Sagan.

Dedicada a mis padres, Fanny y Rafael, quienes siempre me empujaron a dar lo mejor de mí, gracias por inculcarme el amor a la ciencia y a la naturaleza.

A mis hermanos, Chia y Kelly, gracias por acompañarme en esta travesía llamada vida.

A Alexis y Laura, sin su apoyo no estaría aquí. Gracias Alexis por brindarme tu amor, amistad, y por siempre estar ahí cada que la maestría parecía imposible. Gracias por todos esos sushis y rockaccinos que me subían la moral después de una presentación.

A Ariana, mi mejor amiga, gracias por siempre estar a mi lado, por tus palabras de aliento y por uno que otro regaño cuando más lo necesitaba.

A las nuevas amistades formadas durante la maestría, en especial a Marce, Jorge y Melvin. Son los mejores compañeros de laboratorio, nunca pierdan esa chispa.

CONTENIDO

APROBACIÓN	2
DECLARACIÓN INSTITUCIONAL	3
AGRADECIMIENTOS	4
DEDICATORIA	5
CONTENIDO	6
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE CUADROS	9
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
1. INTRODUCCIÓN	12
2. DETERIORO EN ALIMENTOS: RANCIDEZ OXIDATIVA	15
2.1. Rancidez en Alimentos: Consecuencias Económicas y de Salud.....	15
2.2. Proceso de Enranciamiento: Oxidación Lipídica.....	19
2.3. El Impacto de la Rancidez en los Aceites para Freír Alimentos.....	23
3. VENTAJAS DE LOS ANTIOXIDANTES NATURALES PARA REDUCIR LA RANCIDEZ DE LOS LÍPIDOS	26
3.1. Equilibrio Entre Calidad y Seguridad: El Debate Entre Antioxidantes Naturales y Sintéticos.....	26
3.2. Problemas a la Salud Asociados con los Antioxidantes Sintéticos.....	29
4. EXTRACTOS DE ENCINO COMO FUENTE DE ADITIVOS ANTIOXIDANTES NATURALES CONTRA LA RANCIDEZ	32
4.1. Metabolitos Secundarios de Plantas: Polifenoles y su Actividad Antioxidante.....	32
4.2. Compuestos Antioxidantes Encontrados en el Encino.....	34
4.3. Aplicación de Extractos de Encino en Alimentos.....	38
4.4. Toxicidad del Extracto de Encino.....	42
5. HIPÓTESIS	44
6. OBJETIVOS	45
6.1. Objetivo General.....	45
6.2. Objetivos Específicos.....	45
7. MATERIALES Y MÉTODOS	46
7.1. Obtención, Identificación Taxonómica y Procesamiento del Material Vegetal.....	46
7.2. Etapa 1: Obtención y Caracterización de los Extractos de Diferente Tamaño de Partícula de la Hoja de Encino.....	46
7.2.1. Obtención de Extractos de la Hoja de Encino.....	46
7.2.2. Contenido de Fenoles y Flavonoides Totales.....	47
7.2.3. Capacidad Antioxidante del Extracto.....	48

CONTENIDO (continuación)

7.3. Etapa 2: Perfil Fenólico del Extracto de la Hoja de Encino.....	48
7.4. Etapa 3: Evaluación Sensorial de los Totopos de Maíz Fritos con Aceite de Girasol Adicionado con Extracto de Encino.....	49
7.5. Etapa 4: Evaluación de los Cambios en la Rancidez Oxidativa del Aceite de Girasol Adicionado con Extracto de Encino Durante el Proceso de Fritura	50
7.5.1. Valor de TBA y <i>p</i> -anisidina.....	51
7.5.2. Ácidos Grasos Libres y Color.....	52
7.6. Análisis de Datos y Diseño Experimental.....	53
8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	54
8.1. Etapa 1: Obtención y Caracterización de los Extractos de Diferente Tamaño de Partícula de la Hoja del Encino.....	54
8.2. Etapa 2: Perfil Fenólico del Extracto de la Hoja de Encino.....	58
8.3. Etapa 3: Aceptabilidad del Sabor de los Totopos de Maíz Fritos con Aceite de Girasol Adicionado con Extracto de Encino	61
8.4. Etapa 4: Evaluación de los Cambios en la Rancidez Oxidativa del Aceite de Girasol Adicionado con Extracto de Encino durante el Proceso de Fritura.....	65
9. CONCLUSIONES.....	75
10. RECOMENDACIONES.....	76
11. REFERENCIAS.....	77

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1	Porcentaje de pérdida y desperdicio de alimentos a nivel global.....16
2	Etapas de producción del alimento donde puede ocurrir el proceso de enranciamiento, pérdida y desperdicio.....17
3	Etapas del proceso de oxidación lipídica iniciado por mecanismos de oxidación autocatalizados, termocatalizados y enzimáticos.....20
4	Reacción de hidrólisis de grasas.....22
5	Estructuras químicas de las moléculas Terbutilhidroquinona (TBHQ), Butilhidroxianisol (BHA) y Butilhidroxitolueno (BHT).....30
6	Estructura básica de los compuestos fenólicos, conformada por un anillo bencénico de seis carbonos y un grupo hidroxilo.....33
7	Clases de polifenoles encontrados en la naturaleza.....33
8	Principales compuestos fenólicos que se encuentran en las hojas, bellotas y corteza de <i>Quercus</i>36
9	Variación en el contenido de fenoles y flavonoides totales de los extractos de la hoja de <i>Q. chihuahuensis</i> de diferente tamaño de partícula.....55
10	Análisis de regresión entre el contenido de fenoles totales y el IC ₅₀ del radical ABTS.....57
11	Clases químicas identificadas en el extracto de la hoja de <i>Q. chihuahuensis</i> mediante LC-MS.59
12	Aceptabilidad del sabor de totopos de maíz fritos con aceite de girasol adicionado con diferentes concentraciones de extracto de hoja de encino.....62
13	Aceptabilidad del sabor de totopos de maíz fritos con aceite de girasol adicionado con 200 ppm de extracto de encino.....63
14	Cambios en el valor de TBA, valor de <i>p</i> -anisidina y ácidos grasos libres en aceite de girasol adicionado con 200 ppm de extracto de encino y BHT durante el proceso de fritura.....66
15	Cambios en los parámetros de color (L*, a* y b*) del aceite de girasol adicionado con 200 ppm de extracto de encino y BHT durante el proceso de fritura.....68
16	Cambios en la saturación (Croma) y tonalidad (Hue) del aceite de girasol adicionado con 200 ppm de extracto de encino y BHT durante el proceso de fritura.....70

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Página
1 Antioxidantes típicos utilizados en la industria alimentaria, con su número E, rango de dosificación máximo y reacciones reportadas.....	27
2 Potencial del extracto de encino para inhibir la oxidación lipídica (TBARS/Valor de Peróxido) en diferentes alimentos.....	39
3 Rendimiento del extracto de la hoja de <i>Q. chihuahuensis</i> para cada tamaño de partícula.....	54
4 Efecto del tamaño de partícula de los extractos de la hoja de <i>Q. chihuahuensis</i> en las concentraciones medias inhibitorias (IC ₅₀) de los radicales DPPH y ABTS.....	56
5 Lista de los compuestos fenólicos identificados en el extracto de la hoja de <i>Q. chihuahuensis</i> mediante LC-MS.....	59

RESUMEN

La rancidez es un proceso derivado de la oxidación lipídica que causa el desarrollo de olores y sabores no deseados en los alimentos con alto contenido en grasas o aceites. Uno de los productos más afectados por la rancidez es el aceite de cocina, convirtiéndose en una gran problemática en la industria alimentaria. Los aditivos antioxidantes sintéticos se utilizan con el fin de combatir la rancidez; sin embargo, se han reportado efectos negativos para la salud al consumirlos. La presente tesis explora el efecto del extracto de la hoja de encino (EE) (*Quercus chihuahuensis*) para reducir la rancidez de aceite de girasol. Se determinó el efecto del tamaño de partícula sobre la recuperación de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante, resultando que el mayor contenido de fenoles y capacidad antioxidante se presentó en extractos con tamaño $<149 \mu\text{m}$. Se identificaron 14 compuestos fenólicos en el extracto pertenecientes a 9 clases químicas mediante LC-MS, siendo el ácido *p*-cumárico, la astragalina y la quercetina los compuestos con mayor abundancia relativa. La evaluación sensorial de sabor demostró que la adición de 200 ppm de EE en aceite de girasol fue la concentración máxima aceptable para el consumidor al probar totopos fritos en este aceite. Este tratamiento mostró mayor aceptabilidad (7.55) en comparación con el aceite control (6.20) y el tratado con BHT_{200ppm} (7.10). En los ensayos de oxidación del aceite durante la fritura, el EE mantuvo bajos los niveles de TBA y ácidos grasos libres al finalizar las 24 h de fritura (18.01 y 0.076%, respectivamente), en comparación con el control (54.5 y 0.101%) y BHT_{200ppm} (54.5 y 0.061%). El valor de *p*-anisidina fue significativamente inferior con el extracto hasta las primeras 8 h de fritura (35.96), comparado con el control (48.29). En cuanto a los cambios físicos, los 3 tratamientos aumentaron la luminosidad (L*), b* y croma, mientras que el parámetro a* disminuyó, sin encontrar diferencias ($p>0.05$) entre los tratamientos al finalizar las 24 h. En cuanto a Hue°, el EE presentó un valor más bajo a las 0 h (103.43), aumentando a las 8 h (107.53) y disminuyendo nuevamente hasta las 24 h (106.32). Estos resultados muestran la capacidad antioxidante del EE contra la oxidación lipídica del aceite utilizado para freír, sin afectar el sabor del totopo frito.

Palabras clave: *Quercus chihuahuensis*, antioxidante, compuestos fenólicos, aceite, rancidez.

ABSTRACT

Rancidity is a process derived from lipid oxidation that causes the development of unwanted odors and flavors in foods with high fat or oil content. One of the products most affected by rancidity is cooking oil, becoming a major problem in the food industry. Synthetic antioxidant additives are used in order to combat rancidity; However, negative health effects have been reported when consuming them. This thesis explores the effect of oak leaf extract (EE) (*Quercus chihuahuensis*) to reduce the rancidity of sunflower oil. The effect of particle size on the recovery of phenolic compounds and antioxidant capacity was determined, resulting in the highest content of phenols and antioxidant capacity occurring in extracts with a size <149 μm . The identification of 14 phenolic compounds belonging to 9 chemical classes was achieved by LC-MS, with *p*-coumaric acid, astragalin, and quercetin being the compounds with the highest relative abundance. The sensory evaluation of flavor demonstrated that adding 200 ppm of EE in sunflower oil was the maximum acceptable concentration for the consumer when tasting tortilla chips fried in this oil. This treatment showed greater acceptability (7.55) compared to the control oil (6.20) and the one treated with BHT_{200ppm} (7.10). In the oil oxidation tests during frying, EE maintained low levels of TBA and free fatty acids at the end of 24 h of frying (18.01 and 0.076%, respectively), compared to the control (54.5 and 0.101%). and BHT_{200ppm} (54.5 and 0.061%). The *p*-anisidine value was significantly lower with the extract until the first 8 h of frying (35.96), compared to the control (48.29). Regarding physical changes, the 3 treatments increased luminosity (L*), b*, and chroma, while the parameter a* decreased, without finding differences ($p>0.05$) between the treatments at the end of 24 h. As for Hue°, the EE presented a lower value at 0 h (103.43), increasing at 8 h (107.53) and decreasing again until 24 h (106.32). These results show the antioxidant capacity of EE against the lipid oxidation of the oil used for frying, without affecting the flavor of the fried tortilla chips.

Keywords: *Quercus chihuahuensis*, antioxidant, phenolic compounds, oil, rancidity.

1. INTRODUCCIÓN

La rancidez de los alimentos se define como el deterioro causado por la oxidación de los lípidos, principalmente los ácidos grasos insaturados, resultando en la formación de sabores y olores desagradables y compuestos nocivos. Este proceso se caracteriza por la descomposición de grasas y aceites en ácidos grasos y otros productos de oxidación causantes de la pérdida de calidad y cambios nutrimentales (Abeyrathne *et al.*, 2021; Riaz y Rokey, 2012). La oxidación de lípidos puede ocurrir durante el manejo, procesamiento y almacenamiento de la materia prima (Aryee *et al.*, 2022). Los principales efectos de la oxidación lipídica en los alimentos son los cambios de color y textura y la aparición de sabores y olores rancios, disminuyendo la vida útil y provocando el rechazo del consumidor (Domínguez *et al.*, 2019; Wu *et al.*, 2022). Además, los productos finales de oxidación avanzada de lípidos (ALEs) pueden afectar la salud humana, estando implicados en enfermedades como la arteriosclerosis, el cáncer, la inflamación y los procesos de envejecimiento, entre otros (Domínguez *et al.*, 2019; Loizzo *et al.*, 2015). De igual forma, la oxidación lipídica y el enranciamiento representan un problema en la industria alimentaria, ya que están directamente involucrados en el aumento del desperdicio de alimentos y pérdidas económicas (Aryee *et al.*, 2022), por lo que es necesario encontrar soluciones seguras para disminuir el daño que causan.

Los aceites de cocina son uno de los productos alimenticios más afectados por la rancidez. Durante el proceso de fritura -uno de los usos más populares del aceite- estos alcanzan temperaturas entre 160-180 °C, siendo comúnmente reutilizados en los hogares y a nivel comercial (Ambreen *et al.*, 2020; Banerjee y Soumitra, 2017). Esto trae consigo la degradación del aceite, presentándose cambios físicos tales como oscurecimiento y aumento de viscosidad, así como reacciones químicas entre las que se encuentran oxidación lipídica, hidrólisis y polimerización, generando compuestos que contribuyen a su rancidez (Esfarjani *et al.*, 2019; Jaarin y Kamisah, 2012). Así mismo, estas reacciones provocan la aparición de espuma, residuos marrones y sabores no deseados, los cuales se transfieren a los alimentos disminuyendo su aceptabilidad (Fadda *et al.*, 2022; Marchesino *et al.*, 2020; Vieira *et al.*, 2015). Esto ha impulsado la búsqueda de compuestos que provean mayor estabilidad a estos productos.

Los aditivos antioxidantes alimentarios pueden contrarrestar los efectos adversos causados por la

oxidación de lípidos. Un antioxidante se define como cualquier sustancia que puede retrasar o prevenir significativamente la oxidación del sustrato a bajas concentraciones (Carocho *et al.*, 2018). Para evitar que los alimentos se deterioren se utiliza una amplia variedad de antioxidantes, los cuales pueden ser sintéticos o naturales (Laganà *et al.*, 2017; Wu *et al.*, 2021). Los aditivos sintéticos han sido ampliamente utilizados desde su aparición debido a su bajo costo, alta pureza y actividad constante a bajas concentraciones; sin embargo, se han reportado algunos efectos nocivos en animales (Berdahl *et al.*, 2010; Laganà *et al.*, 2017; Wu *et al.*, 2021). Antioxidantes sintéticos como el butilhidroxianisol (BHA) y el butilhidroxitolueno (BHT) podrían tener propiedades cancerígenas, así como también aumentar el riesgo de alergias y causar intoxicaciones y trastornos metabólicos cuando se consumen en dosis altas (Silva y Lidon, 2016; Wu *et al.*, 2021). Debido a lo anterior, su uso en alimentos para bebés y niños ha sido prohibido, y en el caso de antioxidantes como el BHA estos han sido vetados en ciertos países, tales como la Unión Europea y Japón (Laganà *et al.*, 2017; Shasha *et al.*, 2014; Silva y Lidon, 2016). Por ello, los esfuerzos se han centrado en la búsqueda de nuevos compuestos antioxidantes que puedan añadirse a los alimentos sin causar daño a los consumidores.

Una estrategia propuesta para reducir el enranciamiento de los alimentos es usar extractos de fuentes naturales seguras y efectivas con potencial antioxidante. En concreto, los extractos de encino (*Quercus* sp.) son una alternativa contra el enranciamiento oxidativo que presentan compuestos fenólicos antioxidantes (Valencia-Avilés *et al.*, 2018). Algunos estudios han reportado resultados positivos al agregar extractos de diferentes especies de encino a productos cárnicos. Por ejemplo, Lavado *et al.* (2021) reportaron que las pechugas de pollo tratadas con extracto de *Q. suber* inhibieron la oxidación de lípidos hasta en un 97.7 %, mientras que las hamburguesas de pollo tratadas con *Q. ilex* tuvieron una inhibición de ~75 % durante su proceso de cocción, enfriamiento y recalentamiento (Ferreira *et al.*, 2017). Soriano *et al.* (2018) reportaron valores de inhibición del 97.1 % en hamburguesas de cerdo tratadas con *Q. alba*. En todos los casos anteriores, la adición del extracto de *Quercus* a los alimentos disminuyó significativamente la oxidación de lípidos en comparación con las muestras no tratadas. Otros alimentos a los que se ha añadido extractos de encino son la leche pasteurizada (*Q. infectoria*) (Başyiğit *et al.*, 2020), el aceite de soya (*Q. branti*) (Ranjbar Nedamani *et al.*, 2015), el aceite de girasol y el zumo de naranja (*Q. ballota*) (Romojaro *et al.*, 2018).

La actividad antioxidante de las especies de *Quercus* ha sido asociada con la alta presencia de

compuestos bioactivos, tales como los polifenoles (Morales, 2021). Entre los principales compuestos informados se encuentran el ácido gálico, el ácido elágico, el ácido vanílico, el ácido sirínico, el ácido ferúlico, la quercetina, el kaempferol, la catequina, la epicatequina, y el ácido cafeico, entre otros (Burlacu *et al.*, 2020; Taib *et al.*, 2020). El principal mecanismo de acción de estos compuestos es la actividad de eliminación de radicales, mostrando una alta inhibición de radicales como el 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo (DPPH), el ácido 2,2'-azino-bis-3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico (ABTS⁺) y el radical hidroxilo (\bullet OH) (Aung *et al.*, 2020). Asimismo, se ha reportado que extractos de *Q. salicina* ricos en compuestos fenólicos incrementaron la actividad de superóxido dismutasa (SOD) y catalasa (CAT), dos enzimas importantes para la defensa antioxidante en células expuestas al oxígeno (Aung *et al.*, 2020; Song *et al.*, 2013).

Los extractos de encino han demostrado tener un potencial antioxidante importante, y los resultados de su adición en alimentos han mostrado ser positivos para ralentizar la oxidación lipídica. Sin embargo, estos estudios siguen siendo muy escasos y han sido enfocados principalmente a productos cárnicos. Es necesario extender los estudios hacia otro tipo de alimentos procesados que se enrancian fácilmente, tales como los aceites vegetales, cuyo perfil de ácidos grasos y su uso en la fritura de alimentos los hacen altamente susceptibles a este fenómeno. Debido a la falta de información que existe sobre el uso del extracto de encino, es preciso continuar con la investigación para probar su eficacia contra la rancidez oxidativa, con el fin de conocer los alcances que pueda tener y lograr una aplicación en los alimentos a nivel industrial. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es proponer el uso de los extractos de hoja de encino (*Q. chihuahuensis*) como posible aditivo del aceite de girasol para reducir su rancidez durante el proceso de fritura de alimentos.

2. DETERIORO EN ALIMENTOS: RANCIDEZ OXIDATIVA

2.1. Rancidez en Alimentos: Consecuencias Económicas y de Salud

El enranciamiento de los alimentos se ha convertido en uno de los problemas a los que se enfrenta comúnmente la industria alimentaria. En los alimentos provoca olores y sabores desagradables, así como cambios en la textura, coloración y disminución de la calidad nutritiva, lo que lleva a considerarlo una de las principales causas del deterioro cualitativo de los alimentos naturales y procesados (Gibson y Newsham, 2018; Velasco *et al.*, 2010; Wu *et al.*, 2022). La rancidez trae como consecuencia el acortamiento de la vida de anaquel de los productos alimenticios, así como el rechazo de los consumidores, lo que se traduce en el aumento de pérdidas económicas y desperdicio de alimentos (Aryee *et al.*, 2022; Velasco *et al.*, 2010; Wu *et al.*, 2022). Aun cuando no se encontraron registros específicos de desperdicio de alimentos por enranciamiento, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) reporta que aproximadamente 1/3 de todos los alimentos producidos para el consumo humano, correspondientes a 1300 millones de toneladas, se pierde (disminución en alimentos comestibles a nivel de producción) y desperdicia (descarte de alimentos comestibles a nivel minorista y de consumo) por diferentes causas durante la cadena productiva, lo que se traduce en 936 mil millones de dólares por año (FAO, 2014; Gustavsson *et al.*, 2011; Ishangulyyev *et al.*, 2019). En particular, el 14 % de los alimentos producidos se pierde durante la cosecha y la venta al por menor, mientras que el 17 % de la producción total se desperdicia en el hogar (11 %), el servicio de alimentos (5 %) y el comercio minorista (2 %) (Figura 1) (United Nations, 2022).

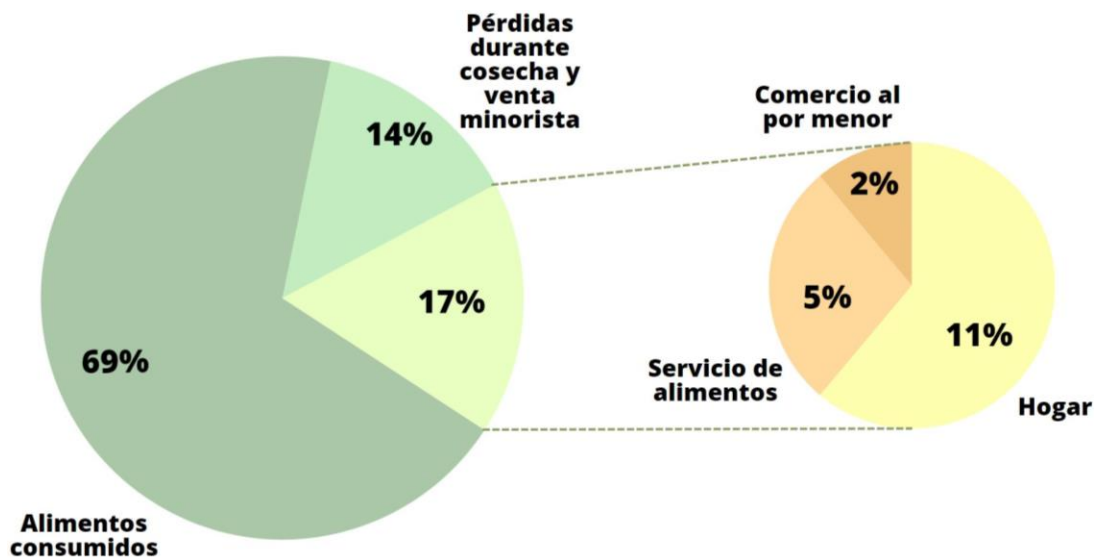


Figura 1. Porcentajes de pérdida y desperdicio de alimentos a nivel global.

Al hacer una comparativa entre los países desarrollados y en vías de desarrollo, se ha observado que existen grandes diferencias en cuanto a la pérdida y desperdicio de alimentos. En los países desarrollados el total alcanza un 56%, de los cuales el 21% corresponde a pérdida y el 35% a desperdicio. En el caso de los países en vía de desarrollo, el total equivale a un 44%, donde la pérdida abarca un 30% y el desperdicio un 14% (Ishangulyyev *et al.*, 2019). Mientras tanto, en México se desperdician alrededor de 20 millones de toneladas de alimentos al año, dando lugar a pérdidas económicas que ascienden a los 400 mil millones de pesos mexicanos (FAO, 2018). La rancidez constituye una de las causas que llevan a la pérdida y desperdicio de alimentos, ya que ésta puede presentarse durante todas las etapas de producción del alimento (manipulación, procesamiento y almacenamiento) (Figura 2) (Domínguez *et al.*, 2019), sin embargo, no se ha cuantificado su impacto real.

Para comprender completamente el impacto del enranciamiento en la pérdida y el desperdicio de alimentos, es necesario generar estadísticas específicas, incluida la cantidad de alimentos perdidos y desperdiciados por el enranciamiento durante la cosecha, el procesamiento y el almacenamiento (Gustavsson *et al.*, 2011). Durante las etapas de producción, manipulación, almacenamiento, procesamiento, distribución y comercialización y preparación casera de los alimentos, existen diversas condiciones que pueden contribuir a la oxidación lipídica y al desarrollo de la rancidez (Domínguez *et al.*, 2019). En las primeras etapas de producción, las altas temperaturas y la exposición a la luz, el aire y los metales traza pueden iniciar y acelerar la oxidación de los lípidos.

Durante la manipulación y el almacenamiento, las fluctuaciones de temperatura y la exposición a la luz, el aire y la humedad también pueden contribuir a la oxidación de lípidos, mientras que, en el procesamiento, el tratamiento a altas temperaturas y presiones, la exposición al oxígeno y la adición de prooxidantes como el hierro y el cobre también pueden contribuir a la oxidación de lípidos. En la etapa de la distribución y el mercado, el almacenamiento inadecuado, la exposición a la luz y las altas temperaturas también contribuyen a la rancidez. Finalmente, durante la preparación en el hogar, el calentamiento excesivo y los utensilios de cocina inadecuados también pueden provocar este problema (Amaral *et al.*, 2018; Domínguez *et al.*, 2019).

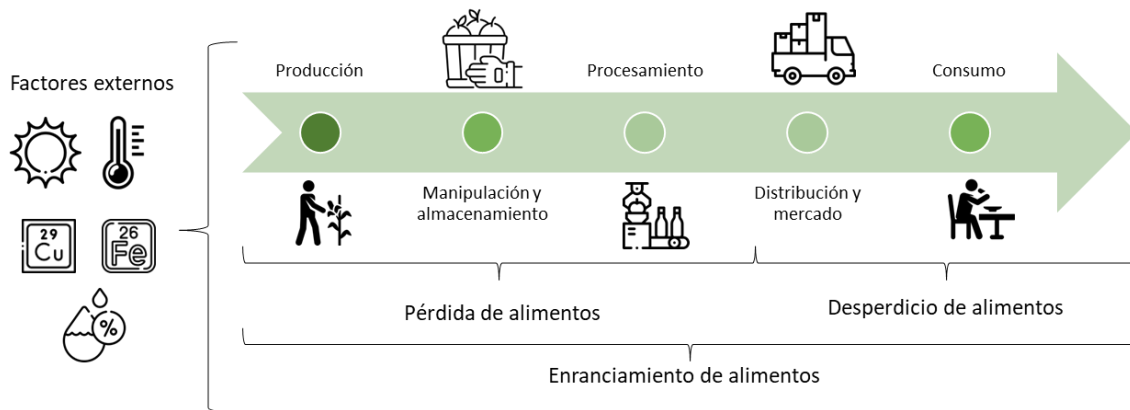


Figura 2. Etapas de producción del alimento donde puede ocurrir el proceso de enranciamiento, pérdida y desperdicio.

