

UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS QUÍMICO BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS

Cuantificación de Compuestos Volátiles en Aceites Vegetales Utilizados Durante el Freído



Que para obtener el Título de

Químico Biólogo Clínico

Presenta:

Héctor Manuel Angulo Murrieta

H. Caborca, Sonora

Abril de 2019

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

VOTOS APROBATORIOS

Los miembros del jurado calificador del examen profesional de **Héctor Manuel Angulo Murrieta** hemos revisado detenidamente su trabajo escrito titulado **Cuantificación de Compuestos Volátiles en Aceites Vegetales Utilizados Durante el Freído** y encontramos que cumple con los requisitos para la presentación de su examen profesional. Por tal motivo recomendamos se acepte dicho trabajo como requisito parcial para la obtención de título de Químico Biólogo Clínico.

Atentamente

Dr. Jesús Ortega García
Presidente

Dra. Dora Edith Valencia Rivera
Secretario

Dra. Beatriz Montaña Leyva
Vocal

Q.B. Rafael de la Rosa López
Suplente

DEDICATORIA

Dicen que la mejor herencia que nos pueden dejar los padres son los estudios, sin embargo, no creo que sea el único legado del cual yo me siento muy agradecido, mis padres me han permitido trazar mi camino y caminar con mis propios pies. Ellos son mis pilares de la vida, les dedico este trabajo de titulación.

A mi hermano, por estar siempre en mi vida, ayudarme en todo lo que necesite y se me ocurrió, gracias por ser mi mejor amigo.

A Dolores Isela Aguilar González, por ser esa persona tan grandiosa, por estar siempre junto a mi ante toda situación, nunca olvidare todos los momentos compartidos a lo largo de la universidad y fuera de ellos. ¡Gracias por formar parte especial de mi vida!

A mis amigos Herman Eduardo Chaves Salas, José Aurelio Gaspar García y Carlos Antonio Vasquez Carrasco, por su apoyo a lo largo de la carrera, y por todos esos días de pura risa y felicidad.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a mis padres Bertha Julia Murrieta Martínez y Jesús Manuel Angulo Castro por ser los principales promotores de mis sueños, gracias a ellos por cada día confiar y creer en mí y en mis expectativas, gracias a mi madre por todo el apoyo por escucharme cada día difícil y darme sus palabras de aliento que era para mí como agua en el desierto; gracias a mi padre por siempre desear y anhelar siempre lo mejor para mi vida, gracias por cada consejo y por cada una de sus palabras que me guiaron durante mi vida.

A mi hermano Jesús Ramon Angulo Murrieta por darme todo su apoyo, por ayudarme cuando lo necesite, por ser un gran ejemplo para seguir y ser el mejor amigo que puedo tener. Gracias a Dios por la vida de mis padres y hermano, también porque cada día bendice mi vida con la hermosa oportunidad de estar y disfrutar al lado de las personas que sé que más me aman, y a las que yo sé que más amo en mi vida.

Agradezco también el inmenso apoyo a los profesores de la institución por haber sido parte importante en mi formación académica, en especial a la Dra. Dora Edith Valencia Rivera, Al Dr. Jesús Ortega García y al Q.B Rafael de la Rosa López, porque aparte de ser excelentes docentes también son excelentes personas con los cuales desarrolle una muy buena amistad.

Gracias a la Universidad de Sonora por ser la institución en la que realice mis estudios por prestar este grande y necesario servicio a todos sus estudiantes porque gracias a ella hoy existen grandes profesionistas que llevan en alto el nombre de la universidad y presumen con grandeza ser un Búho de corazón.

CONTENIDO

	Página
LISTA DE FIGURAS	6
RESUMEN	7
INTRODUCCIÓN	8
OBJETIVOS	10
General	10
Específicos	10
JUSTIFICACIÓN	11
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	12
Oxidación de Ácidos Grasos	12
Mecanismo de Oxidación de Ácidos Grasos	12
Compuestos de Oxidación Volátiles	15
Aldehídos	15
Cetonas	16
Furanos	16
Compuestos de Oxidación No Volátiles	16
Radicales Libres	17
Aspectos Clínicos	18
Composición de Aceites y Aspectos Nutrimientales	20
Triacilglicéridos	21
Ácidos Grasos	21
Fosfolípidos	22
Tocoferoles	22
Esteroles	23
Aspectos Relevantes del Freído	24
Temperatura	26
Tiempo	27
Compuestos Formados Durante el Freído	27
Aspectos Nutrimientales de los Compuestos Formados en el Freído	28
Caracterización Física y Química de Aceites	29
Antioxidantes Naturales y Sintéticos	32