El proceso de rancidez provoca cambios negativos en los alimentos a nivel nutricional. Los radicales libres, productos de la oxidación de lípidos implicados en la rancidez, provocan la degradación de las vitaminas y cambios en la funcionalidad de las proteínas (Domínguez *et al.*, 2019; Vieira *et al.*, 2015). Otros compuestos resultantes de la oxidación, como los peróxidos lipídicos, pueden descomponer las vitaminas liposolubles, como las vitaminas E, A y sus provitaminas. Estas vitaminas actúan como antioxidantes naturales, y cuando reaccionan con los radicales libres protegen los alimentos de la oxidación y disminuyen su actividad antioxidante (Wąsowicz *et al.*, 2004). De igual forma, durante este proceso también se produce la pérdida de ácidos grasos poliinsaturados n-3 de cadena larga (PUFA n-3), afectando directamente las propiedades nutricionales de los alimentos ya que son esenciales para el ser humano (Wu *et al.*,

2022; Yun y Surh, 2012). Las investigaciones futuras en esta área podrían centrarse en la cuantificación del deterioro de vitaminas y nutrientes específicos debido a la rancidez en ciertos alimentos, así como en los efectos a largo plazo de su consumo.

El consumo de productos rancios puede ser peligroso debido al riesgo que representan para la salud. Algunos compuestos producidos por la oxidación lipídica, tales como malondialdehído, acroleína, 4-hidroxi-trans-nonenal, 4-hidroxi-trans-hexanal y compuestos similares al crotonaldehído, están implicados en la patogénesis de muchas enfermedades como procesos inflamatorios, envejecimiento, cáncer, arteriosclerosis y Alzheimer (Abeyrathne *et al.*, 2021; Aryee *et al.*, 2022; Loizzo *et al.*, 2015). Los hidroperóxidos lipídicos contribuyen a la citotoxicidad, mientras que los aldehídos y oxisteroles tienen efectos proinflamatorios, citotóxicos y mutagénicos (Domínguez *et al.*, 2019). Se ha considerado que los ALEs causan inflamación, fibrosis y proliferación celular atípica (Loizzo *et al.*, 2015). Sin embargo, se necesita más investigación para establecer la relación entre el consumo de alimentos rancios, el nivel de subproductos tóxicos y el desarrollo de enfermedades. Además, se podrían realizar investigaciones para determinar los métodos más eficaces para reducir o eliminar estos riesgos para la salud, como mejores técnicas de almacenamiento de alimentos o la adición de antioxidantes naturales para prevenir la rancidez.

En el caso particular de los aceites oxidados por calentamiento, su consumo podría aumentar el riesgo de enfermedades cardiovasculares, mal funcionamiento endotelial, peroxidación lipídica, estrés oxidativo, genotoxicidad, carcinogenicidad y reducción de la absorción de glucosa. Además, se sabe que la generación excesiva de radicales libres causa daño hepático, lo que resulta en enfermedades como hepatitis, cirrosis y tumores hepáticos (Ambreen *et al.*, 2020). Así mismo, la formación de ácidos grasos trans en los aceites reutilizados resultan perjudiciales al disminuir el colesterol bueno (HDL) y aumentar el malo (LDL), así como elevar las concentraciones de triglicéridos, el riesgo de padecer un infarto y desarrollar cáncer (Segurondo Loza y Cortez Quisbert, 2020). De hecho, la ingesta de productos de oxidación de lípidos, como los aldehídos contenidos en los aceites de cocina calentados según las prácticas habituales de fritura, influyen en el posible desarrollo de enfermedades cardiovasculares. De igual forma, presentan propiedades cancerígenas y pueden contribuir a los trastornos neurodegenerativos, hipertensión, desarrollo de diabetes y complicaciones respiratorias y pulmonares, especialmente en el caso de la acroleína (Grootveld *et al.*, 2020).

Varios estudios han podido comprobar las consecuencias del consumo de compuestos procedentes

de la oxidación lipídica. Chen *et al.*, (2019) demostraron en un modelo murino que la exposición a la acroleína afecta la regeneración muscular. Además, se promovió la pérdida de masa muscular a una concentración de 2.5 y 5 mg/kg durante 4 semanas, y el peso disminuyó significativamente. Mientras tanto, Chung *et al.* (1986) encontraron que la administración de crotonaldehído a ratas F344 en concentraciones bajas (0.60 mmol/L) durante 113 semanas resultó en una incidencia de tumores hepáticos del 87%. Las dosis altas (6.00 mmol/L) causaron daño hepático grave en el 43% de las ratas tratadas, mientras que el 57% restante desarrolló focos celulares anormales. Otros estudios señalan una asociación entre una alta incidencia de cáncer de pulmón en trabajadores de establecimientos de comida rápida y restaurantes mal ventilados y la inhalación de aldehídos volátiles, provenientes de los vapores del aceite de cocina (Grootveld *et al.*, 2020). Dados los efectos sobre la salud que provoca el consumo de estos compuestos, es importante conocer el mecanismo que conduce a la aparición de enranciamiento en los alimentos para reducirlo y evitar desperdicios y problemas de salud.

2.2. Proceso de Enranciamiento: Oxidación Lipídica

La oxidación de lípidos se ha descrito a través de varios mecanismos, tales como el de autocatalizado, termocatalizado, enzimático y de fotooxidación (Figura 3) (Aryee *et al.*, 2022). La autooxidación es el proceso más importante en la oxidación de lípidos y causa rancidez oxidativa. El proceso implica la interacción de ácidos grasos insaturados con oxígeno, lo que lleva a una reacción en cadena continua de radicales libres (Abeyrathne *et al.*, 2021; Aryee *et al.*, 2022). El proceso tiene tres fases: inicio, propagación y terminación. Durante la fase de iniciación, se extrae hidrógeno de un ácido graso insaturado, formando un radical alquilo. La fase de propagación implica la magnificación de la producción de radicales, mientras que la fase de terminación implica la reacción de los radicales entre sí o con antioxidantes, volviéndose relativamente estables (Domínguez *et al.*, 2019). La autooxidación está influenciada por factores internos y externos tales como el perfil de ácidos grasos, la temperatura, la luz y prooxidantes como los metales de transición (Aryee *et al.*, 2022). Los alimentos ricos en ácidos grasos insaturados, especialmente los ácidos grasos poliinsaturados (PUFA), son más susceptibles a la autooxidación de lípidos (Aryee *et al.*,

2022; Domínguez *et al.*, 2019; Vieira *et al.*, 2015). Esto se debe a que los ácidos grasos insaturados son más reactivos al oxígeno, lo que provoca rancidez oxidativa (Marcus, 2013). Ejemplos de alimentos ricos en ácidos grasos insaturados y susceptibles a la autooxidación de lípidos incluyen aceites, nueces, semillas y pescados grasos (Gibson y Newsham, 2018). Además, los alimentos con alto contenido de grasa expuestos al aire, la luz y el calor son más susceptibles a la autooxidación de lípidos (Abeyrathne *et al.*, 2021; Domínguez *et al.*, 2019).

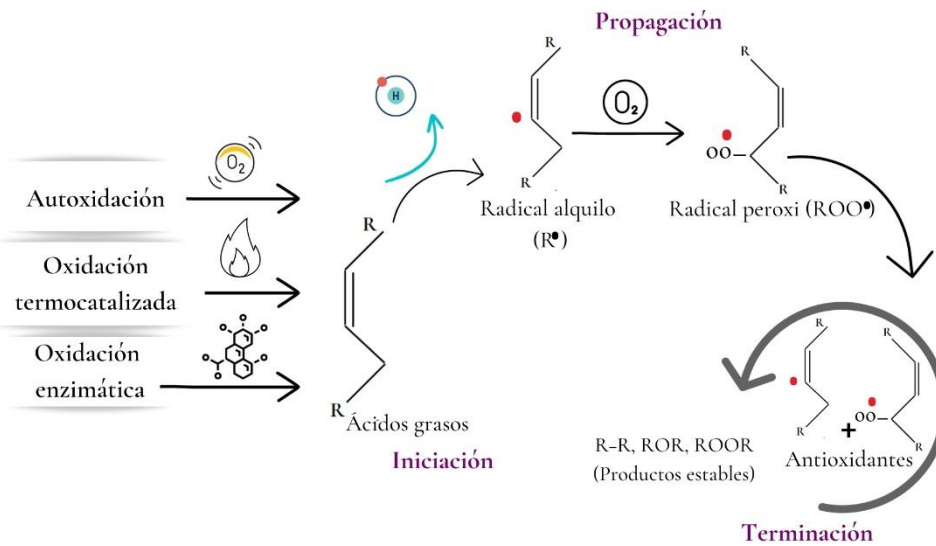


Figura 3. Etapas del proceso de oxidación lipídica iniciado por mecanismos de oxidación autocatalizados, termocatalizados y enzimáticos.

La oxidación de lípidos termocatalizada se refiere al proceso desencadenado por la aplicación de calor. Este tipo de oxidación contribuye significativamente al deterioro y rancidez de los alimentos (Aryee *et al.*, 2022; Falade y Oboh, 2015). Durante este proceso, la interacción de los ácidos grasos insaturados con el calor puede activar metales de transición como el hierro y el cobre, provocando el inicio de reacciones oxidativas (Xiong *et al.*, 2020). El mecanismo de oxidación termocatalizada también incluye las tres fases de inicio, propagación y terminación, donde los radicales libres se generan y multiplican y luego se convierten en compuestos no reactivos (Falade y Oboh, 2015). Otros factores que pueden influir en la tasa de oxidación termocatalizada incluyen prooxidantes, metales traza y el perfil de ácidos grasos del lípido en cuestión (Falade y Oboh, 2015; Xiong *et al.*, 2020). Los alimentos más susceptibles a sufrir oxidación de lípidos termocatalizada contienen altos

niveles de ácidos grasos insaturados y están expuestos a altas temperaturas, como los alimentos fritos y a la parrilla, los alimentos procesados, los productos horneados y los snacks (Shahidi y Hossain, 2022). Además, la presencia de metales como el hierro y el cobre y prooxidantes puede contribuir al proceso de oxidación y aumentar el riesgo de oxidación de lípidos en estos alimentos (Falade y Oboh, 2015).

La oxidación enzimática de lípidos es otro proceso que ocurre debido a la actividad de las lipoxigenasas (LOX) y dioxigenasas, que actúan principalmente sobre los ácidos grasos poliinsaturados (Oenel *et al.*, 2017). La oxidación de ácidos grasos por estas enzimas genera hidroperóxidos a través de mecanismos de radicales libres, que, a su vez, se convierten en productos de oxidación secundarios como aldehídos alifáticos, alcoholes, cetonas y ésteres mediante una serie de reacciones complejas (Ahmed *et al.*, 2016; Tatiyaborworntham *et al.*, 2022). Estas reacciones contribuyen a la oxidación de lípidos de los alimentos, principalmente productos cárnicos, semillas y aceites, provocando que se vuelvan rancios (Lončarić *et al.*, 2020; Oenel *et al.*, 2017; Tatiyaborworntham *et al.*, 2022). Los factores que afectan la oxidación enzimática son el contenido de lipoxigenasas en los alimentos, la forma en que se encuentra el hierro en el sitio activo de la enzima (forma ferrosa) y factores externos como el oxígeno singlete, la luz, los iones metálicos y la radiación (Ahmed *et al.*, 2016; Domínguez *et al.*, 2019; Lončarić *et al.*, 2020).

Otro proceso que conduce a la oxidación de lípidos y produce rancidez es la fotooxidación (Aryee *et al.*, 2022). Durante este proceso se forman hidroperóxidos gracias a la presencia de sensibilizantes y la exposición a la luz (Domínguez *et al.*, 2019). Las reacciones que se llevan a cabo durante la fotooxidación se dividen en tres vías. Primero, el oxígeno singlete se forma mediante la reacción de un sensibilizador triplete excitado con oxígeno molecular; cuando reacciona con ácidos grasos insaturados forma hidroperóxidos sin formar radicales alquilo. En el segundo caso, una reacción entre el sensibilizador excitado y el oxígeno triplete produce un anión radical superóxido que puede reaccionar con ácidos grasos insaturados e iniciar la oxidación de lípidos. Esta reacción se lleva a cabo en presencia de metales. En cuanto a la tercera vía, el sensibilizador triplete excitado reacciona con un ácido graso insaturado, produciendo un radical alquilo que posteriormente puede iniciar el mecanismo de reacción en cadena de los radicales libres, dando lugar a la oxidación de lípidos (Domínguez *et al.*, 2019). Se considera que el proceso de fotooxidación de lípidos es más rápido que la autooxidación (Aryee *et al.*, 2022). Entre los factores que afectan la fotooxidación se encuentran el tiempo de exposición a la luz de los alimentos, la presencia de fotosensibilizadores, siendo los más comunes clorofila, hemoproteínas,

porfirinas y riboflavina, y la presencia de prooxidantes metálicos (Domínguez *et al.*, 2019; Wold, 2006). Las moléculas degradadas por la fotooxidación son proteínas, grasas y aceites, pigmentos y vitaminas, siendo la leche, los productos cárnicos, los aceites vegetales y los vinos los más afectados (Kwon *et al.*, 2018). Además, los alimentos almacenados en recipientes transparentes o expuestos a la luz durante el procesamiento y almacenamiento son más susceptibles a la fotooxidación de lípidos (Wold, 2006).

Además de los diferentes mecanismos de oxidación de los lípidos, existe otra reacción química que provoca el enranciamiento de los alimentos: la hidrólisis (Figura 4). La rancidez hidrolítica ocurre cuando los lípidos se descomponen en ácidos grasos libres, glicerol y otros compuestos a través de la acción de las enzimas lipasa, el calor o la humedad (Gibson y Newsham, 2018). Este proceso puede dar lugar a malos sabores y olores en los productos alimenticios, lo que afecta negativamente a su calidad. Factores como las altas temperaturas y el pH extremo aceleran la hidrólisis; las lipasas actúan sobre el acilglicerol con diferentes grados de especificidad (Zeece, 2020). La rancidez hidrolítica es particularmente relevante en productos alimenticios con alto contenido de grasa donde la actividad de la lipasa está presente o donde el contenido de humedad y las condiciones de temperatura favorecen la hidrólisis de los lípidos, incluso en alimentos fritos, aceites vegetales (por ejemplo, aceite de soya, maíz y girasol), leche, mantequilla y carne (Choe y Min, 2006; Gibson y Newsham, 2018; Zeece, 2020).

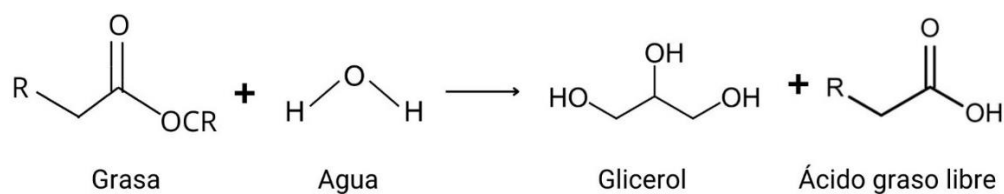


Figura 4. Reacción de hidrólisis de grasas.

Una investigación más profunda sobre la oxidación de lípidos y la rancidez hidrolítica en aceites podría favorecer la comprensión en este tema y mejorar la calidad y seguridad de los alimentos fritos. Esto puede implicar estudiar el inicio de la autooxidación, el impacto de factores internos y externos durante la fritura, prooxidantes y antioxidantes, así como el impacto del uso de aceites rancios en los alimentos fritos en ellos y las afectaciones a la salud que estos pudieran ocasionar.

2.3. El Impacto de la Rancidez en los Aceites para Freír Alimentos

Freír es un método de cocción que muchas culturas de todo el mundo han utilizado durante siglos. Algunas culturas tienen una profunda historia en el uso de la fritura para la preparación de alimentos, con diferentes variaciones y técnicas regionales. Por ejemplo, en Europa, los platos fritos como el pescado y las patatas fritas son alimentos básicos, mientras que, en países asiáticos como Japón y China, la tempura y los salteados son platos populares. En Medio Oriente, el falafel y el baklava son ejemplos de alimentos fritos que se disfrutaban durante generaciones. En México, la fritura es un método de cocina tradicional para preparar diversos platillos, como tacos, sopes, churros y totopos de maíz. La cocina mexicana tiene una rica tradición de utilizar la fritura para la preparación de alimentos y sigue siendo un método de cocción popular en los hogares y restaurantes mexicanos (Andrews, 2018; AtlasMedia, 2023; Bremner, 2017; Kenyon, 2019). La relevancia de la fritura en la cocina mexicana resalta la importancia de este método de cocción para preservar las tradiciones culinarias. Existen varios métodos, incluida la fritura *en profundidad*, en la que los alimentos se sumergen en un baño de grasa o aceite caliente; *salteado*, en el que se utiliza una pequeña cantidad de grasa o aceite en una sartén; y *asar*, en el que los alimentos ricos en proteínas se preparan en un horno o plancha con una mínima adición de grasa o aceite (Banerjee y Soumitra, 2017; Marchesino *et al.*, 2020). Este método de cocción imparte características deseables a los alimentos, aumentando su palatabilidad debido a la absorción de grasas, la formación de costras y sabores y olores agradables (Esfarjani *et al.*, 2019). Sin embargo, los aceites para freír son muy susceptibles a la oxidación de lípidos debido a diferentes factores.

Durante la fritura, las grasas o aceites utilizados alcanzan temperaturas entre los 160-180 °C, incluso hasta más, dependiendo del tipo de freído que se busque (Banerjee y Soumitra, 2017). Además, en los hogares y a nivel comercial es común que los aceites sean reutilizados, con el fin de minimizar costos y maximizar las ganancias (Ambreen *et al.*, 2020). El uso continuo del aceite en estas condiciones trae consigo consecuencias negativas en el mismo, empezando por cambios en su apariencia física tales como el incremento de viscosidad y oscurecimiento (Jaarin y Kamisah, 2012). De igual forma, se presentan cambios químicos que incluyen oxidación, hidrólisis y polimerización, donde muchos de los productos oxidativos resultantes, como hidroperóxidos y aldehídos, son absorbidos por el alimento frito, afectando el sabor y color de éstos. Otros

subproductos derivados de este método de cocción son los alcoholes, compuestos cíclicos, polímeros, dímeros y ácidos grasos libres (Esfarjani *et al.*, 2019; Jaarin y Kamisah, 2012). Igualmente, la presencia de luz, aire y prooxidantes como el hierro y el cobre en los alimentos fritos pueden acelerar la tasa de oxidación.

El deterioro de los aceites comienza desde su procesamiento y almacenamiento, donde pueden ocurrir los procesos de autooxidación y fotooxidación (Halvorsen y Blomhoff, 2011). Después, durante la fritura, ocurre la hidrólisis del aceite, donde se liberan los ácidos grasos debido a las altas temperaturas y a la humedad proveniente del alimento. Esto conlleva a la aparición de sabores “jabonosos”, así como la disminución del punto de humo del aceite, refiriéndose a la temperatura en la que éste comienza a quemarse y degradarse (Gibson y Newsham, 2018; Marchesino *et al.*, 2020; Vieira *et al.*, 2015). De igual forma, la oxidación lipídica continúa ocurriendo, generando compuestos volátiles y no volátiles como ésteres, aldehídos, cetonas y peróxidos, siendo una de las mayores reacciones deteriorativas en los aceites (Esfarjani *et al.*, 2019; Marchesino *et al.*, 2020). En el caso de la polimerización, aquí se producen estructuras de alto peso molecular que aumentan la viscosidad y generación de espuma, así como la formación de un residuo marrón similar a una resina. Entre las moléculas formadas se encuentran triglicéridos cíclicos monoméricos, dímeros y polímeros de triglicéridos (Juárez y Sammán, 2007; Marchesino *et al.*, 2020).

Dado lo anterior, es muy importante elegir el tipo de aceite que se usará para freír alimentos, ya que sus características definirán el nivel de degradación que tendrán y las sustancias que se formarán al exponerse a altas temperaturas (Marchesino *et al.*, 2020). Su composición es una de las variables más importantes, ya que los aceites ricos en ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados son menos estables frente a la oxidación lipídica. Así mismo, el punto de humo es otra de las características a tomar en cuenta, por lo que se busca que tengan valores altos, no menos de 170 °C (Eyres, 2015; Sarwar *et al.*, 2016). El valor de peróxido – utilizado para medir el nivel de rancidez en aceites – también es importante a la hora de elegir un aceite para este método de cocción, considerándose aceptables valores menores a 10 mEq/Kg, que es el que poseen los aceites frescos (Gilbraith *et al.*, 2021). Entre los aceites más utilizados para este método de cocción se encuentran el de girasol, soya, canola y palma (Eyres, 2015; Marchesino *et al.*, 2020).

En el caso particular del aceite de girasol, este está compuesto por una variedad de ácidos grasos saturados (ácido láurico, mirístico, palmítico y esteárico), ácidos grasos monoinsaturados (ácido oleico) y ácidos grasos poliinsaturados (ácido linoleico y α -linoleico), encontrándose estos últimos

en mayor proporción (63-78%). Esta composición los hace altamente susceptibles a sufrir oxidación lipídica, sin embargo, es posible encontrar en el mercado opciones como el aceite de girasol alto en ácido esteárico e hidrogenados, los cuales son más resistentes al deterioro por calentamiento (de Mello Silva Oliveira *et al.*, 2016; Durán Agüero *et al.*, 2015; Marchesino *et al.*, 2020). Otros puntos a su favor son el alto punto de humo que posee, siendo este de 232 °C, y su valor de peróxido, equivalente a 2 mEq/Kg (Sarwar *et al.*, 2016). Las características anteriores los hacen una buena opción para su uso en la fritura de alimentos, siendo uno de los aceites más utilizados en la cocina mexicana (2%) (Zuñiga, 2019).

El proceso de enranciamiento de los alimentos, así como la degradación de las grasas y aceites comestibles utilizados en la cocción de alimentos sigue representando un problema serio para la industria y para la salud de las personas. Los aceites rancios no sólo afectan negativamente el sabor y el aroma de los alimentos, sino que también reducen su valor nutricional y potencialmente introducen compuestos nocivos en los alimentos. Por otro lado, para los consumidores, consumir aceites rancios puede tener efectos adversos para la salud, como un mayor riesgo de estrés oxidativo y enfermedades crónicas. Dado lo anterior, el estudio de la rancidez del aceite de girasol utilizado en la fritura de totopos es importante ya que permitirá analizar la influencia de la temperatura y tiempo sobre la estabilidad oxidativa del aceite, así como el efecto del extracto de encino como antioxidante, con el fin de presentar nuevas soluciones para combatir esta problemática. Al prevenir la rancidez en los aceites para freír, la industria alimentaria puede proporcionar productos seguros y de alta calidad, preservando al mismo tiempo los sabores asociados con la cocina tradicional.

3. VENTAJAS DE LOS ANTIOXIDANTES NATURALES PARA REDUCIR LA RANCIDEZ DE LOS LÍPIDOS

Los antioxidantes naturales se han utilizado ampliamente en la conservación de alimentos debido a sus propiedades únicas que ofrecen muchas ventajas sobre las moléculas sintéticas. A diferencia de los agentes sintéticos, se ha demostrado que las opciones naturales derivadas de plantas, frutas y especias son seguras y eficaces para reducir la rancidez de los lípidos (Zehiroglu y Ozturk Sarikaya, 2019). Estos antioxidantes pueden otorgar una combinación de compuestos beneficiosos que actúan sinérgicamente para retrasar los procesos oxidativos, mejorando la vida útil y la calidad de los productos alimenticios (Lourenço *et al.*, 2019). Además, las agencias reguladoras suelen reconocer que los antioxidantes naturales son seguros y favorecidos por los consumidores, quienes prefieren los aditivos alimentarios naturales (Carocho *et al.*, 2018). Al incorporar antioxidantes naturales, la industria alimentaria no sólo puede mejorar la calidad y seguridad de los alimentos, sino también atraer la creciente demanda de productos alimenticios naturales y orgánicos (Lourenço *et al.*, 2019).

3.1. Equilibrio Entre Calidad y Seguridad: El Debate Entre Antioxidantes Naturales y Sintéticos

Los antioxidantes naturales, como las vitaminas, los minerales y los extractos de plantas, se derivan de fuentes naturales y se utilizan comúnmente en aplicaciones alimentarias (Zehiroglu y Ozturk Sarikaya, 2019). Por otro lado, los antioxidantes sintéticos se fabrican químicamente y de manera general se consideran más potentes que los antioxidantes naturales, sin embargo, pueden causar posibles problemas de salud (Karunaratne y Pamunuwa, 2017). Ambos antioxidantes protegen los alimentos de la rancidez oxidativa, que puede causar sabores desagradables, reducir el contenido de nutrientes y aumentar el riesgo de presencia de subproductos de oxidación dañinos (Velasco *et al.*, 2010).

Los antioxidantes alimentarios pueden ser agregados durante todos los pasos de producción y su uso se encuentra regulado (Carocho *et al.*, 2018; Karunaratne y Pamunuwa, 2017; Silva y Lidon,

2016). Las dos principales organizaciones reguladoras de estas sustancias son la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) en la Unión Europea y la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) en Estados Unidos. Otros organismos reguladores son la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Organización Mundial de la Salud (OMS), Expert Committee on Food Additives y el Codex Alimentarius (Carocho *et al.*, 2018). En México, la agencia encargada de regular el uso de aditivos es la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) (Velázquez-Sámano *et al.*, 2019).

De acuerdo con sus funciones, el Codex Alimentarius ha clasificado a los aditivos alimentarios en 27 familias, mientras que la EFSA los ha clasificado en 9 “Números E”. Dentro de estas clasificaciones, los agentes antioxidantes constituyen una de las familias más importantes debido a que la oxidación es una de las principales causas de degradación de los alimentos (Silva y Lidon, 2016). Los antioxidantes, clasificados dentro del bloque de número E300-E399, son utilizados para extender la vida útil de los alimentos al evitar su enranciamiento, pérdida de color, desarrollo de olores, pérdida de textura, entre otros efectos indeseados (Carocho *et al.*, 2018). En el Cuadro 1 se enlistan algunos de los antioxidantes más utilizados aprobados por la EFSA, su rango de dosificación máximo y reacciones reportadas.

Cuadro 1. Antioxidantes típicos utilizados en la industria alimentaria, con su Número E, rango de dosificación máximo y reacciones reportadas.

Clasificación	Sustancia y Número E *	Rango de dosificación máximo (g/kg)	Aplicación	Reacciones reportadas	Referencia
Natural	Ácido ascórbico y sus sales (E300-302)	0.2~5.0	Frutas y hortalizas frescas cortadas, harina de trigo, productos hortofrutícolas, carne picada fresca, embutidos y productos salados, pescados, mariscos y moluscos sin procesar.	No reportado	(Silva y Lidon, 2016; Wu <i>et al.</i> , 2021)
	Tocoferoles (E306) y sus isómeros geométricos (E307-309*)	No reportado	Carne, pescado, frutos secos, verduras, frutas,	No reportado	(Silva y Lidon, 2016)

			bebidas y conservas, aceites y grasas emulsionadas, alimentos para lactantes y niños.		
			Nueces y semillas enlatadas, dulces a base de chicle, carne a la parrilla y fideos.	-Riesgo de metahemoglobinemia. -Reacciones alérgicas (eccemas, urticaria y malestar estomacal).	(Silva y Lidon, 2016; Wu <i>et al.</i> , 2021)
			Manteca de cerdo, aceites y grasas para freír, aceites y grasas de pescado ovino, avícola y vacuno, salsas, sopas y caldos deshidratados, cereales precocinados, especias y condimentos, papas granuladas deshidratadas, chicles y snacks.	-Riesgo de metahemoglobinemia. -Reacciones alérgicas (eccemas, urticaria, malestar estomacal, lesiones liquenoides, queilitis y dermatitis de contacto).	(Bampidis <i>et al.</i> , 2020; Silva y Lidon, 2016; Velázquez-Sámano <i>et al.</i> , 2019; Wu <i>et al.</i> , 2021)
Sintético	Galato de propilo (E310)	0.1~0.4			
	Galato de Octilo (E311)	0~0.0002			
	Terbutilhidroquinona (TBHQ) (E319)	0.2	Pastel lunar, fideos instantáneos, galletas, rellenos de productos horneados.	-Carcinogénico a altas dosis.	(Silva y Lidon, 2016; Wu <i>et al.</i> , 2021)
	Butilhidroxianisol (BHA) (E320)	0.2	Grasas, aceites, productos grasos emulsionados, cereales secundarios y fideos instantáneos.	-Propiedades cancerígenas. -Riesgo de alergias (rash, urticaria crónica, angioedema, eccema y dermatitis de contacto. -Aumento de los niveles de colesterol y lípidos en sangre. -Sospecha de hiperquinesia.	(Silva y Lidon, 2016; Velázquez-Sámano <i>et al.</i> , 2019; Wu <i>et al.</i> , 2021)
	Butilhidroxitolueno (BHT) (E321)	0.2~0.4	Fideos, caramelos a base de chicles y productos marinos secados al aire, entre otros.	-Propiedades cancerígenas. -Riesgo de alergias (rash, urticaria crónica, angioedema, eccema y dermatitis de contacto. -Aumento de los niveles de colesterol y	(Silva y Lidon, 2016; Velázquez-Sámano <i>et al.</i> , 2019; Wu <i>et al.</i> , 2021)

*E307-E309 corresponden a tocoferoles de origen sintético.

En el caso particular del grupo de los aditivos antioxidantes, existen varias maneras de clasificarlos. De acuerdo con su origen, pueden clasificarse como naturales; idénticos a los naturales, los cuales corresponden a compuestos sintetizados químicamente a partir de los naturales; y los sintéticos, equivalentes a las moléculas que no existen en la naturaleza (Laganà *et al.*, 2017). Generalmente, los antioxidantes naturales son agregados a la carne, pescado, nueces, vegetales, frutas, bebidas y comida enlatada, mientras que los sintéticos se agregan a aceites, quesos y papas fritas (Wu *et al.*, 2021). Cabe destacar que aún no existe un consenso sobre esta clasificación, por lo que oficialmente se siguen considerando a todos los antioxidantes en un solo grupo (Carocho *et al.*, 2018). Los antioxidantes primarios y las moléculas secundarias o sinérgicas representan otra distinción. Los antioxidantes primarios actúan oxidándose a sí mismos, lo que permite que los componentes de los alimentos permanezcan sin cambios, mientras que los antioxidantes sinérgicos refuerzan la acción de los primarios (Laganà *et al.*, 2017; Silva y Lidon, 2016).

3.2. Problemas a la Salud Asociados con los Antioxidantes Sintéticos

El uso de antioxidantes en productos agroalimentarios y alimentarios se ha vuelto común debido a los beneficios económicos que aporta al reducir las pérdidas por rancidez. Wąsowicz *et al.* (2004) mencionaron que algunos gobiernos estatales tienen un interés financiero y de salud pública en el uso generalizado de estos compuestos, ya que agregar antioxidantes en alimentos ricos en grasas podría influir en la salud del consumidor. Esta actuación reduciría la incidencia de determinadas enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo y el gasto público que representan. Sin embargo, también se ha demostrado que los antioxidantes sintéticos tienen efectos adversos para la salud (Karunaratne y Pamunuwa, 2017), lo que genera miedo y rechazo en algunos consumidores y promueve la búsqueda de opciones naturales.

Se ha identificado que los compuestos sintéticos BHA y BHT (Figura 5) poseen propiedades

carcinogénicas a dosis altas, además que una exposición prolongada al BHT puede causar envenenamiento crónico y desórdenes metabólicos (Silva y Lidon, 2016; Wu *et al.*, 2021). De igual manera, se ha reportado la manifestación y exacerbación de reacciones alérgicas tales como urticaria crónica, sarpullido, angioedema y dermatitis atópica (Cuadro 1), así como también el incremento de los niveles de colesterol y lípidos en sangre. Estos efectos secundarios no deseados han llevado a que éstos compuestos no puedan utilizarse en alimentos para infantes y niños (Silva y Lidon, 2016; Valluzzi *et al.*, 2019; Velázquez-Sámano *et al.*, 2019). El antioxidante TBHQ (Figura 5) también ha sido considerado como cancerígeno y genotóxico, por lo que su límite máximo permitido de uso no supera los 200 mg/kg, mientras que el uso de antioxidantes procedentes de galatos también está prohibido en alimentos para lactantes y niños por el riesgo de desarrollar metahemoglobinemia (Silva y Lidon, 2016). Otros efectos causados por este grupo de antioxidantes son reacciones alérgicas en personas asmáticas y en aquellas que no toleran el ácido acetilsalicílico (Silva y Lidon, 2016), e incluso se ha observado apoptosis de cultivos celulares y escisión del ADN causado por galato de propilo (Wu *et al.*, 2021). En resumen, la seguridad y los efectos adversos de estos antioxidantes sintéticos plantean preocupaciones significativas en su uso en alimentos, lo cual refuerza la necesidad de buscar nuevas opciones más seguras.

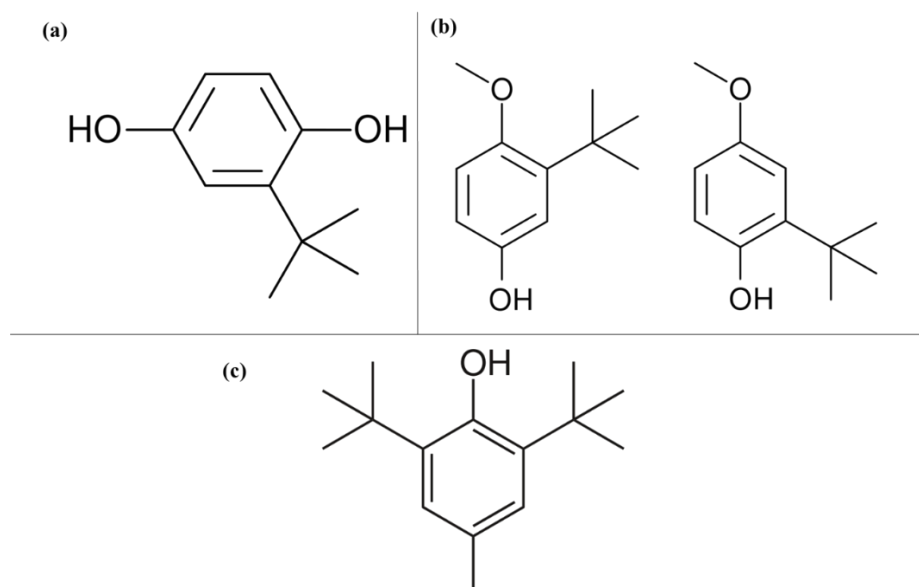


Figura 5. Estructuras químicas de las moléculas a) Terbutilhidroquinona (TBHQ), b) Butilhidroxianisol (BHA) y c) Butilhidroxitolueno (BHT).

El uso de aditivos sintéticos o naturales sigue siendo un tema muy debatido. Se considera que estos antioxidantes son mejores que los sintéticos porque provienen de una fuente natural; sin embargo, esta afirmación no siempre está respaldada por datos científicos (Franco *et al.*, 2019). Esto no quiere decir que deban dejarse de lado los efectos negativos que provocan los antioxidantes sintéticos. De ahí que sea necesario regular estrictamente las dosis utilizadas y su declaración en etiquetado alimentario, así como seguir buscando nuevos compuestos que presenten menos riesgos para la salud humana. Los posibles beneficios para la salud pública y los ahorros financieros del uso de antioxidantes en alimentos ricos en grasas la convierten en un área importante para futuras investigaciones. El desafío es encontrar un equilibrio entre los beneficios del uso de antioxidantes para extender la vida útil de los productos alimenticios y los riesgos potenciales para la salud que plantean estos compuestos. También es importante considerar las distintas condiciones de uso y el tipo específico de antioxidante al evaluar su eficacia y seguridad.

4. EXTRACTOS DE ENCINO COMO FUENTE DE ADITIVOS ANTIOXIDANTES NATURALES CONTRA LA RANCIDEZ

4.1. Metabolitos Secundarios de Plantas: Polifenoles y su Actividad Antioxidante

Dada a la creciente preocupación por los daños que puedan ocasionar los antioxidantes sintéticos y el cambio de los hábitos del consumidor hacia la compra de productos más naturales, se ha optado por recurrir a la búsqueda de agentes antioxidantes en fuentes naturales. Las plantas se han considerado como una buena fuente de estos compuestos, debido a que su metabolismo secundario es capaz de sintetizar una gran variedad de compuestos bioactivos y metabolitos que utilizan principalmente como defensa contra insectos, microorganismos y para adaptarse ante los cambios en el ambiente (Velez Terranova *et al.*, 2014). De igual manera, estos compuestos llegan a tener una notable actividad antioxidante, por lo que existe un interés de utilizarlos para controlar las reacciones de oxidación durante el procesamiento y almacenamiento de los alimentos (Lavado *et al.*, 2021).

Dentro de las principales clases de metabolitos secundarios se encuentran los compuestos fenólicos y polifenólicos. Estos compuestos son considerados como uno de los mayores grupos de metabolitos secundarios en plantas, conociéndose actualmente alrededor de 8000 estructuras polifenólicas que se dividen en varias clases de acuerdo con el número de anillos fenólicos y elementos estructurales ligados a la unidad básica (Figura 6 y Figura 7) (Burlacu *et al.*, 2020; Valencia-Avilés *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2015). Así mismo, existen fenoles sintéticos, tales como el Butilhidroxianisol (BHA), Butilhidroxitolueno (BHT), Terbutilhidroquinona (TBHQ), galato de propilo (PG), galato de octilo (OG) y galato de dodecilo (DG) (Carocho *et al.*, 2018; Shahidi y Ambigaipalan, 2015). Otra manera de clasificarlos es de acuerdo con su solubilidad en agua: entre los solubles se encuentran ácidos fenólicos, fenilpropanoides, flavonoides y quinonas; en los insolubles están los taninos condensados, ligninas y ácidos hidroxicinámicos (Aung *et al.*, 2020). Sin duda estos compuestos son muy diversos, lo que podría significar una buena fuente para la búsqueda de compuestos bioactivos.

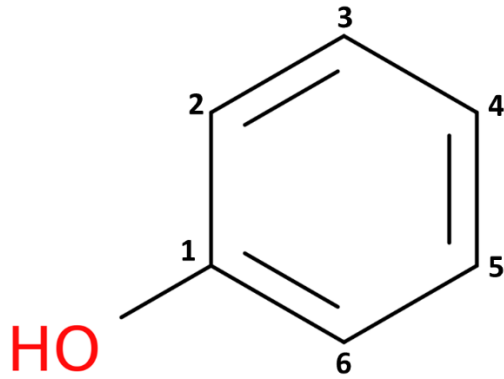


Figura 6. Estructura básica de los compuestos fenólicos, conformada por un anillo bencénico de seis carbonos y un grupo hidroxilo.

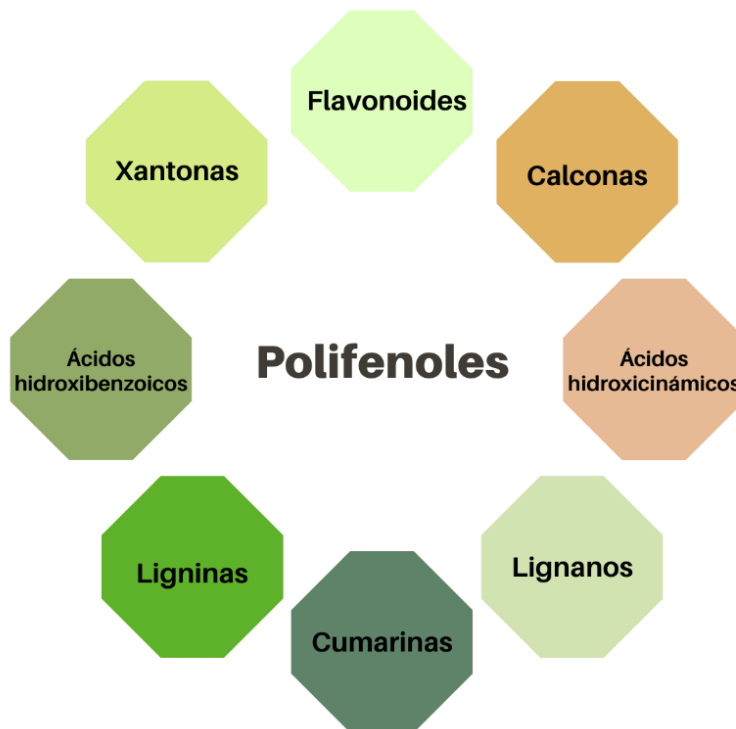


Figura 7. Clases de polifenoles encontrados en la naturaleza.

Se ha encontrado que los compuestos polifenólicos tienen, entre otras cualidades, un gran potencial antioxidante, pudiendo actuar a bajas concentraciones, por lo cual han sido utilizados en los alimentos para evitar la oxidación (Carocho *et al.*, 2018). Además de esto, son conocidos por tener beneficios en la salud humana, reduciendo el riesgo de cáncer, enfermedades del corazón y diabetes, además de poseer propiedades antiinflamatorias, antimicrobianas, antivirales,

antialérgicas y anticarcinogénicas. Se considera que todas estas propiedades son resultado de la actividad antioxidante que poseen, por lo que los polifenoles son clasificados dentro del grupo de los antioxidantes primarios o “verdaderos”. Este potencial antioxidante que poseen depende del número y arreglo de los grupos hidroxilos en las moléculas de interés, habiéndose propuesto varios mecanismos de acción (Burlacu *et al.*, 2020; Shahidi y Ambigaipalan, 2015). A grandes rasgos, los fenoles inhiben las reacciones de oxidación mediante la eliminación de radicales libres, quelando los metales prooxidantes, extinguiendo el oxígeno singlete y los fotosensibilizadores e inactivando las enzimas lipoxigenasas (Soriano *et al.*, 2018). A pesar de ser muy estudiados, el potencial que poseen los fenoles como compuestos bioactivos los sigue manteniendo como objetos de estudio muy atractivos, por lo que es importante y necesario seguir investigando para lograr aplicarlos en la industria alimentaria y farmacéutica.

4.2. Compuestos Antioxidantes Encontrados en el Encino

Durante siglos, los extractos de encino se han utilizado como antioxidante natural en la conservación de alimentos y bebidas. Se sabe desde hace mucho tiempo que los taninos y otros compuestos de los extractos de encino previenen la oxidación (Taib *et al.*, 2020). Los antiguos griegos y romanos utilizaban extractos de encino en la elaboración del vino y la conservación de alimentos, y la práctica de envejecer el vino en barricas de encino continúa hasta el día de hoy (Carpena *et al.*, 2020). El uso de extractos de encino como antioxidante natural se ha ampliado más allá de la industria del vino y actualmente se propone como ingrediente en una amplia variedad de alimentos y bebidas, incluidos carne, queso y té (Burlacu *et al.*, 2020). El resurgimiento del interés por los aditivos alimentarios naturales y saludables ha llevado a un mayor uso de estos extractos como alternativa a los antioxidantes sintéticos.

Quercus es un género de árboles perennes o caducifolios que pertenece a la familia Fagaceae, compuesto por alrededor de más de 500 especies distribuidas por Europa, Asia, África del Norte y América (Burlacu *et al.*, 2020; Morales, 2021). Estas especies son muy valiosas debido a su madera, frutos y carbón, además de presentar propiedades medicinales en la corteza, frutos y hojas, razón por la cual ha sido parte de la medicina tradicional de muchos lugares para tratar quemaduras,

hemorragias, enfermedades gastrointestinales, dermatitis e infecciones de la garganta (Aung *et al.*, 2020; Burlacu *et al.*, 2020). En la industria tonelera también son muy utilizados para la fabricación de barriles para almacenar vinos, siendo parte importante del proceso de maduración, y al ser económicos se han convertido en una de las maderas más rentables para esta industria (Burlacu *et al.*, 2020; Valencia-Avilés *et al.*, 2018). En México se han reportado alrededor de 150 especies, representando el segundo recurso forestal más importante y utilizado principalmente para la fabricación de artesanías, leña y carbón (Valencia-Avilés *et al.*, 2019; Vázquez-Cabral *et al.*, 2015). Mientras tanto en Sonora se han reportado 22 especies, de las cuales *Q. chihuahuensis* es una de las especies dominantes del bosque tropical caducifolio, encontrándose desde los 200 m de elevación pero presentando mayor densidad a los 900 m, donde pasa a formar parte de los encinares (Martínez-Yrizar *et al.*, 2010).

Recientemente, las especies de *Quercus* han llamado la atención de los investigadores en cuanto a los compuestos bioactivos que pudieran tener, por lo que se han realizado estudios con el fin de describir sus constituyentes químicos, propiedades funcionales y efectos beneficiosos (Aung *et al.*, 2020). Se han evaluado los extractos de las hojas, ramas, bellotas y corteza de encino en búsqueda de compuestos con actividad antioxidante, antitumoral, antiinflamatoria, antidiabética, hipocolesterolémica, antihipertensiva y antimicrobiana, con resultados prometedores (Morales, 2021; Valencia-Avilés *et al.*, 2018). Los principales fitoquímicos bioactivos encontrados en *Quercus* son compuestos fenólicos, así como también compuestos volátiles orgánicos, vitamina E, esteroides, alcoholes alifáticos y ácidos grasos (Burlacu *et al.*, 2020).

Hablando específicamente de los compuestos fenólicos, estos han sido identificados en todos los órganos del encino. La mayoría corresponden a constituyentes flavonoides y no flavonoides implicados en el metabolismo intermedio del fenilpropanoide por la vía shikimato. Entre los más conocidos se encuentran el ácido gálico, ácido vanílico, ácido siríngico, ácido ferúlico, quercetina, kaempferol, catequina y epicatequina (Burlacu *et al.*, 2020). En la Figura 8 se enlistan algunos de los compuestos fenólicos encontrados en cada órgano del encino. Se ha reportado de igual forma que factores externos tales como los cambios de temporada y el nivel de madurez de las partes evaluadas del encino influyen en su composición fitoquímica, presentando variaciones en los compuestos fenólicos y flavonoides (Aung *et al.*, 2020). Cabe mencionar que entre especies también existen variaciones complejas en su composición química individual (Burlacu *et al.*, 2020), lo que abre más posibilidades de encontrar nuevos compuestos con alto potencial bioactivo.

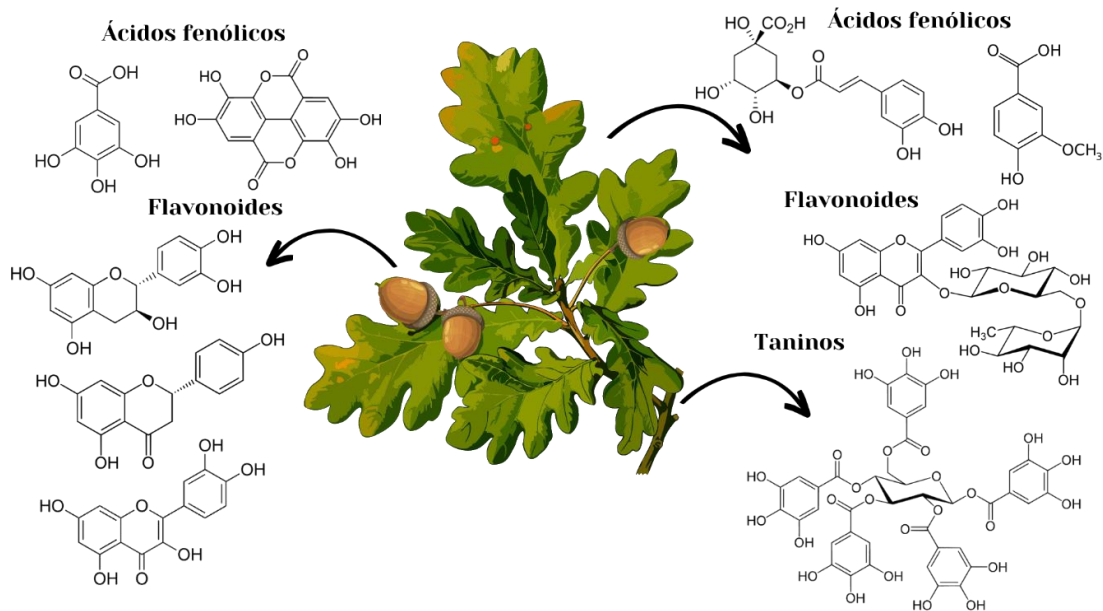


Figura 8. Principales compuestos fenólicos reportados en las hojas (ácido clorogénico, ácido vanílico); bellotas (ácido gálico, ácido elágico, epicatequina, naringenina, quercetina) y corteza (elagitaninos) de *Quercus*.

Como se ha mencionado anteriormente, los compuestos fenólicos son conocidos por la alta capacidad antioxidante que poseen. Su arreglo estructural le confiere una fuerte característica ácida al fenol, siendo este el responsable de su poder antioxidante. Por esto mismo, existe una fuerte correlación entre el contenido total de polifenoles y la actividad antioxidante de un extracto (Tanase *et al.*, 2019). En *Quercus* se han identificado al ácido gálico, ácido elágico y elagitaninos como la castalagina, vescalagina y roburin como compuestos antioxidantes muy potentes, presentando también actividades antimutagénicas y anticancerígenas, derivadas de su poder antioxidante (Burlacu *et al.*, 2020). Diferentes estudios *in vivo* e *in vitro* del extracto de encino han demostrado una alta capacidad antioxidante ligada a la alta cantidad de compuestos polifenólicos que contiene (Morales, 2021). Tuyen *et al.* (2016) estudiaron los extractos de hoja y corteza de 3 especies de encino (*Q. crispula*, *Q. salicina* y *Q. serrata*), analizándolos mediante los ensayos DPPH y ABTS. Los resultados mostraron altas cantidades de compuestos fenólicos totales, siendo mayores en los extractos de hojas. En cuanto a la actividad antioxidante, se encontró una mayor actividad en la fracción de fenol libre de los extractos de hojas. Entre los compuestos predominantes encontrados se encuentran los ácidos elágico, clorogénico y benzoico. Los estudios revisados resaltaron que la mayoría de las especies de *Quercus* tienen una alta actividad antioxidante; sin embargo, señalaron

que el extracto de hoja de *Q. salicina* tenía el mayor potencial, con una actividad más potente. En otro estudio, Gezici y Sekeroglu (2019) estudiaron los extractos de la bellota de *Q. coccifera*, cuyas partes son utilizadas para la preparación de café. El extracto de bellota sin cáscara mostró un mayor contenido de fenoles totales (100.14 EAG/g), mientras que el extracto de la cáscara tuvo el mayor contenido de flavonoides (178.96 EQ/g). En cuanto a la actividad antioxidante, los ensayos de DPPH y Poder Antioxidante Reductor Férrico (FRAP) mostraron una actividad notable en todos los extractos, destacando el extracto de la cúpula de bellota a una concentración de 1000 µg/mL, con un 91% de captación de radicales sobre el DPPH. Pinto *et al.* (2019) analizaron los extractos de *Q. cerris*, encontrando un contenido total de fenoles de 2070 mg/L EAG, mientras que el total de flavonoides fue de 285.3 mg EC (Equivalente de Catequinas)/L, con una gran eficiencia en cuanto a la actividad de eliminación de especies reactivas de oxígeno (ROS) y nitrógeno (RNS), asociada a la presencia de ácido elágico y derivados de galotaninos y elagitaninos. En México, Valencia-Avilés *et al.* (2018) estudiaron los extractos de la corteza de *Q. laurina*, *Q. crassifolia* y *Q. scytophylla*, encontrando que *Q. crassifolia* poseía la mayor concentración de polifenoles (860 mg/g EAG y 43.6 mg/g EQ) y una mejor capacidad de eliminación de ROS. Alañón *et al.* (2011) estudiaron los extractos metanólicos de la madera de los encinos más utilizados en tonelería (*Q. robur*, *Q. petraea* y *Q. pyrenaica*). Los resultados mostraron que *Q. robur* tenía el mayor contenido fenólico (72.63 µg EAG/g) y por tanto una mayor actividad antioxidante. Entre los compuestos fenólicos identificados en las tres especies se encuentran el ácido gálico, el ácido protocatecúico, el ácido *p*-cumárico, el ácido elágico y los elagitaninos. Por otra parte, Soriano *et al.* (2018) analizaron los extractos acuosos de la madera de *Q. alba*, otro encino importante dentro de la industria tonelera. El extracto mostró un alto contenido fenólico y una notable actividad antioxidante contra los radicales DPPH y ABTS. Se analizaron compuestos volátiles, encontrando compuestos bencénicos, lactonas y compuestos furánicos. Asimismo, otras especies de encino estudiadas que han mostrado buenos resultados en cuanto a contenido fenólico y actividad antioxidante son *Q. suber* (Lavado *et al.*, 2021), *Q. ilex* (Ferreira *et al.*, 2017) y *Q. branti* (Ranjbar Nedamani *et al.*, 2015), cuyos extractos han sido propuestos como aditivos antioxidantes alimentarios.