Compuestos Volátiles	33
Aldehídos y Cetonas	34
Compuestos No Volátiles: Hidroperóxidos de Triacilglicéridos	35
METODOLOGÍA	36
Muestra	36
Caracterización Físicoquímica de los Aceites	36
Valor de Peróxidos	36
Valor de <i>p</i> -anisidina	36
Perfil de Ácidos Grasos	36
Cuantificación de Tocoferoles	36
Índice de Estabilidad Oxidativa	37
Experimentos de Freído a 180°C	37
Análisis Sensorial de las Papas Fritas: Prueba Hedónica	37
Análisis de Compuestos Volátiles	37
Análisis Estadístico	38
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
Caracterización Química y Nutricional de los Aceites	39
Comportamiento del Valor de Peróxidos y de <i>p</i> -anisidina Durante el Freído de los Aceites.	40
Análisis de Compuestos Volátiles Antes y Después del Freído	44
CONCLUSIONES	48
RECOMENDACIONES	49
BIBLIOGRAFÍA	50

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1.	Comportamiento del valor de peróxidos durante el transcurso de freído a 180°C	41
2.	Comportamiento del valor de <i>p</i> -anisidina durante el transcurso de freído a 180°C	41
3.	Comportamiento en el contenido de tocoferoles totales (ppm) de los aceites control (antes del freído).	42
4.	Comportamiento en el contenido de tocoferoles totales (ppm) de los aceites después de ser utilizados en el freído.	42
5.	Evaluación sensorial del color de las papas fritas.	43
6.	Evaluación sensorial de la textura de las papas fritas.	43
7.	Evaluación sensorial del sabor de las papas fritas.	44
8.	Análisis de compuestos volátiles antes del freído del aceite de soya.	45
9.	Análisis de compuestos volátiles después del freído del aceite de soya por 60 minutos a 180°C.	45
10.	Análisis de compuestos volátiles del aceite de canola.	46
11.	Análisis de compuestos volátiles del aceite de canola después del freído de las papas fritas por 60 minutos a 180°C.	46
12.	Análisis de compuestos volátiles del aceite de cártamo alto en oleico.	47
13.	Análisis de compuestos volátiles del aceite de cártamo alto en oleico después del freído de las papas por 60 minutos a 180°C.	47

RESUMEN

El proceso de freído, las características químicas y nutrimentales de los aceites que se utilizan y la calidad sensorial del producto son muy importantes. En el presente trabajo se evaluaron las características sensoriales de papas fritas, la calidad química (valor de peróxidos y valor de *p*-anisidina) y nutrimental (tocoferoles) con la finalidad de obtener papas fritas de calidad aceptable y con menos pérdida de tocoferoles, así como los diferentes tipos de compuestos volátiles que se encuentran presentes en los aceites antes y después de ser utilizados en el freído de papas. Los aceites utilizados cumplieron con los parámetros establecidos de calidad química, de composición de ácidos grasos y contenido de tocoferoles. Después de realizar el proceso de freído, se presentó un incremento en los valores de peróxidos y valor de *p*-anisidina conforme aumento el tiempo de 20 a 60 minutos; por el contrario, se observó una disminución en el contenido de tocoferoles de 29.62 - 30.84%, con respecto al contenido inicial. Las papas fritas que presentaron mejores características sensoriales, en relación al color, sabor y textura, fueron aquellas en donde se utilizó el aceite de cártamo alto en oleico, a un tiempo menor de 20 minutos, decayendo en su aceptación después de los 40 minutos de freído, por lo que se puede concluir la mejor calidad de las papas fritas se obtiene con este aceite y al tiempo mencionado. En relación al contenido de compuestos volátiles se puede concluir que en el aceite que más compuestos volátiles se generaron fue en el aceite de soya, por el contrario en el que menos se generaron fue en el aceite de cártamo alto en oleico y se incrementaron los compuestos característicos presentes en este tipo de alimentos como son el *trans*-2-heptenal y el *trans*, *trans*-2,4 decadienal.

INTRODUCCIÓN

El freído con aceites es uno de los métodos más populares en la preparación de alimentos en el mundo, ya que es rápido y da como resultado productos con buen sabor y con un aroma característico apreciado por el consumidor. Este proceso se utiliza sobre todo para la producción de alimentos de preparación rápida, por ejemplo, para la preparación de papas fritas y productos denominado snacks (Santos y Cols., 2013).

La elección del método para freír en la producción industrial de alimentos depende de varios factores, siendo los de mayor importancia, el punto de vista económico, la disponibilidad, el precio del producto a freír y del aceite a utilizar.

Además, el alimento a freír debe ser estable contra la oxidación durante el procesamiento y no debe disminuir la vida útil del producto frito. Esto es especialmente importante para aperitivos y comidas rápidas tales como papas fritas. Por otra parte, el intercambio que se lleva a cabo de agua y aceite entre el producto frito y el aceite de fritura repercute en el aroma y sabor característico del alimento (Frankel, 2010). Si el aceite utilizado para freír tiene un mal sabor y aroma, el producto final, también será de mala calidad. Recientemente, los aspectos nutricionales y fisiológicos de los alimentos con los lípidos indeseables han sido examinados, especialmente ácidos grasos saturados y ácidos grasos *trans* (Dana, 2001).