El estudio de extractos de varias especies de *Quercus* los ha expuesto como fuente potencial de compuestos antioxidantes que varían en composición química entre especies. La investigación sobre extractos de encino y especies de *Quercus* ha mostrado resultados prometedores por su potencial como agentes antioxidantes, antiinflamatorios y antimicrobianos naturales (Morales,

2021; Tuyen *et al.*, 2016; Valencia-Avilés *et al.*, 2018). Los principales fitoquímicos bioactivos de las especies de *Quercus* incluyen compuestos fenólicos, compuestos orgánicos volátiles, vitamina E, esteroides, alcoholes alifáticos y ácidos grasos. Los compuestos fenólicos son los más abundantes y se ha descubierto que tienen una alta capacidad antioxidante, siendo el ácido gálico, el ácido elágico y los elagitaninos identificados como potentes compuestos antioxidantes (Burlacu *et al.*, 2020). Estudios *in vitro* e *in vivo* de extractos de encino han demostrado una alta capacidad antioxidante, con variaciones en su potencia dependiendo de la especie, parte del encino utilizado y factores externos como cambios estacionales y nivel de madurez (Tuyen *et al.*, 2016; Valencia-Avilés *et al.*, 2018; Vázquez-Cabral *et al.*, 2015). En el caso particular de *Q. chihuahuensis*, es muy limitado el conocimiento que se tiene sobre esta especie cuanto a composición fitoquímica, así como el potencial antioxidante que pudiera presentar, por lo cual es necesario estudiarlo al ser una de las especies importantes de 2 de los principales ecosistemas del estado de Sonora.

4.3. Aplicación de Extractos de Encino en Alimentos

Dado el alto potencial antioxidante que las especies de *Quercus* han demostrado tener en sus extractos, algunos investigadores han mostrado interés en el uso de sus compuestos como aditivos antioxidantes en alimentos procesados. Se ha estudiado la capacidad de los extractos de diferentes especies de encino de inhibir la oxidación lipídica que causa rancidez oxidativa en distintos alimentos, principalmente cárnicos (Cuadro 2). Lavado *et al.* (2021) estudiaron la capacidad de los extractos de la hoja de *Q. suber* de controlar la oxidación en pechugas de pollo cocinadas y almacenadas en refrigeración. Se encontró que después de 10 días de almacenamiento, el extracto fue capaz de prevenir la oxidación lipídica en hasta un 97.7%, reduciendo las sustancias reactivas del ácido tiobarbitúrico con una capacidad equivalente al aditivo sintético BHT. En otro estudio se analizó el extracto de la madera de *Q. alba* (Soriano *et al.*, 2018) como preservativo natural de hamburguesas de puerco refrigeradas durante 12 días. Los resultados mostraron que las hamburguesas tratadas con el extracto presentaron mayor capacidad antioxidante, una reducción del 97.1% en la oxidación lipídica y una disminución en la generación de productos volátiles de oxidación en comparación con el control de ascorbato de sodio.

Cuadro 2. Potencial del extracto de encino para inhibir la oxidación lipídica (TBARS/valor de peróxido) en diferentes alimentos.

Especie	Tejido utilizado para la extracción	Alimento adicionado con el extracto	Tipo de extracto (solvente)	Oxidación lipídica (%/TBARS/mEq)		Referencia
				Extracto	Control	
<i>Quercus suber</i>	Hojas	Pechuga de pollo	Agua	95.3%		Lavado <i>et al.</i> , 2021
			Etanol	92.4%		
			Agua:Etanol (1:1 v/v)	97.2%	95.9%	
			Agua:Etanol (3:7 v/v)	97.7%		
<i>Quercus ilex</i>	Bellota	Hamburguesa de pollo	Acetona grado alimenticio (60%)	~0.2 mg TBARS/kg	~0.8 mg TBARS/kg	Ferreira <i>et al.</i> , 2017
<i>Quercus alba</i>	Astillas de madera	Hamburguesa de cerdo	Extracto acuoso	0.30 mg TBARS/kg	10.63 mg TBARS/kg	Soriano <i>et al.</i> , 2018
<i>Quercus branti</i>	Bellota	Aceite de soya	Etanol (95%)	~10 mEq/kg	~12.5 mEq/kg	Ranjbar Nedamani <i>et al.</i> , 2015
<i>Quercus ilex</i> subsp. <i>ballota</i>	Bellota	Aceite de girasol	Nitrógeno líquido	~3.5 mmol g ⁻¹	~6.53 mmol g ⁻¹	Romojaro <i>et al.</i> , 2018

~ Indica un valor aproximado.

Ferreira *et al.* (2017) estudiaron el extracto de bellota de *Q. ilex* en hamburguesas de pollo cocidas, almacenadas y recalentadas. Las muestras que contienen el extracto mantuvieron una cantidad baja de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico y volátiles derivados de lípidos durante todo el procesamiento (0.2 mg de TBARS/kg). Además de los alimentos cárnicos, se han evaluado otros productos alimenticios con extractos de roble. Por ejemplo, se midió la capacidad antioxidante del extracto de bellota de *Q. branti* en aceite de soya (Ranjbar Nedamani *et al.*, 2015), y el contenido total de fenoles encontrado fue de 22.64 g EAG/100 g de muestra, con una actividad antioxidante del 65 al 80 % en DPPH. En cuanto a la actividad antioxidante del aceite de soya, el extracto mantuvo un Valor de Peróxido cercano a 10 mEq/kg durante los primeros 10 días de almacenamiento a 60 °C, por debajo del control, que fue de 12.5 mEq/kg.

En otro caso, Romojaro *et al.* (2018) estudiaron el extracto de *Q. ilex* subsp. *ballota* añadida al aceite de girasol y al zumo de naranja. El extracto presentó un contenido total de fenoles alrededor de 350 g de ácido gálico/100 g p.f. (peso fresco) y una actividad antioxidante total (TEAC) de 2000 μ moles Trolox/100 g p.f. La adición del extracto en el aceite de girasol disminuyó significativamente la oxidación lipídica en un 46.4% luego de calentarlo, mientras que, en el jugo de naranja, el extracto impactó positivamente en la evaluación sensorial, presentando una aceptación general del 100.87% respecto al control. Asimismo, Başıyigit *et al.* (2020) evaluaron la capacidad protectora del extracto de agalla de *Q. infectoria* en leche pasteurizada, cuyos compuestos dominantes fueron el ácido elágico (28.156.85 mg/kg seco) y las catequinas (716.21 mg/kg seco). La actividad antioxidante del extracto fue de 2.29 y 1.65 mmol TEAC/g de DPPH y ABTS, respectivamente, presentando además una alta actividad antimicrobiana contra *Escherichia coli*. La oxidación de lípidos no se midió en este estudio.

Otra aplicación importante del encino es el uso de su madera para elaborar barricas donde se envejecen diferentes bebidas alcohólicas. Los compuestos fenólicos presentes en la madera de encino utilizada para añejar vinos, ron y otras bebidas alcohólicas impactan significativamente el sabor, aroma y color de estas bebidas. Los fenoles volátiles y los aldehídos benzoicos desempeñan un papel importante a la hora de contribuir a las características sensoriales de los vinos. Los taninos hidrolizables, como los elagitaninos, son particularmente importantes porque confieren astringencia y participan en la estabilización de las estructuras de los pigmentos. Compuestos como el ácido elágico y el elagitanino imparten sabores complejos, notas especiadas y un color marrón característico a los vinos y licores envejecidos en barricas de roble (Zhang *et al.*, 2015). Entre los principales compuestos se encuentran los ácidos hidroxibenzoicos derivados directamente del ácido benzoico, incluidos los ácidos gálico, gentísico, *p*-hidroxibenzoico, protocatecúico, siríngico, salicílico y vainílico y los aldehídos hidroxibenzoicos, como el siringaldehído y la vainillina, que se modifican como aldehídos con grupos carboxilo (Fortes *et al.*, 2023). Además, las propiedades antioxidantes de estos compuestos fenólicos y su capacidad eliminadora de radicales libres ayudan a conservar las bebidas alcohólicas durante el envejecimiento y a mejorar su calidad. En definitiva, los compuestos fenólicos de la madera de encino son esenciales para producir bebidas alcohólicas de alta calidad y con un sabor único e incomparable (Zhang *et al.*, 2015). Por lo tanto, esta evidencia indica el potencial antioxidante de los flavonoides del encino cuando se buscan agentes contra la rancidez.

A pesar del interés en utilizar los compuestos fenólicos de *Quercus* como aditivo antioxidante, son muy pocos los alimentos que han sido probados. La mayoría de ellos están enfocados a productos cárnicos, y los estudios se realizan en combinación con otras técnicas de conservación (atmósferas modificadas). Por tanto, sería interesante analizar su comportamiento en otras matrices alimentarias altamente susceptibles a la oxidación, como los aceites y las frituras. Uno de los alimentos en el que podría ser interesante probar el efecto antioxidante del extracto es el totopo de maíz. Este corresponde a una botana preparada a partir de la tortilla de maíz mediante un proceso de fritura u horneado (Guillermo-Moreno *et al.*, 2019). Entre sus componentes nutricionales presenta un 44-46% de carbohidratos, 4.5-5% de proteínas y 1% de lípidos, considerándosele un alimento de excelente calidad (Gutiérrez-Hermosillo, 2017). Además, los totopos se ubican en el 2do lugar de botanas saladas consumidas en el mundo, y es uno de los alimentos más consumidos, junto con las tortillas de maíz, en México (Guillermo-Moreno *et al.*, 2019), lo que lo vuelve un buen modelo de estudio. Es aquí donde surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo cambiarán los niveles de rancidez oxidativa del aceite de girasol utilizado para la preparación de totopos de maíz fritos cuando sea adicionado con extracto de encino (*Quercus chihuahuensis*)? Al realizar más investigaciones en esta área, se puede obtener una comprensión más profunda de los beneficios y limitaciones del uso de extractos de encino en aceites para freír, lo que proporcionará información valiosa para los fabricantes de alimentos y los profesionales de la industria.

Similarmente, otra área que ha recibido poca atención es el perfil sensorial y toxicológico del encino, lo cual es fundamental si se va a utilizar ampliamente en alimentos para el consumo humano. La adición de extractos de encino a los sistemas alimentarios puede tener un impacto significativo en el olor y el sabor de los alimentos. En el caso de los extractos derivados de la madera de encino, estos contienen compuestos como elagitaninos y compuestos orgánicos volátiles, presentando aromas y sabores descritos como coco, vainilla, nuez y tostado (Burlacu *et al.*, 2020; Soriano *et al.*, 2018). En el caso de los extractos de hojas de encino, se ha descrito que el alto contenido de polifenoles puede dar sabores astringentes (Vázquez-Cabral *et al.*, 2015). Cuando se agregan a los sistemas alimentarios, estos compuestos interactúan con componentes de los alimentos como las grasas y las proteínas, lo que provoca cambios en el aroma y el sabor de los alimentos (Shahidi y Dissanayaka, 2023). Las investigaciones han demostrado que agregar extractos de encino puede alterar significativamente el perfil sensorial de los alimentos. Soriano *et al.* (2018) informaron que al agregar extracto de astillas de madera de *Q. alba* a hamburguesas de

cerdo, adquirirían olores “amaderados” y a “especias dulces” (clavo y vainilla), además de presentar una coloración más intensa y una aceptación positiva. Mientras tanto, al agregar extracto de bellota de *Q. ilex* a hamburguesas de pollo, Ferreira *et al.* (2017) informaron un cambio en el color del alimento, con una mayor aceptación tanto del color como del olor por parte del consumidor. En el caso de los vinos, Sindt *et al.* (2016) informaron que 3 compuestos obtenidos del extracto de *Q. petraea* podrían ser responsables del sabor amargo del vino, debido a su prevalencia durante el envejecimiento en encino; mientras tanto, al agregar extractos de *Q. robur* al vino, Jiménez-Moreno *et al.* (2018) descubrieron que el vino exhibía aromas especiados y de madera más intensos después de 18 meses de envejecimiento en botella. Estos estudios respaldan a *Quercus* como un ingrediente prometedor en la industria alimentaria; sin embargo, se debe prestar especial atención a optimizar el uso de extractos de encino para mejorar el olor y el sabor de los alimentos y al mismo tiempo garantizar la seguridad alimentaria.

4.4. Toxicidad del Extracto de Encino

Uno de los problemas que enfrenta el uso de extractos de encino en los alimentos es su posible toxicidad. Algunos estudios han sugerido que ciertas partes del encino, principalmente hojas inmaduras, podrían presentar toxicidad para los animales terrestres debido a los taninos y galotaninos hidrolizables, los cuales actúan como inhibidores de enzimas de la digestión y afectan la absorción de nutrientes (Aung *et al.*, 2020). Debido a esto, se han realizado estudios para abordar este problema. La toxicidad de *Q. crassifolia*, *Q. infectoria* y *Q. sideroxylla* se ha probado en ratas, administradas por vía oral subaguda (Valencia-Avilés *et al.*, 2019), aguda mediante enema (Iminjan *et al.*, 2014) y aguda mediante sonda forzada (Soto-García *et al.*, 2016), respectivamente. El extracto de *Q. crassifolia* mostró efectos tóxicos a una dosis administrada repetidamente de 33 mg/kg pc/día y con un NOAEL (Nivel No Observado de Efectos Adversos) de 11 mg/kg pc/día, mientras que el extracto de *Q. infectoria* a una dosis de 10 g/kg no mostró efectos adversos sobre el comportamiento animal, proponiendo que la dosis máxima tolerada está por encima de este valor. En el caso de *Q. sideroxylla*, la DL₅₀ se determinó a una dosis superior a 5000 mg/kg, sin signos perceptibles de efectos adversos.

En cuanto a los estudios *in vitro*, Pinto *et al.* (2019) estudiaron la viabilidad celular y los efectos tóxicos de las semillas de *Q. cerris* utilizadas para preparar bebidas similares al café, encontrando que el rango óptimo de concentraciones no citotóxicas en las líneas celulares Caco-2 y HT29-MTX estuvo entre 0.1 y 1.0 µg/ml. Mientras tanto, Hazwani *et al.* (2018) probaron la toxicidad de una crema vaginal basada en *Q. infectoria* en células HeLa y ratas hembra, encontrando toxicidad moderada en las células con valores de IC₅₀ de 20.80 µg/mL, mientras que las ratas no mostraron efectos adversos sobre su tracto reproductivo.

No se han realizado estudios toxicológicos en alimentos adicionados con extractos de encino; sin embargo, en muchos lugares se consumen infusiones y bebidas fermentadas de las hojas con fines medicinales sin efectos adversos aparentes (Lavado *et al.*, 2021; Valencia-Avilés *et al.*, 2018; Vázquez-Cabral *et al.*, 2015). El conocimiento actual sobre la toxicidad de los extractos de encino se limita a estudios realizados a nivel celular y en ratas. Los resultados de estos estudios sugieren que la toxicidad del extracto de encino varía según la especie y el método de administración. Los pocos estudios publicados muestran que los extractos de encino pueden tener efectos tóxicos en ratas en dosis altas, mientras que los estudios *in vitro* han encontrado que el extracto de encino tiene una toxicidad moderada en las células. Por lo tanto, se deben realizar más estudios toxicológicos sobre el extracto de encino en los sistemas alimentarios para determinar su seguridad como ingrediente antioxidante. Además, se necesitan más estudios para determinar si diferentes métodos de extracción pueden generar extractos más seguros. A pesar de esta falta de información, la evidencia revisada indica los usos ancestrales y actuales del encino en alimentos y las propiedades benéficas que sus componentes pueden traer a la salud humana.

5. HIPÓTESIS

El extracto de las hojas de encino (*Quercus chihuahuensis*) disminuye la rancidez oxidativa del aceite de girasol utilizado para la preparación de totopos de maíz fritos.

6. OBJETIVOS

6.1. Objetivo General

Evaluar la actividad antioxidante del extracto de las hojas de encino (*Quercus chihuahuensis*) en aceite de girasol utilizado para la preparación de totopos de maíz fritos.

6.2. Objetivos Específicos

- Evaluar el efecto de los diferentes tamaños de partícula sobre la extracción de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de las hojas de encino (*Quercus chihuahuensis*).
- Caracterizar el perfil fenólico del extracto de las hojas de encino (*Quercus chihuahuensis*) que presente el contenido más alto de compuestos fenólicos y actividad antioxidante.
- Determinar la aceptabilidad sensorial de los totopos de maíz fritos con el aceite de girasol adicionado con el extracto de las hojas de encino (*Quercus chihuahuensis*).
- Cuantificar los cambios en la rancidez oxidativa del aceite de girasol adicionado con el extracto de las hojas de encino (*Quercus chihuahuensis*) y utilizado para la fritura de totopos de maíz.

7. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1. Obtención, Identificación Taxonómica y Procesamiento del Material Vegetal

Se recolectaron hojas maduras (10 meses después de brotación) de encino de la especie *Quercus chihuahuensis* en el poblado El Encinal, localizado en el municipio de Bacanora, Sonora (28°38'09.9'' N; 109°16'32.7'' W). Las hojas se transportaron al Laboratorio de Tecnologías Emergentes en CIAD, donde se almacenaron a -20 °C hasta su procesamiento. La identificación taxonómica se realizó con base a descripciones y comparación morfológica de especímenes reportados por (Bárceñas-Pazos, 2011), así como en la Red de Herbarios del Noroeste de México (2018), Oaks of the World y Flora of North America (FNA).

Las hojas de encino se lavaron con agua con NaClO a una concentración de 200 ppm, con la finalidad de eliminar rastros de suciedad. Ya lavadas se procedió al secado, colocando las hojas en un horno (Gravity 2.3 cF, VWR, Pensilvania, EUA) a 50 °C durante 24 horas para eliminar todo contenido de humedad. Después de secar las hojas, éstas se molieron con un procesador de alimentos (NutriBullet, EUA) durante 4 periodos de 10 segundos hasta obtener un polvo, el cual se tamizó utilizando mallas estandarizadas (ATM Products, Advantech Mfg, Wisconsin, EUA) con diferentes tamaños de apertura: No. 60 (250 µm), No. 80 (180 µm) y No. 100 (150 µm). Los tamices se colocaron en un agitador durante 5 minutos y finalmente el polvo tamizado se dividió por tamaños y se almacenó en un desecador a 25 °C hasta su procesamiento.

7.2. Etapa 1: Obtención y Caracterización de los Extractos de Diferente Tamaño de Partícula de la Hoja del Encino.

7.2.1. Obtención de Extractos de la Hoja de Encino.

A partir de los tamaños de partícula del polvo obtenidos (425-250 µm, 249-180 µm, 179-150 µm

y <149 μm) se prepararon los extractos en una proporción 1:10 muestra:solvente, utilizando como solvente etanol al 70%. Se dejaron macerar durante 10 días y las muestras se filtraron a través del papel Whatman No.1, mientras que el solvente se retiró utilizando un rotaevaporador a 45 °C (Laborata 4010, Heidolph, Alemania). Los extractos se reconstituyeron en agua MilliQ y posteriormente se realizó una hidrólisis alcalina con NaOH 4M durante 4 horas, seguida de una hidrólisis ácida con HCl 4M, hasta llegar a un pH de 2. Finalmente, a los extractos obtenidos se les retiró el agua utilizando un liofilizador (LyoQuest, Telstar, EUA) en las siguientes condiciones: -70 °C, 0.2 mbar durante hora y media y 30 °C, 0.2 mbar durante seis horas y media. Ya liofilizados, se almacenaron en un desecador a 25 °C hasta su uso. Para determinar los rendimientos porcentuales se utilizó la fórmula $\%R = (m_i - m_f) / m_i * 100$, donde %R= porcentaje de rendimiento, m_i = masa inicial y m_f = masa final (Benítez-Benítez *et al.*, 2020).

7.2.2. Contenido de Fenoles y Flavonoides Totales

Para determinar el contenido total de fenoles y flavonoides de los extractos obtenidos de cada tamaño de partícula se utilizaron los métodos de Folin-Ciocalteu y Zhishen *et al.* (1999) con modificaciones de Bernal-Mercado (2014). Para fenoles totales se agregaron 75 μL de Folin [1:10], 15 μL de extracto y 60 μL de Na_2CO_3 7.5% en una microplaca (Costar 96, 150 μL). Se dejó reposar durante 30 min y después se leyó en un lector de microplacas (Fluostar Omega, BGM Labtech, Chicago, IL, EUA) a una longitud de onda de 765 nm. Para flavonoides totales se agregó 16.6 μL de extracto, 71.6 μL de la solución A (1.8 mL de NaNO_2 5% con 24 mL de agua destilada) y se dejó reposar durante 5 min. Posteriormente se adicionó 5 μL de AlCl_3 10% y se dejó reposar por 1 min. Por último, se agregó 73.3 μL de solución B (12 mL de NaOH 1M con 14.4 mL de agua destilada) y se leyó en el lector de microplacas a una longitud de onda de 496 nm. Cada prueba se realizó por triplicado. Se realizaron curvas de calibración de ácido gálico y quercetina, y los resultados se expresaron como mg equivalentes de ácido gálico por gramo de extracto de peso seco (mg EAG/g p.s.) para fenoles y mg equivalentes de quercetina por gramo de extracto de peso seco (mg EQ/g p.s.) para flavonoides.

7.2.3. Capacidad Antioxidante del Extracto

Con la finalidad de medir la capacidad antioxidante de los extractos, se llevaron a cabo los ensayos de DPPH^{*} y TEAC, siguiendo la metodología de Bernal-Mercado (2014). Para el ensayo de DPPH se preparó el radical diluyendo 1.97 mg de DPPH en 50 mL de metanol puro, ajustado a una absorbancia de 0.7. En una microplaca se agregó 140 μ L del radical ajustado y 10 μ L de extracto. Se dejó reposar durante 30 min y posteriormente se leyó en el lector de microplacas a 518 nm. Mientras tanto para el ensayo de TEAC se preparó el radical pesando 19.3 mg de ABTS y disolviéndolo en 5 mL de agua destilada. Después se pesó 37.8 mg de K₂S₂O₈ y se disolvió en 1 mL de agua destilada. De esta solución se tomaron 88 μ L y se agregó a la solución de ABTS. La mezcla se dejó reposar durante 16 h en oscuridad y a temperatura ambiente. Pasado el tiempo el radical se ajustó con etanol al 70% hasta alcanzar una absorbancia de 0.7. Para la reacción se añadieron 140 μ L del radical ajustado y 10 μ L del extracto, se dejó reposar durante 5 min y se leyó en el lector de microplacas a una longitud de onda de 754 nm. Cada ensayo se realizó por triplicado. Los resultados se expresaron como las concentraciones medias de los extractos con diferentes tamaños de partícula para inhibir a cada radical (IC₅₀).

7.3. Etapa 2: Perfil Fenólico del Extracto de la Hoja de Encino

Para identificar y cuantificar los compuestos fenólicos en el extracto que presente la mayor cantidad de fenoles totales y capacidad antioxidante, se utilizó la técnica de cromatografía líquida (LC), siguiendo la metodología reportada por Montoya-Inzunza *et al.* (2023). Se utilizó el equipo LC Agilent 1260 Infinity (Agilent Technologies, Inc., Santa Clara, CA, EUA). Las corridas analíticas se realizaron en una columna ProtID-Chip-43 II (C18, 43 mm, 300 Å, tamaño de partícula de 5 μ m, equipada con una columna de enriquecimiento de 40 nL), utilizando como solventes (fase móvil) agua con 0.1% de ácido fórmico (A) y acetonitrilo con 0.1% de ácido fórmico (B). El gradiente de elución fue el siguiente: 0-20 min: aumento lineal del 5% al 40% de B; 20-25 min 40% B, 25-30 min: aumento lineal hasta 100% de B; 30-35: 100% B; 35-36: cambio a 5% A; y 36-45: 5% A. El flujo fue de 300 nL/min y se corrieron dos muestras en blanco (3 μ L de 5% de B)

entre cada inyección para minimizar el posible arrastre. La muestra se inyectó por triplicado. Los metabolitos separados se analizaron utilizando un espectrómetro de masas Agilent 6530A Q-TOF (Agilent Technologies, Inc., Santa Clara, CA, EUA) a través de una interfaz Chip Cube-LC e ionización por nanopulverización en modo positivo. Se utilizó la adquisición dependiente de los datos. Para MS1, el rango de masas fue de 110 a 2000 m/z con una velocidad de 4 espectros/s. Se seleccionaron los 5 iones precursores más intensos por ciclo que alcanzaron 150 cps para la adquisición de MS2 (50–2000 m/z) a una velocidad de 3 espectros/s. La opción de exclusión activa estaba activada, configurada en 2 espectros y liberada después de 0.25 min. Se utilizó una energía de colisión en rampa con valores de pendiente y compensación de 6 y 4, respectivamente. El equipo se calibró externamente antes de la adquisición de la muestra y cada 24 h con una solución de mezcla de ajuste de baja concentración ESI-L (Agilent Technologies, Inc., Santa Clara, CA, EE. UU.) para garantizar una precisión de masa <5 ppm para los datos MS1 y MS2. Para analizar los datos LC-MS2 obtenidos se utilizó un flujo de trabajo compuesto por paquetes de software de acceso abierto y plataformas en línea según lo descrito por Contreras-Angulo *et al.* (2022). Primeramente, las características se extrajeron, alinearon y normalizaron usando MZmine versión 2.53 (Pluskal *et al.*, 2010); después, la anotación o identificación automática de metabolitos a nivel de estructura (Schymanski *et al.*, 2014) se realizó utilizando la plataforma web Global Natural Products Social Molecular Networking (GNPS) (Wang *et al.*, 2016) (Metabolomics Standards Initiative (MSI) nivel de clasificación 2) (Aron *et al.*, 2020) y herramientas *in silico* (CSI: FingerID) (MSI, nivel 3) (Cao *et al.*, 2021; Dührkop *et al.*, 2015). Las clases químicas de los metabolitos detectados (MSI, nivel 3) se recuperaron mediante la herramienta CANOPUS (Djoumbou Feunang *et al.*, 2016; Dührkop *et al.*, 2021) integrada en el software SIRIUS versión 4.9.12 (Dührkop *et al.*, 2019). Finalmente, se realizó una cuantificación relativa de los compuestos identificados mediante el área bajo la curva de los cromatogramas.

7.4. Etapa 3: Evaluación Sensorial del Sabor de los Totopos de Maíz Fritos con Aceite de Girasol Adicionado con Extracto de Encino

Con el fin de conocer la aceptabilidad del sabor de los totopos de maíz fritos en aceite adicionado con extracto de encino, se llevó a cabo una evaluación sensorial, la cual se dividió en dos etapas.