De tal forma que la sustitución de grasas y aceites con alto contenido de ácidos grasos *trans* o saturados por aceites vegetales que poseen un alto contenido de ácidos grasos monoinsaturados y bajos en ácidos grasos saturados, es una solución, ya que ayuda a prevenir enfermedades cardiovasculares (Farnetti, 2011).

Un intercambio de aceite a la materia prima se produce durante el freído, de tal manera que, el producto final obtenido lleva una buena cantidad de aceite en la composición de ácidos grasos libres del aceite utilizado en el freído, involucrando una gran variedad de alimentos de freído como son papas, snacks, etc. (Karoui y Cols., 2011).

Para dar mayor estabilidad al aceite de freído y conservar la calidad nutrimental de los aceites de freído y los alimentos, se ha manejado como alternativa el uso de aceites tropicales

(por ejemplo, aceites de palma, aceite de nuez y aceite de coco) y el uso de aceites con alto contenido de ácido oleico (aceite de oliva) (Frankel, 2010).

Este tipo de aceite se caracteriza por un alto valor nutricional, así como por una alta estabilidad oxidativa, lo que es adecuado para aplicaciones en las que se utilizan altas temperaturas. En la actualidad aceites con alto contenido de ácido oleico son de gran importancia desde el punto de vista nutricional, ya que este ácido graso monoinsaturado reduce las lipoproteínas de baja densidad (LDL), mientras que por el contrario aumentan las lipoproteínas de alta densidad (HDL) (Tratwein y Cols., 1999; Kratz y Cols., 2002).

El rendimiento en la fritura con aceites con alto contenido de oleico y bajo linolénico, como el aceite de canola, era comparable o mejor para freír que el aceite de colza parcialmente hidrogenado o la oleína de palma (Matthäus, 2006; Kristott, 2003; Przybylski, 2008).

Se ha reportado el efecto de varios aceites vegetales como el de girasol alto en oleico, sobre la calidad de los alimentos freídos durante el almacenamiento (Lahtinen y Cols., 1996; Raoux, 1996; Martin-Polvillo y Cols., 1996; Dobarganes y Cols., 1993), sin embargo, en este trabajo se pretende utilizar aceites vegetales de canola, soya y cártamo alto en oleico, con el objetivo de conocer la calidad química y nutrimental antes y después de ser utilizados en el freído, así como de la calidad sensorial del producto (papas fritas) y el tipo de compuestos volátiles que se generan.

OBJETIVOS

General

Identificar y cuantificar los compuestos volátiles en aceites vegetales utilizados durante el freído mediante cromatografía de gases.

Específicos

1. Conocer la calidad fisicoquímica y nutrimental de los aceites vegetales de canola, soya y cártamo alto en oleico utilizados antes y después del freído de papas fritas.
2. Identificar y cuantificar los compuestos volátiles en aceites vegetales así como el efecto del proceso de freído en su generación.
3. Estandarizar la metodología para el análisis de compuestos volátiles en aceites que fueron utilizados en el freído.

JUSTIFICACIÓN

En México, se ha reportado el efecto de varios aceites vegetales para ser utilizados durante el proceso de freido, tal como el de girasol alto en oleico y se ha estudiado sobre la calidad de los alimentos fritos durante el almacenamiento, sin embargo, el contenido de los compuestos volátiles en el mismo ha sido poco o nulo por lo que en el presente trabajo se pretende utilizar aceites vegetales de canola, soya y cártamo alto en oleico, con el objetivo de conocer la calidad química y nutrimental antes y después de ser utilizados en dicho proceso, así como de la calidad sensorial del producto, que en este caso son las papas fritas.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Oxidación de Ácidos Grasos

Los ácidos grasos se definen como ácidos monocarboxílicos de cadena alifática con número par de átomos de carbono, que podían ser saturados e insaturados; sin embargo, en la medida en que las técnicas de análisis cualitativo y cuantitativo mejoraron, se identificaron otros con estructuras diferentes. Entre los ácidos grasos más comunes se encuentran los ácidos grasos saturados como el ácido láurico (C_{12:0}), mirístico (C_{14:0}), palmítico (C_{16:0}) y el ácido esteárico (C_{18:0}); monoinsaturados como el ácido oleico (C_{18:1}) y poliinsaturados como el ácido linoléico (C_{18:2}) y el α - linolénico (C_{18:3}). La estabilidad oxidativa, el comportamiento, la plasticidad, el estado físico, el patrón de cristalización, el índice de yodo, la temperatura de solidificación, etc. de los aceites y grasas se deben fundamentalmente a la presencia y concentración de los ácidos grasos que los constituyen. A pesar de la importancia nutrimental de los lípidos, su consumo se debe regular. Grundy (1997), realizó una recopilación de estudios concluyendo que existen las suficientes evidencias de que el ácido palmítico (C_{16:0}), ácido mirístico (C_{14:0}) y el ácido láurico (C_{12:0}) aumentan la concentración de colesterol sérico, no así el ácido esteárico (C_{18:0}). Mientras el consumo de ácidos grasos mono y poliinsaturados (*cis*), reducen la concentración de colesterol sérico y las lipoproteínas de baja densidad, por lo cual se recomienda que el consumo del aceite cártamo oleico, pudiera ser una la solución a este tipo de problemática.