En la primera etapa se adicionaron diferentes concentraciones de extracto de la hoja de encino (100, 200, 400 y 600 ppm) a aceite de girasol alto oleico orgánico de la marca Kevala, teniendo un tratamiento control (aceite sin aditivos) y un tratamiento con BHT a 200 ppm. Con estos aceites se frieron totopos a partir de tortillas de maíz durante 2:30 min, a una temperatura de 175 ± 5 °C en una freidora de aceite con capacidad de 1 L (CHEFMAN, China). Las tortillas de maíz fueron secadas a temperatura ambiente durante 24 h antes de la fritura. Para esta parte, la evaluación se realizó con 10 panelistas no entrenados, con el fin de conocer la concentración máxima aceptable. En la segunda parte de la evaluación se prepararon más totopos con las mismas condiciones, siendo los tratamientos el aceite control, el aceite con BHT a 200 ppm y el aceite con la concentración máxima aceptable de extracto de encino. La evaluación se realizó con 100 panelistas no entrenados. Para medir el nivel de agrado del sabor en ambas etapas, se utilizó una escala hedónica de 1 a 10, donde 1 es desagrada extremadamente, 2.5 desagrada moderadamente, 5 ni agrada ni desagrada, 7.5 agrada moderadamente y 10 agrada extremadamente (Bernal-Mercado, 2014).

7.5. Etapa 4: Evaluación de los Cambios en la Rancidez Oxidativa del Aceite de Girasol Adicionado con Extracto de Encino Durante el Proceso de Fritura

Los tratamientos aplicados al aceite de girasol fueron control sin aditivos, aceite de girasol + BHT a 200 ppm y aceite de girasol + extracto de encino a 200 ppm. Para la fritura de los totopos de maíz se siguió la metodología reportada por Marina *et al.* (2014) con ligeras modificaciones. El aceite de girasol se sometió a un calentamiento de 175 °C por 8 h diarias en una freidora con capacidad de 1L (CHEFMAN, China), durante las cuales se freían aproximadamente 10 g de totopos de maíz cada hora. Al finalizar el periodo de calentamiento diario, el aceite era dejado en reposo para enfriarse durante la noche. Este proceso se replicó durante tres días consecutivos sin incorporar aceite fresco, acumulando así un total de 24 h de calentamiento. Los intervalos muestreados fueron 0, 8, 16 y 24 h de calentamiento acumulado. Posteriormente, se realizaron mediciones de estabilidad oxidativa de los aceites adicionados con los diferentes tratamientos durante el calentamiento acumulado.

7.5.1. Valor de TBA y *p*-anisidina

Con el fin de medir la oxidación del aceite de girasol utilizado para freír totopos, se realizaron los ensayos de Valor de TBA (NOM-F-589-SCFI-2009) y Valor de *p*-anisidina (AOCS Cd 18-90) (AOCS, 1997). Para determinar el valor de TBA, se pesaron 50 mg de cada muestra de aceite en un matraz volumétrico de 25 mL, agregando 1-butanol hasta aforar. Se tomaron 5 mL de la solución anterior y se colocó esta alicuota en un tubo de ensayo, al cual se le agregó 5 mL de solución de ácido tiobarbitúrico. Después se colocó el tubo en baño maría a 95 °C durante 120 min. Pasado el tiempo se sacó el tubo y se enfrió bajo agua corriente durante 10 min, para finalmente medir la absorbancia de la solución a una longitud de onda de 530 nm en un lector de microplacas. La fórmula utilizada para calcular el valor de TBA fue la siguiente:

$$\text{Valor de TBA} = \frac{50 \times (A-B)}{m}$$

Donde:

- A = Absorbancia de la solución aceite-butanol.
- B = Absorbancia del blanco (butanol + reactivo TBA).
- m = peso de la muestra (g).

Mientras tanto, para determinar el valor de *p*-anisidina se utilizó la metodología AOCS Cd 18-90 con algunas modificaciones. Se pesó 0.05 g de aceite muestra y se agregó 2.5 mL de isooctano. Se midió la absorbancia de la solución en un lector de microplacas a una longitud de onda 350 nm, utilizando como blanco isooctano. Después se tomó 250 µL de la solución y se colocó en una microplaca, agregando 50 µL de *p*-anisidina y dejando reposar por 10 min. Finalmente, se leyó la absorbancia en un lector de microplacas a una longitud de onda de 350 nm, utilizando como blanco isooctano + *p*-anisidina. La fórmula utilizada para calcular el valor de TBA fue la siguiente:

$$\text{Valor } p\text{-a.} = \frac{25 \times (1.2 A_s - A_b)}{m}$$

Donde:

- A_s = Absorbancia de la solución aceite-isooctano después de la reacción con *p*-anisidina.
- A_b = Absorbancia de la solución aceite-isooctano.
- m = peso de la muestra (g).

7.5.2. Ácidos Grasos Libres y Color

Con el fin de evaluar la acidificación del aceite durante el proceso de fritura, se midió el contenido de ácidos grasos libres siguiendo la metodología de la norma mexicana NMX-F-101-SCFI-2012. Para ello se pesaron 7 g de aceite y se le agregó 12.5 mL de alcohol previamente neutralizado. Se colocó la solución en baño maría a 80 °C para disolver el aceite y después se le agregó 500 µL de fenoftaleína. Finalmente se tituló la solución con NaOH 0.1 M hasta la aparición de un color rosado persistente. Los resultados se expresaron como porcentaje de ácido oleico utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ A.G.L.} = \frac{V \times N \times 28.2}{pm}$$

Donde:

- V = Mililitros de la solución valorada de hidróxido de sodio gastados en la titulación de la muestra.
- N = Normalidad de la solución de hidróxido de sodio.
- pm = peso de la muestra (g).

Los cambios de color se midieron utilizando un colorímetro Minolta CR-300 (Konica Minolta Sensing Americas, Inc., NJ, EUA). A partir de los datos de a^* y b^* se calcularon los valores de Crom a^* y Hue $^\circ$ mediante las siguientes fórmulas:

$$\text{Croma}^* = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$\text{Hue}^\circ = \tan^{-1}\left(\frac{b}{a}\right)$$

Donde:

- a = Valor de a^* .
- b = Valor de b^* .

7.6. Análisis de Datos y Diseño Experimental

En las etapas 1 y 3 se aplicó un diseño experimental completamente al azar, con un análisis de varianza (ANOVA) de una sola vía, teniendo como factores el tamaño de partícula y la concentración de extracto de encino, mientras que las variables respuesta fueron el contenido de fenoles, flavonoides, capacidad antioxidante y nivel de agrado del sabor. En la etapa 2 se realizó estadística descriptiva donde la variable respuesta fue el porcentaje de abundancia relativa de los compuestos fenólicos identificados. Durante la etapa 4 se aplicó un diseño en bloques con arreglo factorial. Los factores fueron los tratamientos de aceite de girasol (AG), AG + BHT y AG + extracto de encino (EE) y el tiempo de freído. Las variables respuesta fueron el valor de TBA, valor de p -anisidina, porcentaje de ácidos grasos libres y color. En todos los casos se hicieron pruebas de comparaciones de medias por el método Tukey-Kramer y los análisis fueron realizados en el software estadístico NCSS versión 2023.

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1. Etapa 1: Obtención y Caracterización de los Extractos de Diferente Tamaño de Partícula de la Hoja del Encino

Se obtuvieron 4 extractos de la hoja de encino de diferente tamaño de partícula. Se detectó un aumento en el porcentaje de rendimiento del extracto a medida que disminuía el tamaño de partícula. El extracto elaborado con tamaños de partícula $<149 \mu\text{m}$ presentó 3.9% más recuperación en comparación con el extracto elaborado con tamaño de partícula de 425-250 μm (Cuadro 3).

Cuadro 3. Rendimiento del extracto de la hoja de *Q. chihuahuensis* para cada tamaño de partícula.

Tamaño de partícula (μm)	Rendimiento (%)
425-250	60.9
249-180	64.3
179-150	64.3
<149	64.8

En cuanto al contenido de fenoles totales, el extracto de $<149 \mu\text{m}$ resultó con el mayor contenido, siendo este de 130.6 mg EAG/g p.s. Así mismo, se observó una disminución significativa ($p<0.05$) a medida que aumentaba el tamaño de partícula, presentando el extracto de 425-250 μm una disminución del 21.4% del contenido de fenoles recuperado en comparación con el tamaño de partícula $<149 \mu\text{m}$ (Figura 9a). Para el caso de flavonoides totales, el extracto de tamaño de partícula más pequeño presentó el mayor contenido (36.36 mg EQ/g p.s.), en comparación con este extracto se observó una disminución de 19.3% en el extracto de tamaño de partícula más grande (29.354 mg EQ/g p.s.) (Figura 9b). Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en el contenido de flavonoides entre los tamaños <149 y 249-180 μm , así como en el tamaño 425-250 y el de 179-150 μm .

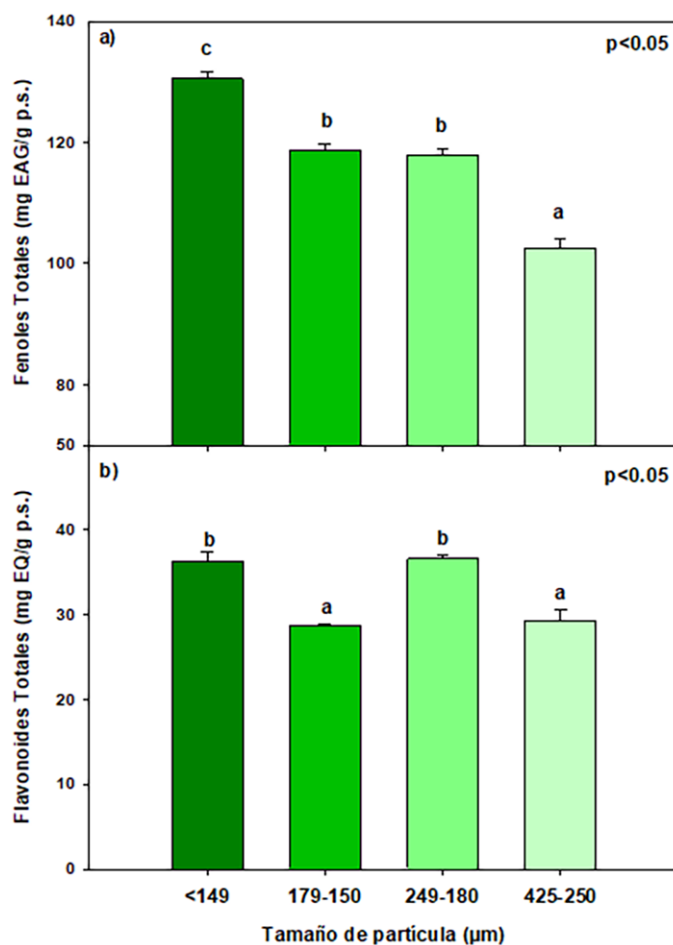


Figura 9. Variación en el contenido de fenoles (a) y flavonoides (b) totales de los extractos de la hoja de *Q. chihuahuensis* de diferente tamaño de partícula. Literales diferentes representan diferencias significativas entre extractos con diferentes tamaños de partícula ($p < 0.05$).

Mientras tanto, los resultados de la capacidad antioxidante de los extractos de encino mostraron una disminución en las concentraciones medias inhibitorias (IC_{50}) para cada radical a medida que se disminuía el tamaño de partícula (Cuadro 4). Para el caso del radical DPPH, el extracto con la partícula más grande (425-250 µm) mostró un IC_{50} significativamente mayor, mientras que a partir del extracto con tamaño 249-180 µm no se encontraron diferencias significativas. En cuanto al radical ABTS, los valores de IC_{50} resultaron ser ligeramente mayores a los de DPPH, sin embargo, siguió habiendo una disminución significativa conforme disminuía el tamaño de la partícula. En resumen, el tamaño de partícula de <149 resultó ser el que presentó la mayor capacidad antioxidante, por lo cual se siguió trabajando con este tamaño en los ensayos posteriores.

Cuadro 4. Efecto del tamaño de partícula de los extractos de la hoja de *Q. chihuahuensis* en las concentraciones medias inhibitorias (IC₅₀) de los radicales DPPH y ABTS.

Tamaño de partícula (µm)	DPPH	ABTS
	IC ₅₀ (mg/mL)	IC ₅₀ (mg/mL)
425-250	0.246 ^{b*}	0.360 ^c
249-180	0.180 ^a	0.204 ^{ab}
179-150	0.190 ^{ab}	0.225 ^b
<149	0.158 ^a	0.162 ^a

*Literales diferentes indican diferencias significativas entre los extractos para cada prueba antioxidante (p<0.05), n=3.

Anteriormente se ha establecido una relación entre el rendimiento de los extractos y la recuperación de compuestos fenólicos con el tamaño de partícula de la materia vegetal en extracciones sólido:líquido, siendo estos valores mayores conforme se disminuye el tamaño. Esto es debido a que en partículas más pequeñas hay un incremento en la superficie de contacto de esta, lo que permite una mayor interacción entre el soluto y el solvente y, por consiguiente, una mayor eficiencia en la extracción de compuestos bioactivos (Augusto-Obara *et al.*, 2019; Prasedya *et al.*, 2021). De igual manera, al haber una reducción en el tamaño, la distancia de difusión del soluto dentro de la partícula disminuye, resultando en una mayor cantidad de compuestos recuperados en menor tiempo (Shewale *et al.*, 2022). Esto explica la obtención de un mayor rendimiento en el extracto de tamaño de partícula <149 µm, así como el mayor contenido de fenoles y flavonoides totales. Así mismo, en algunos estudios se ha reportado que no siempre el tamaño de partícula influye en la cantidad de compuestos bioactivos recuperados, en particular compuestos flavonoides, entrando otras variables tales como el tiempo de molienda, el método de extracción, la exposición de la muestra al oxígeno y calor, e incluso la química de los compuestos presentes en la muestra (Brewer *et al.*, 2014; Hu *et al.*, 2012). Esto pudiera explicar el comportamiento del contenido de flavonoides totales encontrado en este trabajo. En esta misma línea, un mayor contenido de compuestos fenólicos implica una mayor capacidad antioxidante. Al llevar a cabo un análisis de regresión lineal simple entre los IC₅₀ encontrados para el radical ABTS y el contenido de fenoles totales, se encontró una relación indirectamente proporcional (Figura 10), esto es, al aumentar el contenido de fenoles totales, el IC₅₀ para el radical ABTS disminuye, lo cual explicaría el IC₅₀ más bajo en el extracto de <149 µm.

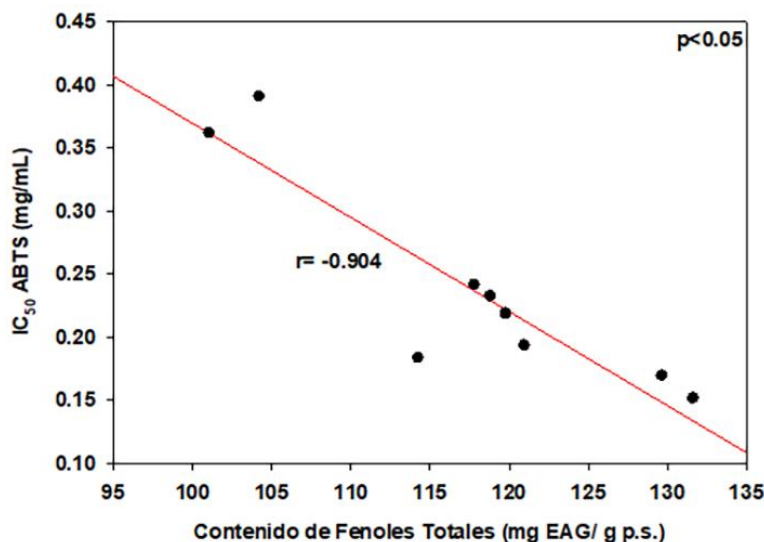


Figura 10. Análisis de regresión entre el contenido de fenoles totales y el IC₅₀ del radical ABTS. Al aumentar el contenido de fenoles totales, hay una disminución en la concentración necesaria para neutralizar en un 50% al radical ABTS.

Estudios previos con extractos de diversas especies han demostrado esta relación entre el tamaño de partícula y la recuperación de compuestos fenólicos, denotando la importancia de tomar en cuenta esta variable al momento de obtener extractos que procuren otorgar las propiedades de estos compuestos bioactivos. Prasedya *et al.* (2021) reportaron un aumento en el rendimiento y contenido total de fenoles y flavonoides al disminuir el tamaño de partícula en extractos de *Sargassum cristaefolium*. En otro estudio, Brewer *et al.* (2014) encontraron un mayor contenido de fenoles y flavonoides en el extracto de tamaño de partícula fino de *Triticum aestivum*, no obstante, no se encontraron diferencias significativas entre los tamaños grueso y medio. Mientras tanto, en *Quercus*, Bouras *et al.* (2015) reportaron para *Q. robur* un mayor contenido en el tamaño de partícula más pequeño (0.5 cm = 1.55 g EAG/g extracto), el cual iba disminuyendo conforme se aumentaba el tamaño de la partícula (2.75 cm = 0.55 y 5 cm = 0.35 g EAG/g extracto). En el caso particular de *Q. chihuahuensis* no se ha evaluado anteriormente el efecto del tamaño de partícula sobre el contenido de fenoles y flavonoides totales. Basado en los resultados obtenidos en el presente estudio, se demuestra que esta variable sí impacta en la recuperación de compuestos fenólicos de los extractos de encino, y por consiguiente en su capacidad antioxidante.

En estudios anteriores se han reportado correlaciones significativamente altas entre la cantidad de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante en los extractos de encino (Akroum, 2017;

Ranjbar Nedamani *et al.*, 2015; Tuyen *et al.*, 2016), señalándose al ácido gálico y elágico como los principales compuestos antioxidantes responsables de esta actividad, así como también a la presencia de castalagina, vescalagina y roburina (Burlacu *et al.*, 2020), por lo que se puede especular que estos compuestos pudieran estar presentes en *Q. chihuahuensis*. Al hacer una comparación de los IC₅₀ encontrados en este trabajo con otros estudios, se ha observado que los extractos de la hoja de *Q. chihuahuensis* pudieran presentar una capacidad antioxidante mayor que otras especies de encino, incluso sin considerar el tamaño de partícula al momento de la obtención de los extractos. Sánchez-Burgos *et al.* (2013) reportaron valores de IC₅₀ del radical DPPH para las especies *Q. resinosa* (0.44 mg/mL), *Q. obtusata* (0.45 mg/mL) y *Q. grisea* (0.29 mg/mL), mientras que Lavado *et al.* (2021) reportan un porcentaje de inhibición del 22.7% para el mismo radical con el extracto de *Q. suber*. En ese mismo estudio se evaluó la capacidad del extracto para inhibir la oxidación lipídica en pechugas de pollo, la cual resultó ser del 97.7%. Con estos hallazgos, se pudiera esperar que el extracto <149 µm de *Q. chihuahuensis* presente una alta capacidad antioxidante contra la oxidación lipídica en el aceite de girasol.

8.2. Etapa 2: Perfil Fenólico del Extracto de la Hoja de Encino

Se realizó la caracterización de compuestos fenólicos en el extracto elaborado a partir del tamaño de partícula <149 µm, el cual presentó el mayor contenido fenólico y capacidad antioxidante. Se logró la identificación de 14 compuestos fenólicos, pertenecientes a 6 clases químicas diferentes, siendo la clase de flavonoides la más abundante (Figura 11). De acuerdo con su abundancia relativa, el ácido *p*-cumárico fue el compuesto más abundante en el extracto, seguido de astragalina y quercetina (Cuadro 5). El primero corresponde a un ácido hidroxicinámico clasificado dentro de la clase química de ácidos cinámicos, mientras que los otros son compuestos flavonoides. Se identificó también isoquercitrina, isorhamnetina y catequina, así como ácido vanílico, ácido *p*-hidroxibenzoico y ácido siríngico. De la clase fenoles se encontró el compuesto alcohol sinapílico, y de la clase lignanos furanoides se identificó siringaresinol y matairesinol.

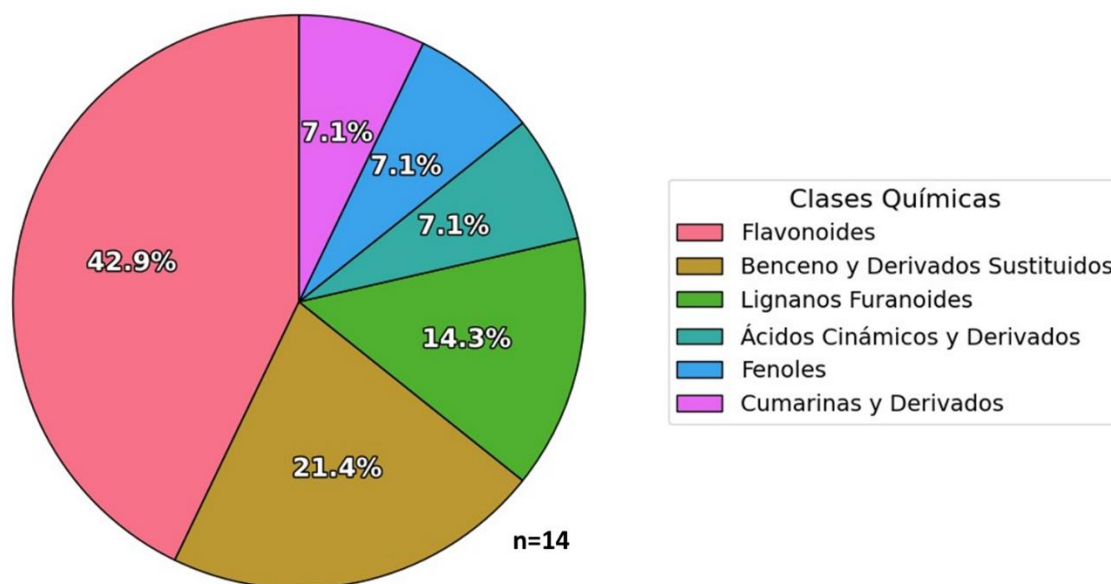


Figura 11. Clases químicas identificadas en el extracto de la hoja de *Q. chihuahuensis* mediante LC-MS.

Cuadro 5. Lista de los compuestos fenólicos identificados en el extracto de la hoja de *Q. chihuahuensis* mediante LC-MS.

Compuesto	Clase Química	Abundancia Relativa (% de área)
Ácido <i>p</i> -cumárico	Ácidos Cinámicos y Derivados	31.81±0.78
Astragalina	Flavonoides	19.69±0.18
Quercetina	Flavonoides	13.66±0.09
Isoquercitrina	Flavonoides	8.84±0.31
Siringaresinol	Lignanos Furanoides	5.92±0.12
Matairesinol	Lignanos Furanoides	5.31±0.13
Ácido vanílico	Benceno y Derivados Sustituídos	3.04±0.05
Isorhamnetina 3-galactósido	Flavonoides	2.41±0.02
Alcohol sinapílico	Fenoles	2.36±0.10
Ácido <i>p</i> -hidroxibenzoico	Benceno y Derivados Sustituídos	2.30±0.12
Isofraxidin	Cumarinas y Derivados	1.69±0.01
Ácido siríngico	Benceno y Derivados Sustituídos	1.43±0.52
Isorhamnetina	Flavonoides	1.34±0.30
(+) Catequina	Flavonoides	1.23±0.27

En un estudio previo, Arámbula-Salazar *et al.* (2015) reportaron un perfil fenólico de los extractos metanólicos de la hoja de *Q. chihuahuensis*, obtenido mediante HPLC-DAD. Identificaron quercetina glucósido, kaempferol glucósido, isoharmentina glucósido y ácidos fenólicos. El presente trabajo complementa lo conocido para esta especie al encontrar 10 compuestos nuevos, de los cuales algunos han sido reportados en otras especies de *Quercus*. Yarnes *et al.* (2006) identificaron ácidos fenólicos (galoilquínico, cumaroilquínico y clorogénico), elagitaninos (vescalagina, castalgina, ácido vescavalonínico y castavalonínico) y flavonoides glucósidos (quercetina y kaempferol) en extractos de 12 especies de *Quercus* del desierto de Chihuahua. Por otro lado, Tuyen *et al.* (2016) identificaron ácidos fenólicos (gálico, benzoico, elágico, protocatequico, vanílico, ferúlico, *p*-cumárico, *p*-hidroxibenzoico y sinápico) en extractos etanólicos de hojas de *Q. salicina*, *Q. crispula* y *Q. serrata*. En *Q. suber*, Lavado *et al.* (2021) identificaron ácidos fenólicos (gálico, elágico), catequina, epicatequina, rutina, miricetina y quercetina en extractos etanólicos, mientras que Sánchez-Gutiérrez *et al.* (2022) reportaron ácido *p*-cumárico, catequina, rutina, ácido gálico, hidroxitirosol, kaempferol, narangina y resveratrol en *Q. ilex*, siendo los primeros 3 compuestos los más abundantes.

Entre las principales clases de polifenoles reportadas en las hojas de *Quercus* se encuentran los ácidos fenólicos, flavonoides y taninos, encontrándose diferencias complejas entre especies en la presencia y concentración de compuestos fenólicos individuales. Esto se ha asociado principalmente a la alta variabilidad que existe dentro del género, así como a factores ambientales tales como cambios estacionales y nivel de madurez de las hojas (Aung *et al.*, 2020; Burlacu *et al.*, 2020), lo cual pudiera explicar la diferencia entre los perfiles anteriormente reportados con el presentado en este trabajo. Yuan *et al.* (2023) evaluaron el impacto del nivel de madurez de las hojas en el perfil metabolómico de *Q. mongólica*, encontrando en la etapa de senescencia una regulación al alza de compuestos como la astragalina, mientras que la catequina se vio regulada a la baja. Dado que se trabajaron con hojas maduras de *Q. chihuahuensis*, esto pudiera explicar las abundancias encontradas para astragalina y catequina, sin embargo, al ser una especie distinta sería necesario realizar un estudio similar para comprobar la influencia de este parámetro.

De igual forma, el método de extracción es un parámetro importante que determina el tipo de metabolito obtenido, siendo la polaridad del solvente utilizado el factor más determinante en la recuperación de ciertos compuestos fenólicos (Lavado *et al.*, 2021; Tanase *et al.*, 2019). Por otra parte, el método de hidrólisis también afecta el perfil fenólico del extracto, permitiendo la

obtención de los compuestos fenólicos que se encuentran de forma esterificada en la pared celular del material vegetal, así como los que se encuentran de forma glucosilada (Kim *et al.*, 2006; Komes *et al.*, 2011). En este caso, se logró la identificación tanto de compuestos glucosilados como de su contraparte libre, tal como la isoquercitrina y la quercetina, y la isorhamnetina 3-galactósido e isorhamnetina, por lo cual el método de extracción utilizado permitió la identificación de más compuestos en *Q. chihuahuensis*. Así mismo, se ha reportado que la hidrólisis favorece la extracción de ácido *p*-cumárico (Max *et al.*, 2010), por lo cual el uso de este método pudo influir en el alto porcentaje de abundancia obtenido en este estudio.

Estos hallazgos permiten la identificación de los compuestos fenólicos que otorgan el poder antioxidante del extracto de *Q. chihuahuensis*, lo cual conlleva a una comprensión más completa de su acción antioxidante, así como un acercamiento hacia los mecanismos de acción que pudieran estar involucrados en la disminución de la rancidez oxidativa del aceite de girasol sometido a fritura.

8.3. Etapa 3: Aceptabilidad del Sabor de los Totopos de Maíz Fritos con Aceite de Girasol Adicionado con Extracto de Encino

Con el fin de conocer la concentración máxima aceptable del extracto de encino adicionado en aceite de girasol, se realizó una evaluación sensorial del sabor en totopos fritos. En la primera etapa de la evaluación sensorial (Figura 12) se probaron distintas concentraciones del extracto, incluyendo un control que fue el aceite sin aditivos y aceite adicionado con BHT a 200 ppm, con un panel evaluador de 10 personas. Los totopos más aceptados fueron el totopo control y el totopo BHT, con un nivel de agrado de 6.98 y 6.65 respectivamente, ubicándose cerca del rango de agrado moderado. Mientras tanto, los totopos con distintas concentraciones de encino presentaron una aceptabilidad más baja, sin encontrar diferencias ($p>0.05$) entre ellas. Los niveles de agrado más alto dentro de los tratamientos con encino fueron para los totopos con las concentraciones de 200 ppm (5.6) y 400 ppm (5.52), sin embargo, no hubo diferencias ($p>0.05$) con los totopos control y BHT. Los totopos con calificación más baja, por debajo del nivel ni agrada ni desagrada, fueron los de la concentración de 100 ppm (4.2), no teniendo diferencias ($p>0.05$) con los totopos BHT, y

los de la concentración de 600 ppm (4.02), el cual presentó diferencias ($p < 0.05$) con los totopos control y BHT. En resumen, el extracto de encino no tuvo un impacto negativo en el sabor del totopo, al encontrarse todas las concentraciones cerca del nivel ni agrada ni desagrada. Sin embargo, se estableció como máxima aceptable la concentración de 200 ppm, al presentar el nivel de agrado más alto.

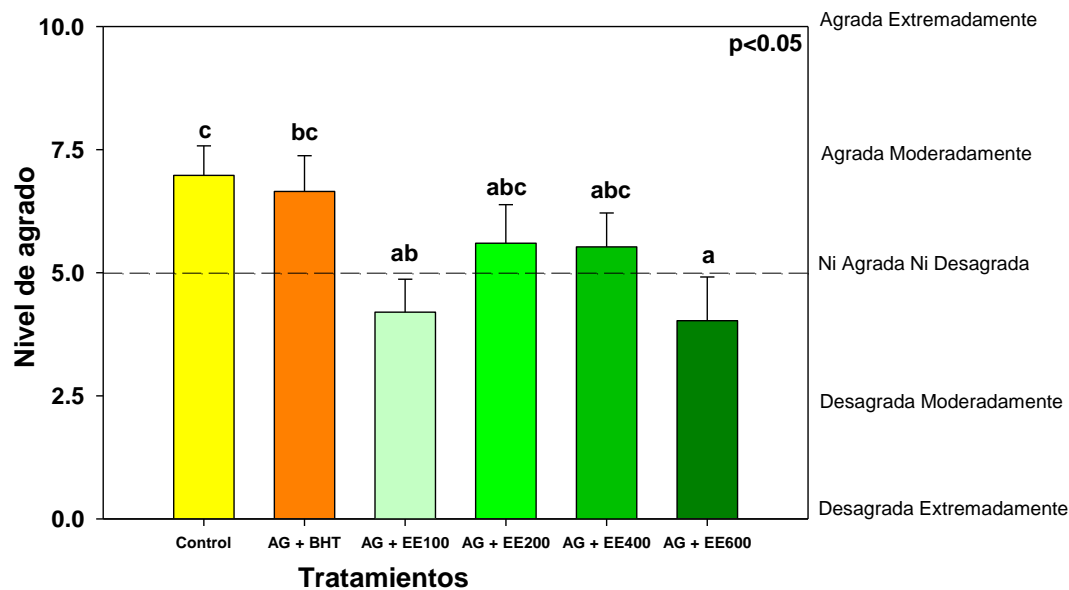


Figura 12. Aceptabilidad del sabor de totopos de maíz fritos con aceite de girasol adicionado con diferentes concentraciones de extracto de hoja de encino. AG= Aceite de Girasol. BHT= Butilhidroxitolueno. EE=Extracto de Encino. 100, 200, 400 y 600 = partes por millón (ppm). n= 10. Literales diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos.

Durante la segunda parte de la evaluación sensorial (Figura 13), se evaluó la concentración máxima aceptable de extracto de encino, con un panel evaluador de 100 participantes. Los totopos fritos con esta concentración presentaron el mayor nivel de aceptabilidad (7.55), ubicándose en el rango de agrado moderado. Le siguieron los totopos con BHT, con una calificación de 7.10, sin encontrar diferencias ($p > 0.05$) entre ambos totopos, mientras que los totopos control fueron calificados con un nivel de agrado significativamente más bajo (6.20) ($p < 0.05$). Dado que no se encontraron diferencias en el nivel de agrado del sabor entre los totopos con extracto de encino y los totopos con BHT, esto sugiere que se puede utilizar el extracto a una concentración de 200 ppm en aceites sin afectar el sabor del alimento frito, presentando incluso una aceptabilidad igual a un totopo

preparado con aceite adicionado con antioxidantes convencionales.

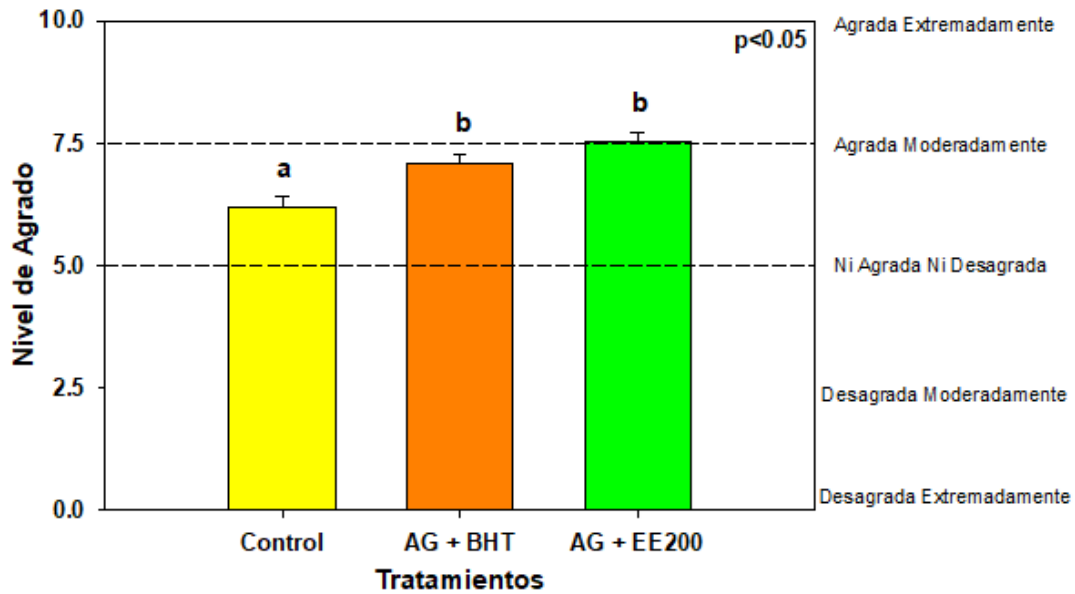


Figura 13. Aceptabilidad del sabor de totopos de maíz fritos con aceite de girasol adicionado con 200 ppm de extracto de encino. AG= Aceite de Girasol. BHT= Butilhidroxitolueno. EE200= Extracto de Encino a 200 ppm. n= 100. Literales diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos.

Los extractos obtenidos a partir de hojas de encino han sido relacionados con sabores amargos y astringentes debido a su alto contenido polifenólico, lo cual pudiera convertirse en un obstáculo al ser añadido a alimentos (Vázquez-Cabral *et al.*, 2015). Entre los principales compuestos asociados a estos sabores se encuentran el ácido gálico y la catequina, este último presentando sabores astringentes y levemente dulces (Muhammad y Dickinson, 2019; Rocha-Guzmán *et al.*, 2012). No obstante, previamente se ha reportado que otros factores como la concentración añadida de extracto y la matriz alimentaria influyen en las características sensoriales del alimento adicionado, determinando así su aceptabilidad. Zepeda-Ruiz *et al.* (2020) reportaron que totopos de maíz adicionados con bajas concentraciones de cáscara de mango rica en flavonoides tuvieron una mayor aceptabilidad que los totopos control, sin embargo, al aumentar la concentración hasta 10% la aceptabilidad disminuyó. En otro caso de estudio, Bandyopadhyay *et al.* (2014) reportaron que la adición de cáscara de mango al 20% en galletas incrementó su aceptabilidad sensorial, infiriendo que la matriz alimentaria a la cual se le adiciona los compuestos fenólicos influye mucho en la aceptabilidad, al enmascarar el sabor que éstos otorgan. Esto pudiera explicar la aceptabilidad recibida de los totopos con 200 ppm de extracto de encino, y como ésta disminuyó al aumentar la

concentración añadida, por lo que se pudiera inferir que los componentes propios de la tortilla de maíz utilizada para freír el totopo enmascararon los sabores astringentes del extracto hasta sobrepasar la concentración máxima aceptable. Así mismo, en el perfil fenólico del presente trabajo se identificó que el extracto presenta una baja abundancia del compuesto catequina, lo cual también pudo contribuir en la aceptabilidad positiva de los totopos con extracto de encino.

Se han realizado estudios donde evalúan los atributos de olor y color en alimentos adicionados con extractos de *Quercus*, sin embargo, no se ha estudiado la parte del sabor. Soriano *et al.*, (2018) encontraron que al adicionar extracto de madera de *Q. alba* a hamburguesas de puerco crudas, había cambios notorios en cuanto al olor y color del alimento, apreciándose coloraciones más oscuras y aromas “leñosos” y de especias dulces asociadas a clavo y vainilla, esto sin afectar la aceptabilidad. Mientras tanto, Ferreira *et al.* (2017) añadieron extracto de bellota de *Q. ilex* a hamburguesas de pollo, resultando en una mayor aceptabilidad en color y olor incluso después de almacenarlo en frío y recalentarlo. Los hallazgos encontrados en este trabajo enriquecen lo conocido hasta el momento sobre el impacto del extracto de encino en el sabor de los alimentos, además de plantear que la adición de extracto de encino al aceite de girasol para combatir su rancidez no afecta la aceptabilidad de los alimentos fritos en el mismo, siempre y cuando se considere el factor concentración.

8.4. Etapa 4: Evaluación de los Cambios en la Rancidez Oxidativa del Aceite de Girasol Adicionado con Extracto de Encino durante el Proceso de Fritura

Se evaluó la oxidación del aceite de girasol adicionado con extracto de encino durante 24 horas de calentamiento a 175 °C mediante los ensayos de TBA, *p*-anisidina y ácidos grasos libres (Figura 14). Durante el ensayo de TBA el aceite adicionado con extracto de encino (AG+EE200) no presentó un incremento significativo en este valor, manteniéndose en el rango de 18.01-27.51 durante todo el tiempo de calentamiento. Por el contrario, el aceite sin el extracto (AG) y el aceite adicionado con BHT (AG+BHT) alcanzaron un valor de 65.5 y 48.5 a las 8 horas de calentamiento, finalizando ambos a 54.5 a las 24 horas (Figura 14a). Mientras tanto, el valor de *p*-anisidina presentó incrementos en los tres aceites a partir de las 8 horas de calentamiento, no obstante, los

aceites AG+EE200 y AG+BHT tuvieron valores significativamente más bajos. A las 16 horas el valor del aceite con extracto no presentó diferencias significativas con el aceite sin extracto (EE200 = 47.1, AG = 52.18), mientras que a las 24 horas el aceite AG+EE200 alcanzó el valor de 75.53, sobrepasando el valor del aceite sin extracto (66.42) (Figura 14b). Un comportamiento similar se observó en el porcentaje de ácidos grasos libres, observándose un incremento en los 3 aceites conforme aumentaba el tiempo de calentamiento, sin embargo, el aceite AG+EE200 mantuvo un valor significativamente inferior al finalizar las 24 horas, siendo de 0.075% contra el 0.10% del aceite sin extracto (Figura 14c). El extracto de encino disminuyó la degradación oxidativa del aceite durante la fritura de los totopos al mantener más bajos los valores medidos durante la mayor parte del proceso de fritura, concordando con lo expuesto en la hipótesis de este trabajo.

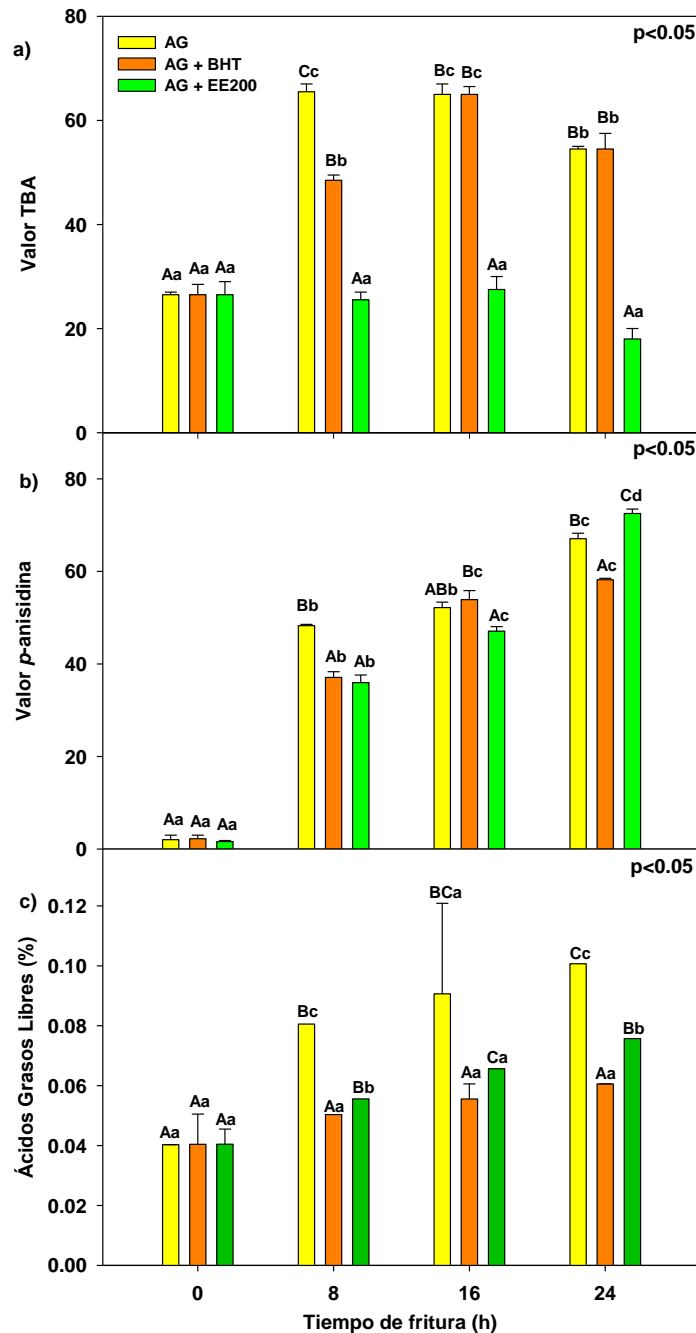


Figura 14. Cambios en el valor de TBA (a), valor de *p*-anisidina (b) y ácidos grasos libres (c) en aceite de girasol (AG) adicionado con 200 ppm de extracto de encino (EE200) y BHT durante el proceso de fritura. Literales mayúsculas diferentes indican diferencias ($p < 0.05$) entre tratamientos. Literales minúsculas diferentes indican diferencias ($p < 0.05$) entre el mismo tratamiento a través de las horas.

El proceso de fritura tuvo un efecto sutil en los parámetros de color L^* a^* y b^* de los aceites (Figura 15). La luminosidad (L^*) aumentó significativamente ($p < 0.05$) en los 3 tratamientos a las 8 horas

de calentamiento, manteniéndose sin cambios significativos hasta las 24 horas (Figura 15a). Mientras tanto, el valor de a^* presentó valores negativos en los 3 tratamientos, tendiendo hacia la escala de los verdes (Figura 15b). A las 8 horas, el aceite con BHT se mantuvo estable, mientras que el aceite sin aditivos y el aceite con extracto tuvieron un aumento negativamente significativo en a^* . A las 16 horas, el valor aumentó similarmente en los 3 tratamientos, continuando con el mismo comportamiento a las 24 horas. En cuanto a los valores de b^* , los 3 tratamientos tuvieron un aumento hacia los amarillos, presentándose diferencias solo a las 8 horas, donde fue significativamente más alto el valor en el aceite sin aditivos. A partir de las 16 horas los 3 aceites siguieron aumentando sin diferencias ($p>0.05$) entre ellos (Figura 15c).

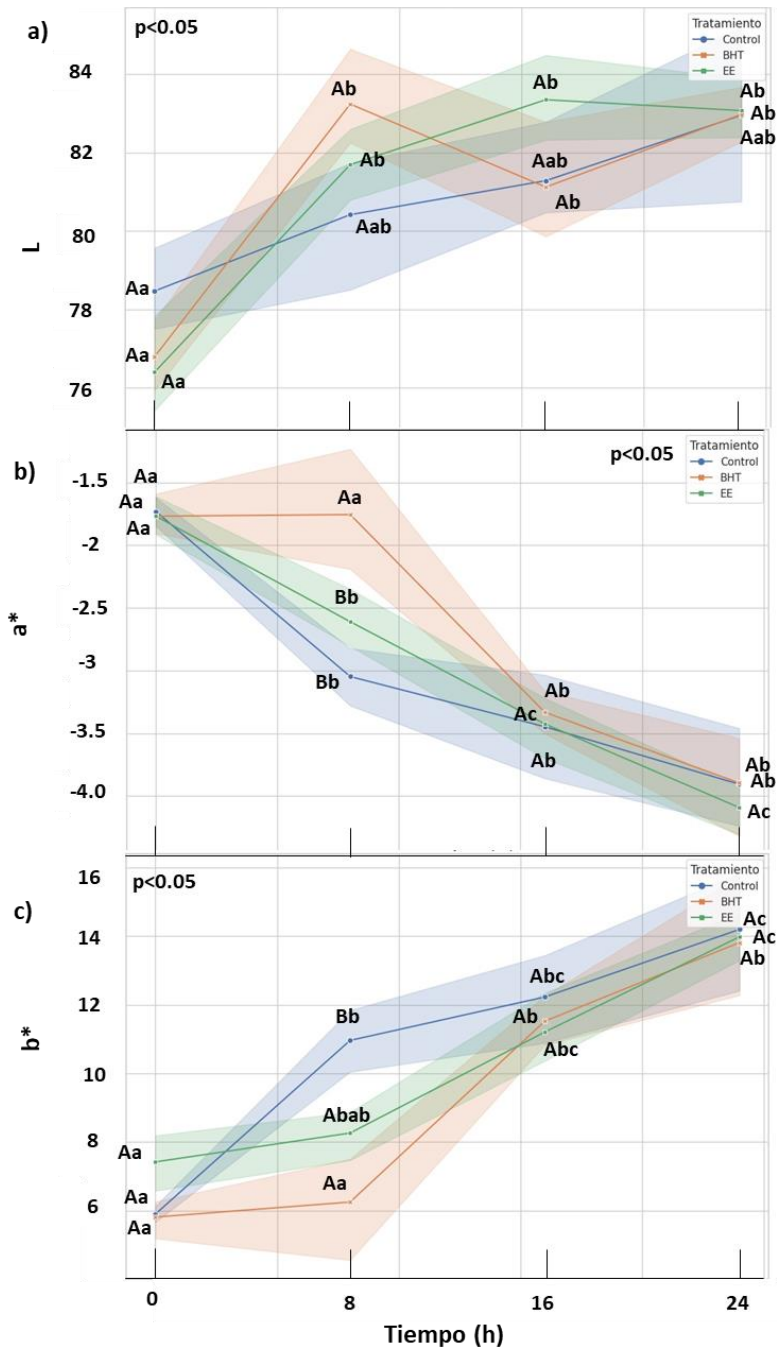


Figura 15. Cambios en los parámetros de color (L^* , a^* y b^*) del aceite de girasol (AG) adicionado con 200 ppm de extracto de encino (EE) y BHT durante el proceso de fritura. AG = azul, AG+BHT = naranja, AG+EE₂₀₀ = verde. Literales mayúsculas diferentes indican diferencias ($p < 0.05$) entre tratamientos. Literales minúsculas diferentes indican diferencias ($p < 0.05$) entre el mismo tratamiento a través de las horas.

La saturación (Croma) aumentó significativamente en los 3 tratamientos, habiendo cambios

significativos solo a las 8 horas de calentamiento, donde la intensidad del aceite sin aditivos fue mayor que el aceite con BHT, mientras que éste último no presentó diferencias con el aceite adicionado con extracto de encino (Figura 16a). Para el caso de la tonalidad (Hue), tanto el aceite sin aditivos como el aceite con BHT se mantuvieron sin cambios significativos a lo largo de las 24 horas de fritura. En cuanto al aceite adicionado con extracto de encino, comenzó con una tonalidad significativamente más baja a las 0 horas (103.43), aumentando significativamente a las 8 horas, y luego disminuyó hasta las 24 horas, sin presentar diferencias con los valores de los otros dos tratamientos (Figura 16b). En este caso, el extracto de encino no tuvo influencia en la coloración del aceite durante el proceso de fritura.

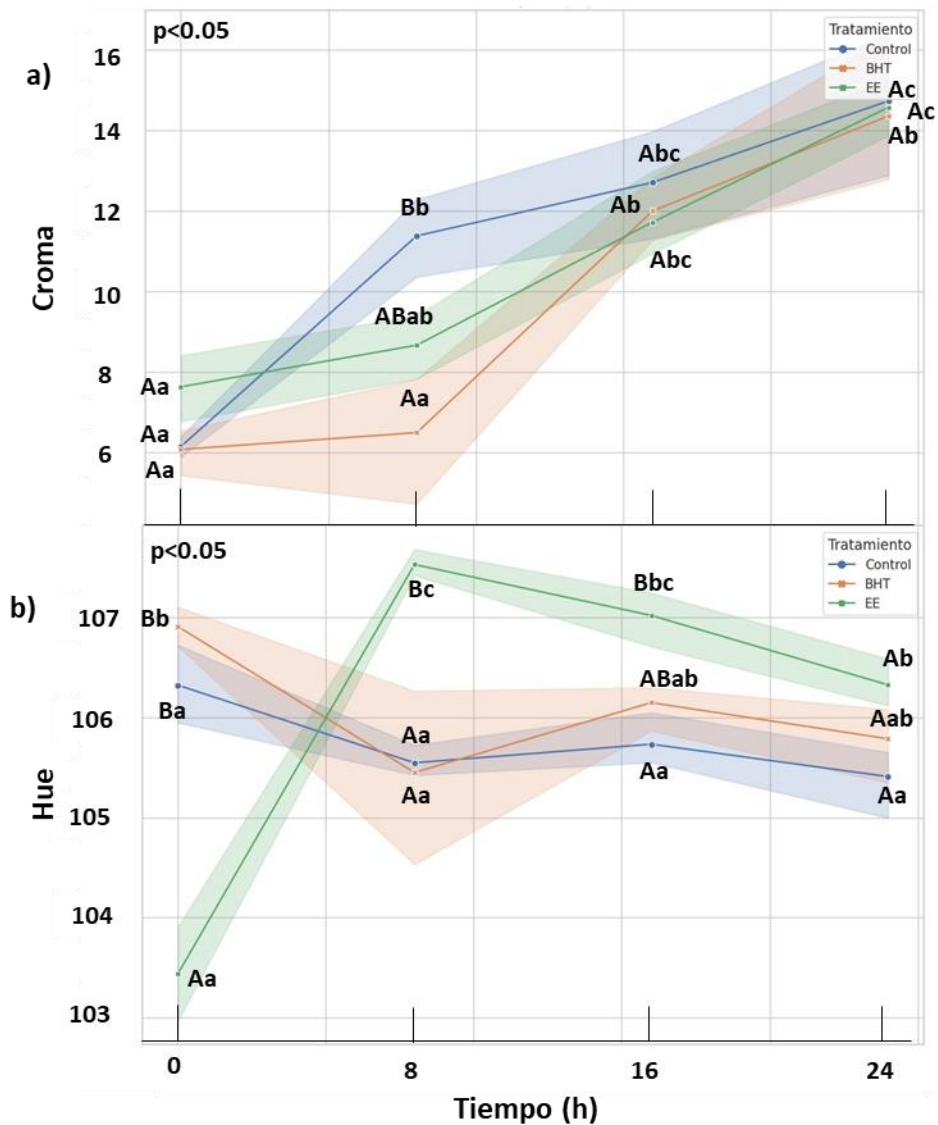


Figura 16. Cambios en la saturación (Croma, a) y tonalidad (Hue, b) del aceite de girasol (AG) adicionado con 200 ppm de extracto de encino (EE) y BHT durante el proceso de fritura. AG = azul, AG+BHT = naranja, AG+EE₂₀₀ = verde. Literales mayúsculas diferentes indican diferencias ($p < 0.05$) entre tratamientos. Literales minúsculas diferentes indican diferencias ($p < 0.05$) entre el mismo tratamiento a través de las horas.

La adición de extracto de encino mantuvo bajos los niveles de oxidación lipídica secundaria y de ácidos grasos libres del aceite de girasol, debido a la actividad antioxidante dada por el contenido fenólico que presenta el extracto (Carocho *et al.*, 2018; Fadda *et al.*, 2022). Se ha reportado que los compuestos fenólicos naturales aumentan la resistencia oxidativa en los aceites (Neves *et al.*, 2020), además tienen la ventaja de presentar una baja volatilidad al someterlos a temperaturas de

fritura en comparación con los antioxidantes sintéticos (Urbančič *et al.*, 2014; Wu *et al.*, 2019), lo cual pudiera explicar la eficacia del extracto de encino mostrada en la prueba de TBA a diferencia del BHT, así como en la prueba de *p*-anisidina en las primeras 16 horas de la fritura. Estos compuestos actúan mediante los mecanismos de eliminación de radicales libres, extinción de especies reactivas de oxígeno, inhibición de enzimas oxidativas y quelación de metales de transición (Soriano *et al.*, 2018; Touati *et al.*, 2015). Siendo más específicos, el ácido *p*-cumárico y la quercetina, compuestos que presentaron los mayores porcentajes de abundancias, pudieran ser los responsables de este efecto protector, ya que se ha demostrado anteriormente su alta capacidad antioxidante, además que se ha reportado su efecto positivo contra la oxidación en modelos lipídicos, incluyendo aceites de cocina y ácidos grasos (Kiliç y Yeşiloğlu, 2013; Oh *et al.*, 2021; Roedig-Penman y Gordon, 1998). El ácido *p*-cumárico actuaría donando un hidrógeno al radical libre formado durante la oxidación, dando lugar a derivados lipídicos y radicales antioxidantes, conocidos como radicales fenoxilos. Estos últimos interferirían con las reacciones en cadena y de propagación de los radicales libres, y se estabilizarían con la deslocalización de su electrón desapareado alrededor del anillo aromático, con lo cual se disminuiría la oxidación del aceite (Fadda *et al.*, 2022; Shahidi y Ambigaipalan, 2015). Mientras tanto, la quercetina, además de eliminar radicales, actuaría como agente quelante de iones metálicos que pudieran estar presentes en el aceite, reduciendo el Cu^{2+} y Fe^{3+} a Cu^+ y Fe^{2+} (Oh *et al.*, 2021; Viana da Silva *et al.*, 2022). De igual forma, aunque se les identificó en menor porcentaje, el ácido vanílico, el ácido *p*-hidroxibenzoico, el ácido sirínico, la isorhamnetina y la catequina presentes en el extracto también pudieran estar contribuyendo en la disminución de la oxidación del aceite de girasol. Estos compuestos han demostrado tener una gran capacidad antioxidante, además de que algunos, como el ácido vanílico, ya son utilizados como aditivos antioxidantes en alimentos (Bae *et al.*, 2020; Kaur *et al.*, 2022; Manuja *et al.*, 2013; Pengfei *et al.*, 2009). Así mismo, pudieran presentarse efectos sinérgicos y aditivos entre los compuestos fenólicos del extracto y los encontrados en el aceite de girasol. Se ha reportado que los compuestos flavonoides, como la quercetina, presentan efectos aditivos con el α -tocoferol en la eliminación de radicales libres, mejorando su actividad antioxidante (Roedig-Penman y Gordon, 1998; Viana da Silva *et al.*, 2022).

Los ácidos grasos libres son productos provenientes de la reacción de hidrólisis en la cual el vapor de agua reacciona con los triglicéridos presentes en el aceite. Esta reacción ocurre principalmente durante la producción y almacenamiento del aceite, sin embargo, durante la fritura este está

expuesto a altas temperaturas y al aire, lo cual promueve aún más las reacciones de hidrólisis y oxidación de triglicéridos. Esto aumenta en gran medida el contenido de ácidos grasos libres, y, por consiguiente, su nivel de rancidez (Di Pietro *et al.*, 2020; Juárez y Sammán, 2007). Marina *et al.* (2014) menciona que los compuestos antioxidantes no presentan un efecto directo contra la hidrólisis, sin embargo, al disminuir la oxidación de los triglicéridos, los compuestos fenólicos pudieran estar favoreciendo indirectamente la disminución de la liberación de ácidos grasos libres. Esto explicaría los resultados encontrados en este trabajo, en los que el extracto de encino y BHT disminuyeron el porcentaje de ácidos grasos libres en el aceite de girasol, a diferencia del aceite sin aditivos.

En cuanto a los cambios de color, este parámetro físico ha sido utilizado para determinar la calidad del aceite, ya que al someterse al proceso de fritura este se oscurece (Bansal *et al.*, 2010; Jaarin y Kamisah, 2012). Los tres tratamientos evaluados en este trabajo presentaron un aumento en los valores de L* y b*, lo cual indica que se volvieron más luminosos y amarillentos conforme aumentaba el tiempo de fritura. El incremento en estos valores indica una mayor oxidación (Marina *et al.*, 2014), no obstante, estos cambios también pueden depender de otros factores, entre los que se encuentran la variedad del aceite, la duración de su exposición a la luz y al calor, así como las características del alimento que se fríe en él (Esfarjani *et al.*, 2019). Debido a esto, se ha señalado que este parámetro no es del todo confiable como indicador de la calidad del aceite (Urbančič *et al.*, 2014), y dado que no se encontraron diferencias significativas entre el aceite sin aditivos y los adicionados con extracto de encino y BHT, el color no fue un buen indicador para medir el impacto de los tratamientos en la disminución de la oxidación del aceite utilizado en este estudio.

Anteriormente se han realizado estudios analizando el efecto protector de los compuestos fenólicos contra la oxidación lipídica de los aceites en condiciones de fritura. Neves *et al.* (2020) evaluó el efecto del extracto etanólico de las flores de *Pterospartum tridentatum* en la estabilidad del aceite girasol calentado a 180 °C durante 27 horas. Los resultados demostraron que el extracto mejoró la resistencia del aceite ante las reacciones hidrolíticas y oxidativas, presentando valores más bajos en las pruebas de acidez, valor de peróxido, K232 y valor de *p*-anisidina. En otro estudio, Urbančič *et al.* (2014) evaluaron la estabilidad del aceite de girasol adicionado con extracto de romero durante la fritura de papas, utilizando varios antioxidantes sintéticos como blanco. El extracto fue el que disminuyó más la oxidación del aceite, manteniendo bajos los valores de compuestos polares totales, ácidos grasos libres, dienos y trienos conjugados, L*, b*, acrilamidas, además de presentar

un mayor efecto antioxidante que los aditivos sintéticos utilizados (BHA y TBHQ) a menor concentración (49 mg/kg vs 200 mg/kg). Esta actividad fue asociada principalmente a los compuestos carnosol y ácido carnósico presentes en el extracto.

Por otro lado, Abd-Elghany *et al.* (2010) analizaron el extracto del residuo de aceituna a diferentes concentraciones en aceite de girasol sometido a temperaturas de fritura (180 °C) durante 5 días y comparándolo con el antioxidante sintético BHT. El aceite adicionado con 200 ppm del extracto presentó un buen nivel de estabilidad oxidativa después del periodo de calentamiento en los parámetros de valor de peróxido (6.30 meq O₂/kg) y TBA (7.58 mg malonaldehído/kg), con valores muy similares a los presentados con el BHT (6.29 y 7.89, respectivamente). Aladedunye *et al.* (2014) evaluaron el desempeño de los extractos de *Crataegus x mordenensis* y *Prunus virginiana* en aceite de girasol durante la fritura de papas a la francesa a 180 °C. Ambos extractos inhibieron la degradación termo-oxidativa del aceite, significativamente mejor que el antioxidante BHT al presentar valores más bajos en las pruebas de compuestos polares totales, valor de anisidina y triacilglicéridos diméricos y poliméricos. Así mismo, realizaron la caracterización de los compuestos fenólicos en ambos extractos, concluyendo que la quercetina glucosilada, compuesto mayoritario, pudo ser la responsable del efecto protector del extracto en el aceite, ya que durante la fritura la quercetina glucosilada se degradó a quercetina, y la degradación de este último produjo ácido protocatecúico. De igual forma, consideraron interacciones sinérgicas entre los compuestos fenólicos como parte del efecto antioxidante de los extractos.

Referente a *Quercus*, se han realizado pocos estudios analizando su poder antioxidante en aceites, los cuales se han enfocado en condiciones de almacenamiento. Ranjbar Nedamani *et al.* (2015) evaluaron el efecto del extracto de la bellota (*Q. brantii*) sobre el aceite de soya almacenado a 60 °C durante 25 días. El extracto de bellota mantuvo un valor de peróxido más bajo a comparación del BHT a los 10 días del almacenamiento, y a los 20 días su valor fue más bajo que el aceite control. En otro estudio, Romojaro *et al.* (2018) estudiaron diferentes concentraciones del extracto de la bellota de *Q. ilex* subsp. *ballota* en aceite de girasol calentado a 100 °C, encontrando que las tres concentraciones (0.5%, 1% y 5%) mantuvieron bajos los niveles de peroxidación lipídica, a diferencia del control. Dado que no se han realizado estudios evaluando el efecto del extracto de encino en sistemas de fritura, el presente trabajo contribuye al conocimiento del impacto de los extractos de la hoja de *Q. chihuahuensis* en la oxidación de los aceites a condiciones extremas, además que la caracterización del extracto permite conocer los compuestos que pudieran ser

responsables de su actividad antioxidante, así como los mecanismos de acción que pudieran estar involucrados. Por lo tanto, los resultados obtenidos en esta etapa demostraron la capacidad del extracto de la hoja de *Q. chihuahuensis* de disminuir la rancidez del aceite de girasol sometido a fritura de totopos, contribuyendo positivamente a la hipótesis establecida.

9. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el presente trabajo muestran la capacidad antioxidante del extracto de la hoja de encino en aceite de girasol sometido a fritura, disminuyendo la oxidación lipídica sin afectar el sabor del totopo frito. El tamaño de partícula influyó en la obtención de fenoles y flavonoides totales, así como en su capacidad antioxidante medida por DPPH y ABTS, siendo mayor en el tamaño de partícula más pequeño (<149 μm). Se logró la identificación de 14 compuestos fenólicos, la mayoría perteneciente a la clase de flavonoides (42.9%), siendo el ácido *p*-cumárico, la astragalina y la quercetina los compuestos con mayor porcentaje de abundancia relativa. En la parte sensorial, la concentración de 200 ppm de extracto de encino fue la máxima concentración aceptable en cuanto a sabor en el totopo de maíz, presentando una aceptación mayor que el totopo control y similar al totopo frito con aceite adicionado con BHT. Finalmente, la adición de 200 ppm de extracto de encino en aceite de girasol sometido a fritura mantuvo bajos los valores de TBA, *p*-anisidina y ácidos grasos libres, representando una reducción en la oxidación lipídica y rancidez del aceite, no obstante, no tuvo un efecto significativo en los parámetros de color. Los hallazgos destacan el potencial de estos extractos como alternativas naturales y sostenibles a los antioxidantes sintéticos en la industria alimentaria, enfatizando la necesidad de explorar más a fondo las posibilidades y mecanismos subyacentes de los compuestos fenólicos en diversas aplicaciones alimenticias.

10. RECOMENDACIONES

Para futuros estudios se sugiere evaluar la capacidad antioxidante en el aceite después del proceso de fritura, así como analizar la termoestabilidad de los compuestos fenólicos mayoritarios presentes en el extracto al someterlos a las temperaturas utilizadas durante el freído. De igual forma, se sugiere realizar la identificación de los compuestos volátiles generados durante la fritura mediante técnicas cromatográficas, así como realizar más pruebas que documenten los cambios físicos y químicos del aceite. Finalmente, se recomienda estudiar la aplicación del extracto en otras matrices alimentarias, con el fin de monitorear su actividad antioxidante y posible aprovechamiento como aditivo alimentario, explorando más concentraciones y su impacto en el sabor de otros alimentos.

11. REFERENCIAS

- Abd-Elghany, M. E., Ammar, M. S. y Hegazy, A. E. 2010. Use of olive waste cake extracts as a natural antioxidant for improving the stability of heated sunflower oil. *World Applied Sciences Journal*, 11(1): 106-113.
- Abeyrathne, E. D. N. S., Nam, K. y Ahn, D. U. 2021. Analytical Methods for Lipid Oxidation and Antioxidant Capacity in Food Systems. *Antioxidants*, 10(10): 1587.
- Ahmed, M., Pickova, J., Ahmad, T., Liaquat, M., Farid, A. y Jahangir, M. 2016. Oxidation of lipids in foods. *Sarhad Journal of Agriculture*, 32(3): 230-238.
- Akroum, S. 2017. Antifungal activity of acetone extracts from *Punica granatum* L., *Quercus suber* L. and *Vicia faba* L. *Journal de Mycologie Médicale*, 27(1): 83-89.
- Aladedunye, F., Przybylski, R., Niehaus, K., Bednarz, H. y Matthäus, B. 2014. Phenolic extracts from *Crataegus × mordenensis* and *Prunus virginiana*: Composition, antioxidant activity and performance in sunflower oil. *LWT - Food Science and Technology*, 59(1): 308-319.
- Alañón, M. E., Castro-Vázquez, L., Díaz-Maroto, M. C., Hermosín-Gutiérrez, I., Gordon, M. H. y Pérez-Coello, M. S. 2011. Antioxidant capacity and phenolic composition of different woods used in cooperage. *Food Chemistry*, 129(4): 1584-1590.
- Amaral, A. B., da Silva, M. V. y Lannes, S. C. 2018. Lipid oxidation in meat: mechanisms and protective factors – a review. *Food Science & Technology*, 38.
- Ambreen, G., Siddiq, A. y Hussain, K. 2020. Association of long-term consumption of repeatedly heated mix vegetable oils in different doses and hepatic toxicity through fat accumulation. *Lipids in Health and Disease*, 19(1): 69.
- Andrews, C. (2018). 20 "foreign" foods that are really American. United States:USA Today. Recuperado de <https://www.usatoday.com/story/travel/2018/07/09/20-foreign-foods-really-american/764102002/>
- AOCS. 1997. Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society AOCS Press. Champaign, ILL.
- Arámbula-Salazar, J. A., Almaraz-Abarca, N., Corral-Rivas, J. J., Delgado-Alvarado, E. A., Díaz-Moreno, R. y Montiel-Antuna, E. 2015. Variability in Foliar Phenolic Composition of Several *Quercus* Species in Northern Mexico: Foliar Phenolic Composition of *Quercus* Species. *Pakistan Journal of Scientific & Industrial Research Series A: Physical Sciences*, 58(2): 79-89.
- Aron, A. T., Gentry, E. C., McPhail, K. L., Nothias, L.-F., Nothias-Esposito, M., Bouslimani, A., Petras, D., Gauglitz, J. M., Sikora, N., Vargas, F., van der Hooft, J. J. J., Ernst, M., Kang, K. B., Aceves, C. M., Caraballo-Rodríguez, A. M., Koester, I., Weldon, K. C., Bertrand, S., Roullier, C., Sun, K., Tehan, R. M., Boya P, C. A., Christian, M. H., Gutiérrez, M., Ulloa, A. M., Tejeda Mora, J. A., Mojica-Flores, R., Lakey-Beitia, J., Vázquez-Chaves, V., Zhang, Y., Calderón, A. I., Tayler, N., Keyzers, R. A., Tugizimana, F., Ndlovu, N., Aksenov, A. A., Jarmusch, A. K., Schmid, R., Truman, A. W., Bandeira, N., Wang, M. y Dorrestein, P. C.

2020. Reproducible molecular networking of untargeted mass spectrometry data using GNPS. *Nature Protocols*, 15(6): 1954-1991.

Aryee, A. N. A., Akanbi, T. O., Nwachukwu, I. D. y Gunathilake, T. 2022. Perspectives on preserving lipid quality and strategies for value enhancement. *Current Opinion in Food Science*, 44 100802.

AtlasMedia. (2023). 10 Mos Popular Central European Deep-Fried Dishes. EU:Tasteatlas. Recuperado de <https://www.tasteatlas.com/most-popular-deep-fried-dishes-in-central-europe>

Augusto-Obara, T. R., Oliveira, J. d., Gloria, E. M. d., Spoto, M. H. F., Godoy, K., Vieira, T. M. F. d. S. y Scheuermann, E. 2019. Benefits of superfine grinding method on antioxidant and antifungal characteristic of Brazilian green propolis extract. *Scientia Agricola*, 76.

Aung, T., Bibat, M. A. D., Zhao, C.-C. y Eun, J.-B. 2020. Bioactive compounds and antioxidant activities of *Quercus salicina* Blume extract. *Food Science and Biotechnology*, 29(4): 449-458.

Bae, J., Kim, N., Shin, Y., Kim, S.-Y. y Kim, Y.-J. 2020. Activity of catechins and their applications. *Biomedical Dermatology*, 4(1): 8.

Bampidis, V., Azimonti, G., de Lourdes Bastos, M., Christensen, H., Dusemund, B., Kos Durjava, M., Kouba, M., López-Alonso, M., López Puente, S., Marcon, F., Mayo, B., Pechová, A., Petkova, M., Ramos, F., Sanz, Y., Villa, R. E., Woutersen, R., Aquilina, G., Bories, G., Gropp, J., Nebbia, C. y Innocenti, M. L. 2020. Safety and efficacy of propyl gallate for all animal species. *EFSA Journal*, 18(4): e06069.

Bandyopadhyay, K., Chakraborty, C., Bhattacharyya, S., Bengal, W. y Chandra, S. 2014. Fortification of Mango Peel and Kernel Powder in Cookies Formulation. *Journal of Academia and Industrial Research (JAIR)*, 2(12): 661-664.

Banerjee, S. y Soumitra, C. 2017. A Short Review on Vacuum Frying-A Promising Technology for Healthier and Better Fried Foods. *International Journal of Nutrition and Health Sciences*, 2(2): 68-71.

Bansal, G., Zhou, W., Barlow, P. J., Joshi, P. S., Lo, H. L. y Chung, Y. K. 2010. Review of Rapid Tests Available for Measuring the Quality Changes in Frying Oils and Comparison with Standard Methods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(6): 503-514.

Bárceñas-Pazos, G. M. (2011). Evaluación tecnológica de la madera de los encinos de la sierra de Álvares, SLP Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, México.

Başığit, B., Sağlam, H., Köroğlu, K. y Karaaslan, M. 2020. Compositional analysis, biological activity, and food protecting ability of ethanolic extract of *Quercus infectoria* gall. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(9): e14692.

Benítez-Benítez, R., Sarria-Villa, R. A., Gallo-Corredor, J. A., Pérez Pacheco, N. O., Álvarez Sandoval, J. H. y Giraldo Aristizabal, C. I. 2020. Obtención y rendimiento del extracto etanólico de dos plantas medicinales. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 15(1): 31-40.

Berdahl, D. R., Nahas, R. I. y Barren, J. P. 2010. Synthetic and natural antioxidants additives in food stabilization: current applications and future research. En: E. A. Decker, R. J. Elias, & D. J. McClements (Eds.), *Oxidation in foods and beverages and antioxidant applications*.

Volume 1: Understanding mechanisms of oxidation and antioxidant activity. Woodhead Publishing Ltd, Cambridge, 272-320.

- Bernal-Mercado, A. T. (2014). Impacto sensorial de un extracto antioxidante y antibacteriano de semilla de mango aplicado en mango fresco cortado var. Haden Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., Hermosillo, Sonora, México.
- Bouras, M., Morad, C., Barba, F., Grimi, N., Bals, O. y Vorobiev, E. 2015. Optimization of microwave-assisted extraction of polyphenols from Quercus bark. *Industrial Crops and Products*, 77 590-601.
- Bremner, J. (2017). 20 top Middle Eastern foods: Which is the best? CNN Recuperado de <https://edition.cnn.com/travel/article/middle-east-food-dishes/index.html>
- Brewer, L. R., Kubola, J., Siriamornpun, S., Herald, T. J. y Shi, Y.-C. 2014. Wheat bran particle size influence on phytochemical extractability and antioxidant properties. *Food Chemistry*, 152 483-490.
- Burlacu, E., Nisca, A. y Tanase, C. 2020. A Comprehensive Review of Phytochemistry and Biological Activities of Quercus Species. *Forests*, 11(9): 904.
- Cao, L., Guler, M., Tagirdzhanov, A., Lee, Y.-Y., Gurevich, A. y Mohimani, H. 2021. MolDiscovery: learning mass spectrometry fragmentation of small molecules. *Nature Communications*, 12(1): 3718.
- Carocho, M., Morales, P. y Ferreira, I. C. F. R. 2018. Antioxidants: Reviewing the chemistry, food applications, legislation and role as preservatives. *Trends in Food Science & Technology*, 71 107-120.
- Carpena, M., Pereira, A. G., Prieto, M. A. y Simal-Gandara, J. 2020. Wine Aging Technology: Fundamental Role of Wood Barrels. *Foods*, 9(9): 1160.
- Chen, H. J., Wang, C. C., Chan, D. C., Chiu, C. Y., Yang, R. S. y Liu, S. H. 2019. Adverse effects of acrolein, a ubiquitous environmental toxicant, on muscle regeneration and mass. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*, 10(1): 165-176.
- Choe, E. y Min, D. B. 2006. Mechanisms and Factors for Edible Oil Oxidation. *Comprehensive REVIEWS in Food Science and Food Safety*, 5(4): 169-186.
- Chung, F. L., Tanaka, T. y Hecht, S. S. 1986. Induction of liver tumors in F344 rats by crotonaldehyde. *Cancer Research*, 46(3): 1285-1289.
- Contreras-Angulo, L. A., Moreno-Ulloa, A., Carballo-Castañeda, R. A., León-Felix, J., Romero-Quintana, J. G., Aguilar-Medina, M., Ramos-Payán, R. y Heredia, J. B. 2022. Metabolomic Analysis of Phytochemical Compounds from Agricultural Residues of Eggplant (*Solanum melongena* L.). *Molecules*, 27(20): 7013.
- de Mello Silva Oliveira, N., Reis Resende, M., Alexandre Morales, D., de ragão Umbuzeiro, G. y Boriollo, M. F. G. 2016. In vitro mutagenicity assay (Ames test) and phytochemical characterization of seeds oil of *Helianthus annuus* Linné (sunflower). *Toxicology Reports*, 3 733-739.
- Di Pietro, M. E., Mannu, A. y Mele, A. (2020). NMR Determination of Free Fatty Acids in Vegetable Oils. *Processes*, 8(4). doi:10.3390/pr8040410

- Djoumbou Feunang, Y., Eisner, R., Knox, C., Chepelev, L., Hastings, J., Owen, G., Fahy, E., Steinbeck, C., Subramanian, S., Bolton, E., Greiner, R. y Wishart, D. S. 2016. ClassyFire: automated chemical classification with a comprehensive, computable taxonomy. *Journal of Cheminformatics*, 8(1): 61.
- Domínguez, R., Pateiro, M., Gagaoua, M., Barba, F. J., Zhang, W. y Lorenzo, J. M. 2019. A Comprehensive Review on Lipid Oxidation in Meat and Meat Products. *Antioxidants*, 8(10): 429.
- Dührkop, K., Fleischauer, M., Ludwig, M., Aksenov, A. A., Melnik, A. V., Meusel, M., Dorrestein, P. C., Rousu, J. y Böcker, S. 2019. SIRIUS 4: a rapid tool for turning tandem mass spectra into metabolite structure information. *Nature Methods*, 16(4): 299-302.
- Dührkop, K., Nothias, L.-F., Fleischauer, M., Reher, R., Ludwig, M., Hoffmann, M. A., Petras, D., Gerwick, W. H., Rousu, J., Dorrestein, P. C. y Böcker, S. 2021. Systematic classification of unknown metabolites using high-resolution fragmentation mass spectra. *Nature Biotechnology*, 39(4): 462-471.
- Dührkop, K., Shen, H., Meusel, M., Rousu, J. y Böcker, S. 2015. Searching molecular structure databases with tandem mass spectra using CSI:FingerID. *PNAS*, 112(41): 12580-12585.
- Durán Agüero, S., Torres García, J. y Sanhuesa Catalán, J. 2015. Aceites vegetales de uso frecuente en Sudamérica: características y propiedades. *Nutrición Hospitalaria*, 32(1): 11-19.
- Esfarjani, F., Khoshtinat, K., Zargaraan, A., Mohammadi-Nasrabadi, F., Salmani, Y., Saghafi, Z., Hosseini, H. y Bahmaei, M. 2019. Evaluating the rancidity and quality of discarded oils in fast food restaurants. *Food Science & Nutrition*, 7(7): 2302-2311.
- Eyres, L. 2015. Frying oils : selection, smoke points and potential deleterious effects for health. *Food New Zealand*, Feb/Mar 2015.
- Fadda, A., Sanna, D., Sakar, E. H., Gharby, S., Mulas, M., Medda, S., Yesilcubuk, N. S., Karaca, A. C., Gozukirmizi, C. K., Lucarini, M., Lombardi-Boccia, G., Diaconeasa, Z. y Durazzo, A. 2022. Innovative and Sustainable Technologies to Enhance the Oxidative Stability of Vegetable Oils. *Sustainability*, 14(2): 849.
- Falade, A. O. y Oboh, G. 2015. Thermal Oxidation Induces Lipid Peroxidation and Changes in the Physicochemical Properties and β -Carotene Content of Arachis Oil. *International Journal of Food Science*, 2015 806524.
- FAO. 2014. Food Wastage Footprint: Full-Cost Accounting. Final Report Food and Agriculture Organization of the United Nations. 98.
- FAO. (2018). Mexico wastes 20 million tons of food a year. Rome, Italy:Food and Agriculture Organization of United Nations. Recuperado de <https://www.fao.org/in-action/agronoticias/detail/es/c/1129784/>
- Ferreira, V. C. S., Morcuende, D., Hernández-López, S. H., Madruga, M. S., Silva, F. A. P. y Estévez, M. 2017. Antioxidant Extracts from Acorns (*Quercus ilex* L.) Effectively Protect Ready-to-Eat (RTE) Chicken Patties Irrespective of Packaging Atmosphere. *Journal of Food Science*, 82(3): 622-631.
- Fortes, J. P., Franco, F. W., Baranzelli, J., Ugalde, G. A., Ballus, C. A., Rodrigues, E., Mazutti, M. A., Somacal, S. y Sautter, C. K. 2023. Enhancement of the Functional Properties of Mead

- Aged with Oak (*Quercus*) Chips at Different Toasting Levels. *Molecules*, 28(1): 56.
- Franco, R., Navarro, G. y Martínez-Pinilla, E. 2019. Antioxidants versus Food Antioxidant Additives and Food Preservatives. *Antioxidants*, 8(11): 542.
- Gezici, S. y Sekeroglu, N. 2019. Neuroprotective potential and phytochemical composition of acorn fruits. *Industrial Crops and Products*, 128 13-17.
- Gibson, M. y Newsham, P. 2018. Lipids, Oils, Fats, and Extracts. En: M. Gibson & P. Newsham (Eds.), *Food Science and the Culinary Arts*. Academic Press, 323-340.
- Gilbraith, W. E., Carter, J. C., Adams, K. L., Booksh, K. S. y Ottaway, J. M. 2021. Improving Prediction of Peroxide Value of Edible Oils Using Regularized Regression Models. *Molecules*, 26(23): 7281.
- Grootveld, M., Percival, B. C., Leenders, J. y Wilson, P. B. (2020). Potential Adverse Public Health Effects Afforded by the Ingestion of Dietary Lipid Oxidation Product Toxins: Significance of Fried Food Sources. *Nutrients*, 12(4). doi:10.3390/nu12040974
- Gustavsson, J., Cederber, C., Sonesson, U., van Otterdijk, R. y Merbeck, A. 2011. Global food losses and food waste - Extent, causes and prevention Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. 37.
- Halvorsen, B. L. y Blomhoff, R. 2011. Determination of lipid oxidation products in vegetable oils and marine omega-3 supplements. *Food & Nutrition Research*, 55(1).
- Hazwani, M. Y., Hasmah, A. y Wan Amir Nizam, W. A. 2018. Cytotoxicity Effect of *Quercus infectoria* Based Vaginal Cream on Hela Cells and its Preliminary in Vivo Toxicity Evaluation Towards Female Rats. *International Medical Journal Malaysia*, 17(2): 99-106.
- Hélaridot, J.-L. *Quercus chihuahuensis*. Oaks of the World. Recuperado de http://oaksoftheworld.fr/quercus_chihuahuensis.htm
- Hu, J., Chen, Y. y Ni, D. 2012. Effect of superfine grinding on quality and antioxidant property of fine green tea powders. *LTW – Food Science and Technology*, 45 8-12.
- Iminjan, M., Amat, N., Li, X.-H., Upur, H., Ahmat, D. y He, B. 2014. Investigation into the Toxicity of Traditional Uyghur Medicine *Quercus Infectoria* Galls Water Extract. *PLOS ONE*, 9(3): e90756.
- Ishangulyyev, R., Kim, S. y Lee, S. H. 2019. Understanding Food Loss and Waste—Why Are We Losing and Wasting Food? *Antioxidants*, 8(8): 297.
- Jaarin, K. y Kamisah, Y. 2012. Repeatedly Heated Vegetable Oils and Lipid Peroxidation. En: A. Catala (Ed.), *Lipid Peroxidation*. IntechOpen, Rijeka, 211-228.
- Jiménez-Moreno, N., Moler, J. A., Urmeneta, H., Suberviola-Ripa, J., Cibriain-Sabalza, F., Gandía, L. M. y Ancín-Azpilicueta, C. 2018. Oak wood extracts applied to the grapevine. An alternative to obtain quality Garnacha wines. *Food Research International*, 105 628-636.
- Juárez, M. D. y Sammán, N. 2007. El deterioro de los aceites durante la fritura. *Revista Española Nutrición Comunitaria*, 13(2): 82-94.
- Karunaratne, D. N. y Pamunuwa, G. K. 2017. Introductory Chapter: Introduction to Food Additives. En: D. N. Karunaratne & G. K. Pamunuwa (Eds.), *Food Additives*. IntechOpen, Rijeka, 3-17.

- Kaur, J., Gulati, M., Singh, S. K., Kuppusamy, G., Kapoor, B., Mishra, V., Gupta, S., Arshad, M. F., Porwal, O., Jha, N. K., Chaitanya, M. V. N. L., Chellappan, D. K., Gupta, G., Gupta, P. K., Dua, K., Khursheed, R., Awasthi, A. y Corrie, L. 2022. Discovering multifaceted role of vanillic acid beyond flavours: Nutraceutical and therapeutic potential. *Trends in Food Science & Technology*, 122 187-200.
- Kenyon, C. (2019). *Methods Used in Authentic Mexican Cooking*. The Spruce Eats. Recuperado de <https://www.thespruceeats.com/methods-used-in-authentic-mexican-cooking-2342659>
- Kiliç, I. y Yeşiloğlu, Y. 2013. Spectroscopic studies on the antioxidant activity of p-coumaric acid. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 115 719-724.
- Kim, K.-H., Tsao, R., Yang, R. y Cui, S. W. 2006. Phenolic acid profiles and antioxidant activities of wheat bran extracts and the effect of hydrolysis conditions. *Food Chemistry*, 95(3): 466-473.
- Komes, D., Belščak-Cvitanović, A., Horžić, D., Rusak, G., Likić, S. y Berendika, M. 2011. Phenolic composition and antioxidant properties of some traditionally used medicinal plants affected by the extraction time and hydrolysis. *Phytochemical Analysis*, 22(2): 172-180.
- Kwon, S., Orsuwan, A., Bumbudsanpharoke, N., Yoon, C., Choi, J. y Ko, S. 2018. A Short Review of Light Barrier Materials for Food and Beverage Packaging. *Korean Journal of Packaging Science and Technology*.
- Laganà, P., Avventuroso, E., Romano, G., Gioffré, M. E., Patanè, P., Parisi, S., Moscato, U. y Delia, S. 2017. Classification and Technological Purposes of Food Additives: The European Point of View. En: P. Laganà, E. Avventuroso, G. Romano, M. E. Gioffré, P. Patanè, S. Parisi, U. Moscato, & S. Delia (Eds.), *Chemistry and Hygiene of Food Additives*. Springer International Publishing, 1-21.
- 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 113086.
- Loizzo, M. R., Tundis, R., Menichini, F. y Duthie, G. 2015. Anti-rancidity effect of essential oils, application in the lipid stability of cooked turkey meat patties and potential implications for health. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 66(1): 50-57.
- Lončarić, M., Strelec, I., Pavić, V., Šubarić, D., Rastija, V. y Molnar, M. 2020. Lipoxygenase Inhibition Activity of Coumarin Derivatives-QSAR and Molecular Docking Study. *Pharmaceuticals*, 13(7).
- Lourenço, S. C., Moldão-Martins, M. y Alves, V. D. 2019. Antioxidants of Natural Plant Origins: From Sources to Food Industry Applications. *Molecules*, 24(22).
- Manuja, R., Sachdeva, S., Jain, A. y Chaudhary, J. 2013. A Comprehensive Review on Biological Activities of P-Hydroxy Benzoic Acid and Its Derivatives. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 22(2): 109-115.
- Marchesino, M. A., López, P., Guerberoff, G. y Olmedo, R. 2020. Los procesos de fritura y su relación con los valores nutricionales y la inocuidad: Una visión integral desde la Seguridad Alimentaria. *Nexo Agropecuario*, 8(1): 43-51.
- Marcus, J. B. 2013. *Lipids Basics: Fats and Oils in Foods and Health: Healthy Lipid Choices, Roles and Applications in Nutrition, Food Science and the Culinary Arts*. En: J. B. Marcus (Ed.),

Culinary Nutrition. Academic Press, San Diego, 231-277.

- Marina, A. M., Wan Ishak, W. R. y Neoh, S. L. 2014. Frying Quality of Virgin Coconut Oil as Affected by Zea mays Extract. *Sains Malaysiana*, 43 1311-1315.
- Martínez-Yrizar, A., Felger, R. S. y Búrquez, A. 2010. Los ecosistemas terrestres: Un diverso capital natural. En: F. Molina Freaner & T. R. Van Devender (Eds.), *Diversidad biológica de Sonora*. Universidad Nacional Autónoma de México y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D.F., 496.
- Max, B., Salgado, J. M., Cortés, S. y Domínguez, J. M. 2010. Extraction of Phenolic Acids by Alkaline Hydrolysis from the Solid Residue Obtained after Prehydrolysis of Trimming Vine Shoots. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(3): 1909-1917.
- Montoya-Inzunza, L. A., Moreno-Ulloa, A., Carballo-Castañeda, R. A., Xool-Tamayo, J., Contreras-Angulo, L. A., Leyva-López, N., Antunes-Ricardo, M., Gonzalez-Galaviz, J. R., Heredia, J. B. y Gutiérrez-Grijalva, E. P. 2023. Metabolomic Characterization of *Phoradendron brachystachyum* Mistletoe and In-Silico and In-Vitro Investigation of Its Therapeutic Potential in Metabolic Disorders. *Plants*, 12(14): 2729.
- Morales, D. 2021. Oak trees (*Quercus* spp.) as a source of extracts with biological activities: A narrative review. *Trends in Food Science & Technology*, 109 116-125.
- Muhammad, H. F. L. y Dickinson, K. M. 2019. 2 - Nutrients, Energy Values and Health Impact of Conventional Beverages. En: A. M. Grumezescu & A. M. Holban (Eds.), *Nutrients in Beverages*. Academic Press, 41-75.
- Neves, M., Miranda, A., Lemos, M. F. L., Silva, S. y Tecelão, C. 2020. Enhancing oxidative stability of sunflower oil by supplementation with prickled broom (*Pterospartum tridentatum*) ethanolic extract. *Journal of Food Science*, 85(9): 2812-2821.
- Nixon, K. C. *Quercus chihuahuensis*. *Flora of North America*. Recuperado de http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=1&taxon_id=233501017
- Oenel, A., Fekete, A., Krischke, M., Faul, S. C., Gresser, G., Havaux, M., Mueller, M. J. y Berger, S. 2017. Enzymatic and Non-Enzymatic Mechanisms Contribute to Lipid Oxidation During Seed Aging. *Plant and Cell Physiology*, 58(5): 925-933.
- Oh, W. Y., Ambigaipalan, P. y Shahidi, F. 2021. Quercetin and its ester derivatives inhibit oxidation of food, LDL and DNA. *Food Chemistry*, 364 130394.
- Pengfei, L., Tiansheng, D., Xianglin, H. y Jianguo, W. 2009. Antioxidant Properties of Isolated Isorhamnetin from the Sea Buckthorn Marc. *Plant Foods for Human Nutrition*, 64(2): 141-145.
- Pinto, D., Diaz Franco, S., Silva, A. M., Cupara, S., Koskovac, M., Kojicic, K., Soares, S., Rodrigues, F., Sut, S., Dall'Acqua, S. y Oliveira, M. B. P. P. 2019. Chemical characterization and bioactive properties of a coffee-like beverage prepared from *Quercus cerris* kernels. *Food & Function*, 10(4): 2050-2060.
- Pluskal, T., Castillo, S., Villar-Briones, A. y Orešič, M. 2010. MZmine 2: Modular framework for processing, visualizing, and analyzing mass spectrometry-based molecular profile data. *BMC Bioinformatics*, 11(1): 395.
- Prasedya, E. S., Frediansyah, A., Martyasari, N. W. R., Ilhami, B. K., Abidin, A. S., Padmi, H.,

- Fahrurrozi, Juanssilfero, A. B., Widyastuti, S. y Sunarwidhi, A. L. 2021. Effect of particle size on phytochemical composition and antioxidant properties of *Sargassum cristaefolium* ethanol extract. *Scientific Reports*, 11(1): 17876.
- S. d. Economía. (2009). NMX-F-589-SCFI-2009: ALIMENTOS-ACEITES Y GRASAS VEGETALES O ANIMALES-DETERMINACION DEL VALOR DE TBA-METODO DE PRUEBA.
- Ranjbar Nedamani, E., Sadeghi Mahoonak, A., Ghorbani, M. y Kashaninejad, M. 2015. Evaluation of antioxidant interactions in combined extracts of green tea (*Camellia sinensis*), rosemary (*Rosmarinus officinalis*) and oak fruit (*Quercus branti*). *Journal of Food Science and Technology*, 52(7): 4565-4571.
- Riaz, M. N. y Rokey, G. J. 2012. Impact of particle size and other ingredients on extruded foods and feeds. En: M. N. Riaz & G. J. Rokey (Eds.), *Extrusion Problems Solved*. Woodhead Publishing, 55-63.
- Rocha-Guzmán, N. E., Medina-Medrano, J. R., Gallegos-Infante, J. A., Gonzalez-Laredo, R. F., Ramos-Gómez, M., Reynoso-Camacho, R., Guzmán-Maldonado, H. y González-Herrera, S. M. 2012. Chemical Evaluation, Antioxidant Capacity, and Consumer Acceptance of Several Oak Infusions. *Journal of Food Science*, 77(2): C162-C166.
- Roedig-Penman, A. y Gordon, M. H. 1998. Antioxidant properties of myricetin and quercetin in oil and emulsions. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 75(2): 169-180.
- Romojaro, A., Serrano, M. y Pretel, M. T. 2018. Wild edible plants (WEP) as antioxidant supplements for oils and juices. *Acta Horticulturae* 1039-1044.
- Sánchez-Burgos, J. A., Ramírez-Mares, M. V., Larrosa, M. M., Gallegos-Infante, J. A., González-Laredo, R. F., Medina-Torres, L. y Rocha-Guzmán, N. E. 2013. Antioxidant, antimicrobial, antitopoisomerase and gastroprotective effect of herbal infusions from four *Quercus* species. *Industrial Crops and Products*, 42 57-62.
- Sánchez-Escalante, J. J. y Gilbert, E. E. (2018). *Quercus chihuahuensis*. Red de Herbarios del Noroeste de México. Recuperado de <https://herbanwmex.net/portal/taxa/index.php?taxon=Quercus+chihuahuensis&formsubmit=Search+Terms>
- Sánchez-Gutiérrez, M., Gómez-García, R., Carrasco, E., Bascón-Villegas, I., Rodríguez, A. y Pintado, M. 2022. *Quercus ilex* leaf as a functional ingredient: Polyphenolic profile and antioxidant activity throughout simulated gastrointestinal digestion and antimicrobial activity. *Journal of Functional Foods*, 91 105025.
- Sarwar, A., Vunguturi, S. y Ferdose, A. 2016. A study on smoke point and peroxide values of different widely used edible oils. *International Journal of Engineering Technology Science and Research*, 3(5): 271-273.
- Schymanski, E. L., Jeon, J., Gulde, R., Fenner, K., Ruff, M., Singer, H. P. y Hollender, J. 2014. Identifying Small Molecules via High Resolution Mass Spectrometry: Communicating Confidence. *Environmental Science & Technology*, 48(4): 2097-2098.
- Segurondo Loza, R. y Cortez Quisbert, V. 2020. Determinación de la rancidez en aceites usados en el proceso de frituras en establecimientos de expendio de comida rápida. *Revista Con-*

Ciencia, 8 115-128.

- Shahidi, F. y Ambigaipalan, P. 2015. Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects – A review. *Journal of Functional Foods*, 18 820-897.
- Shahidi, F. y Dissanayaka, C. S. 2023. Phenolic-protein interactions: insight from in-silico analyses – a review. *Food Production, Processing and Nutrition*, 5(1): 2.
- Shahidi, F. y Hossain, A. 2022. Role of Lipids in Food Flavor Generation. *Molecules*, 27(15): 5014.
- Shasha, D., Magogo, C. y Dzomba, P. 2014. Reversed Phase HPLC-UV Quantitation of BHA, BHT and TBHQ in Food Items Sold in Bindura Supermarkets, Zimbabwe. *International Research Journal of Pure and Applied Chemistry*, 4(5): 578-584.
- Shewale, S. P., Kapadia, M. y Rathod, V. K. 2022. Intensification of total phenolic compounds extraction from *Azadirachta indica* (Neem) leaves by ultrasound. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, 181 109099.
- Silva, M. y Lidon, F. 2016. An Overview on Applications and Side Effects of Antioxidant Food Additives. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 28(12): 823-832.
- Sindt, L., Gammacurta, M., Waffo-Teguo, P., Dubourdiou, D. y Marchal, A. 2016. Taste-Guided Isolation of Bitter Lignans from *Quercus petraea* and Their Identification in Wine. *Journal of Natural Products*, 79(10): 2432-2438.
- Song, J. L., Zhao, X. y Wang, Q. 2013. Protective effects of *Quercus salicina* on alloxan-induced oxidative stress in HIT-T15 pancreatic β cells. *Experimental and Therapeutic Medicine*, 5(3): 947-951.
- Soriano, A., Alañón, M. E., Alarcón, M., García-Ruíz, A., Díaz-Maroto, M. C. y Pérez-Coello, M. S. 2018. Oak wood extracts as natural antioxidants to increase shelf life of raw pork patties in modified atmosphere packaging. *Food Research International*, 111 524-533.
- Soto-García, M., Rosales-Castro, M., Escalona-Cardoso, G. N. y Paniagua-Castro, N. 2016. Evaluation of Hypoglycemic and Genotoxic Effect of Polyphenolic Bark Extract from *Quercus sideroxylla*. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2016 4032618.
- Taib, M., Rezzak, Y., Bouyazza, L. y Lyoussi, B. 2020. Medicinal Uses, Phytochemistry, and Pharmacological Activities of *Quercus* Species. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2020 1920683.
- Tanase, C., Coşarcă, S. y Muntean, D.-L. 2019. A Critical Review of Phenolic Compounds Extracted from the Bark of Woody Vascular Plants and Their Potential Biological Activity. *Molecules*, 24(6): 1182.
- Tatiyaborworntam, N., Oz, F., Richards, M. P. y Wu, H. 2022. Paradoxical effects of lipolysis on the lipid oxidation in meat and meat products. *Food Chemistry: X*, 14 100317.
- Touati, R., Santos, S. A. O., Rocha, S. M., Belhamel, K. y Silvestre, A. J. D. 2015. The potential of cork from *Quercus suber* L. grown in Algeria as a source of bioactive lipophilic and phenolic compounds. *Industrial Crops and Products*, 76 936-945.
- S. d. Economía. (2010). NMX-F-101-SCFI-2012: ALIMENTOS – ACEITES Y GRASAS

VEGETALES O ANIMALES – DETERMINACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS LIBRES - MÉTODO DE PRUEBA.

- Tuyen, P. T., Khang, D. T., Thu Ha, P. T., Hai, T. N., Elzaawely, A. A. y Xuan, T. D. 2016. Antioxidant Capacity and Phenolic Contents of Three Quercus Species. *International Letters of Natural Sciences*, 54 85-99.
- United Nations. (2022). Stop food Loss and waste, for the people, for the planet. New York, EU:Recuperado de <https://www.un.org/en/observances/end-food-waste-day>
- Urbančič, S., Kolar, M. H., Dimitrijević, D., Demšar, L. y Vidrih, R. 2014. Stabilisation of sunflower oil and reduction of acrylamide formation of potato with rosemary extract during deep-fat frying. *LWT - Food Science and Technology*, 57(2): 671-678.
- Valencia-Avilés, E., García-Pérez, M. E., Garnica-Romo, M. G., Figueroa-Cárdenas, J. D. D., Meléndez-Herrera, E., Salgado-Garciglia, R. y Martínez-Flores, H. E. 2018. Antioxidant Properties of Polyphenolic Extracts from Quercus Laurina, Quercus Crassifolia, and Quercus Scytophylla Bark. *Antioxidants*, 7(7): 81.
- Valencia-Avilés, E., Martínez-Flores, H.-E., García-Pérez, M., Meléndez-Herrera, E. y García-Pérez, M.-E. 2019. Investigation of the Antibacterial Activity and Subacute Toxicity of a Quercus crassifolia Polyphenolic Bark Extract for its Potential Use in Functional Foods. *Journal of Food Science*, 84(7): 1692-1702.
- Valluzzi, R. L., Fierro, V., Arasi, S., Mennini, M., Pecora, V. y Fiocchi, A. 2019. Allergy to food additives. *Current Opinion in Allergy and Clinical Immunology*, 19(3): 256-262.
- Vázquez-Cabral, B. D., Moreno-Jiménez, M. R., Rocha-Guzmán, N. E., Gallegos-Infante, J. A., González-Herrera, S. M., Gamboa-Gómez, C. I. y González-Laredo, R. F. 2015. Mexican oaks as a potential non-timber resource for kombucha beverages. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 22(1): 73-86.
- Velasco, J., Dobarganes, C. y Márquez-Ruiz, G. 2010. Oxidative rancidity in foods and food quality. En: L. H. Skibsted, J. Risbo, & M. L. Andersen (Eds.), *Chemical Deterioration and Physical Instability of Food and Beverages*. Woodhead Publishing, 3-32.
- Velázquez-Sámamo, G., Collado-Chagoya, R., Cruz-Pantoja, R. A., Velasco-Medina, A. A. y Rosales-Guevara, J. 2019. Hypersensitivity reactions to food additives. *Revista Alergia Mexico*, 66(3): 329-339.
- Velez Terranova, O. M., Campos-Gaona, R. y Sanchez-Guerrero, H. 2014. Use of plant secondary metabolites to reduce rumen methanogenesis. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17(3): 489-499.
- Viana da Silva, M., Santos, M. R. C., Alves Silva, I. R., Macedo Viana, E. B., Dos Anjos, D. A., Santos, I. A., Barbosa de Lima, N. G., Wobeto, C., Jorge, N. y Lannes, S. C. D. S. 2022. Synthetic and Natural Antioxidants Used in the Oxidative Stability of Edible Oils: An Overview. *Food Reviews International*, 38(sup1): 349-372.
- Vieira, S. A., McClements, D. J. y Decker, E. A. 2015. Challenges of utilizing healthy fats in foods. *Advances in Nutrition*, 6(3): 309S-317S.
- Wang, M., Carver, J. J., Phelan, V. V., Sanchez, L. M., Garg, N., Peng, Y., Nguyen, D. D., Watrous, J., Kapon, C. A., Luzzatto-Knaan, T., Porto, C., Bouslimani, A., Melnik, A. V., Meehan,

M. J., Liu, W.-T., Crüsemann, M., Boudreau, P. D., Esquenazi, E., Sandoval-Calderón, M., Kersten, R. D., Pace, L. A., Quinn, R. A., Duncan, K. R., Hsu, C.-C., Floros, D. J., Gavilan, R. G., Kleigrewe, K., Northen, T., Dutton, R. J., Parrot, D., Carlson, E. E., Aigle, B., Michelsen, C. F., Jelsbak, L., Sohlenkamp, C., Pevzner, P., Edlund, A., McLean, J., Piel, J., Murphy, B. T., Gerwick, L., Liaw, C.-C., Yang, Y.-L., Humpf, H.-U., Maansson, M., Keyzers, R. A., Sims, A. C., Johnson, A. R., Sidebottom, A. M., Sedio, B. E., Klitgaard, A., Larson, C. B., Boya P, C. A., Torres-Mendoza, D., Gonzalez, D. J., Silva, D. B., Marques, L. M., Demarque, D. P., Pociute, E., O'Neill, E. C., Briand, E., Helfrich, E. J. N., Granatosky, E. A., Glukhov, E., Ryffel, F., Houson, H., Mohimani, H., Kharbush, J. J., Zeng, Y., Vorholt, J. A., Kurita, K. L., Charusanti, P., McPhail, K. L., Nielsen, K. F., Vuong, L., Elfeki, M., Traxler, M. F., Engene, N., Koyama, N., Vining, O. B., Baric, R., Silva, R. R., Mascuch, S. J., Tomasi, S., Jenkins, S., Macherla, V., Hoffman, T., Agarwal, V., Williams, P. G., Dai, J., Neupane, R., Gurr, J., Rodríguez, A. M. C., Lamsa, A., Zhang, C., Dorrestein, K., Duggan, B. M., Almaliti, J., Allard, P.-M., Phapale, P., Nothias, L.-F., Alexandrov, T., Litaudon, M., Wolfender, J.-L., Kyle, J. E., Metz, T. O., Peryea, T., Nguyen, D.-T., VanLeer, D., Shinn, P., Jadhav, A., Müller, R., Waters, K. M., Shi, W., Liu, X., Zhang, L., Knight, R., Jensen, P. R., Palsson, B. Ø., Pogliano, K., Lington, R. G., Gutiérrez, M., Lopes, N. P., Gerwick, W. H., Moore, B. S., Dorrestein, P. C. y Bandeira, N. 2016. Sharing and community curation of mass spectrometry data with Global Natural Products Social Molecular Networking. *Nature Biotechnology*, 34(8): 828-837.

- Wąsowicz, E., Gramza, A., Heś, M., Jeleń, H. H., Korczak, J., Małecka, M., Mildner-Szkudlarz, S., Rudzińska, M., Samotyja, U. y Zawirska-Wojtasiak, R. 2004. Oxidation of Lipids in Food. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 54(1s): 87-100.
- Wold, J. P. 2006. Understanding and measuring photooxidation in dairy products by fluorescence spectroscopy. *Spectroscopy Europe*, 8(5): 8-13.
- Wu, Chang, C., Hong, C., Zhang, H., Huang, J., Jin, Q. y Wang, X. 2019. Phenolic compounds as stabilizers of oils and antioxidative mechanisms under frying conditions: A comprehensive review. *Trends in Food Science & Technology*, 92 33-45.
- Wu, Richards, M. P. y Undeland, I. 2022. Lipid oxidation and antioxidant delivery systems in muscle food. *Comprehensive REVIEWS in Food Science and Food Safety*, 21(2): 1275-1299.
- Wu, Zhang, C., Long, Y., Chen, Q., Zhang, W. y Liu, G. 2021. Food additives: From functions to analytical methods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(30): 8497-8517.
- Xiong, Q., Zhang, M., Wang, T., Wang, D., Sun, C., Bian, H., Li, P., Zou, Y. y Xu, W. 2020. Lipid oxidation induced by heating in chicken meat and the relationship with oxidants and antioxidant enzymes activities. *Poultry Science*, 99(3): 1761-1767.
- Yarnes, C. T., Boecklen, W. J., Tuominen, K. y Salminen, J.-P. 2006. Defining phytochemical phenotypes: size and shape analysis of phenolic compounds in oaks (Fagaceae, *Quercus*) of the Chihuahuan Desert. *Canadian Journal of Botany*, 84(8): 1233-1248.
- Yuan, Y., Zhang, W., Pang, J., Zhou, M., Liu, J., Zhao, J., Sui, J., Huang, D. y Yang, M. 2023. Integrated physiological and metabolomic analyses reveal changes during the natural senescence of *Quercus mongolica* leaves. *PLOS ONE*, 18(8): e0289272.
- Yun, J.-M. y Surh, J. 2012. Fatty Acid Composition as a Predictor for the Oxidation Stability of

Korean Vegetable Oils with or without Induced Oxidative Stress. *Preventive Nutrition and Food Science*, 17(2): 158-165.

Zeece, M. 2020. Chapter Four - Lipids. En: M. Zeece (Ed.), *Introduction to the Chemistry of Food*. Academic Press, 127-161.

Zehiroglu, C. y Ozturk Sarikaya, S. B. 2019. The importance of antioxidants and place in today's scientific and technological studies. *Journal of Food Science and Technology*, 56(11): 4757-4774.

Zepeda-Ruiz, G. C., Domínguez-Avila, J. A., Ayala-Zavala, J. F., Robles-Sánchez, M., Salazar-López, N. J., López-Díaz, J. A. y González-Aguilar, G. A. 2020. Supplementing corn chips with mango cv. "Ataulfo" peel improves their sensory acceptability and phenolic profile, and decreases in vitro dialyzed glucose. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(12): e14954.

Zhang, B., Cai, J., Duan, C.-Q., Reeves, M. J. y He, F. 2015. A Review of Polyphenolics in Oak Woods. *International Journal of Molecules Science*, 16(4): 6978-7014.

Zhishen, J., Mengcheng, T. y Jianming, W. 1999. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry*, 64(4): 555-559.

Zuñiga, E. (2019). Pese a daño a la salud, mexicanos reutilizan el aceite comestible. *Revista Forbes México*. Recuperado de <https://www.forbes.com.mx/pese-a-dano-a-la-salud-mexicanos-reutilizan-el-aceite-comestible/>