La importancia del estudio de la reacción de oxidación de los ácidos grasos radica en que estos se encuentran formando parte de la mayoría de los alimentos, además son una fuente importante de energía y transportadores de vitaminas liposolubles. Sin embargo, si se oxidan dejan de realizar su función, afectando en diferentes aspectos de salud. Otro efecto es la disminución de la vida de anaquel del producto, debido a los compuestos volátiles que se generan producto de la oxidación y de los compuestos no volátiles, que posteriormente proporcionan la reversión del sabor en los alimentos (Frankel, 1998).

Mecanismo de Oxidación de Ácidos Grasos

La auto-oxidación de los ácidos grasos es la reacción directa con el oxígeno molecular bajo ciertas condiciones. El oxígeno tiene la particularidad de comportarse como un diradical debido a

que posee dos electrones no apareados ($\cdot\text{O}-\text{O}\cdot$) en su estado basal (estado de triplete). La oxidación de los lípidos procede de la misma manera que en muchos de otros compuestos orgánicos, es decir, por el mecanismo de formación de radicales libres, el cual puede ser descrito en varias etapas que son: Iniciación, propagación y terminación (Frankel, 1998). Cada una de estas involucra una mezcla compleja de reacciones las cuales son descritas a continuación.

Iniciación: La oxidación de los ácidos grasos usualmente tiene un periodo inicial conocido como fase lag o periodo de inducción (Cadenas, 1998). Los lípidos en presencia de promotores, también llamados compuestos pro-oxidantes, la utilización de oxígeno se presenta y como consecuencia existe una eliminación del sustrato (ácidos grasos) y empieza la formación de los hidroperóxidos de manera lenta. La relación estequiométrica en la reacción de oxidación de los ácidos grasos es de un mol de oxígeno por cada mol de ácido graso. El ácido graso al encontrarse en presencia de promotores pierde un hidrógeno para dar como resultado la formación de radicales libre de los ácidos grasos.



Entre los diferentes promotores se pueden encontrar los metales, involucrándose principalmente los metales de transición y se encuentran cuando el aceite es colocado en envases de vidrio. Dentro de los metales se pueden encontrar también el hierro y cobre, estos aparecen cuando el aceite se encuentra en contacto con equipo y material de la industria que no es de acero inoxidable. El calcio y magnesio son otros pro-oxidantes que están presentes en el aceite, cuando la etapa de desgomado no se realiza de manera eficiente, ya que estos forman parte de las gomas no hidratables. Otro tipo de promotores son la luz ultravioleta y la temperatura, las cuales incrementan la velocidad del ataque del oxígeno a los radicales de ácidos grasos formados. Se ha encontrado que estos ácidos grasos pueden ser oxidados por el peróxido de hidrogeno, que se produce por la descomposición del agua, debido a una catálisis heterogénea en la superficie de los metales. El radical formado reacciona con el O_2 para dar como resultado un radical hidroperoxi.



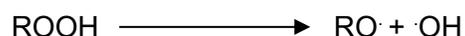
El radical hidroperoxi al estar en contacto con otro ácido graso da como resultado la formación de un hidroperóxido que tiene la particularidad de ser un compuesto inestable no volátil.



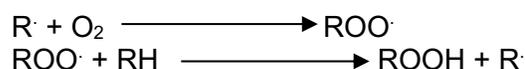
Una vez que los hidroperóxidos son formados en un medio que contiene ácidos grasos poliinsaturados u otros sustratos oxidables, incrementan la velocidad de iniciación, esto debido a

generación de nuevos radicales por la descomposición mono-molecular y bi-molecular de los hidroperóxidos.

Propagación: El hidroperóxido formado se puede descomponer mediante una disociación térmica o la presencia de metales de valencia variable y resultan dos radicales libres: alcoxilo e hidroxilo:

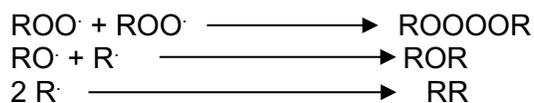


Los radicales formados de R· y ROO· puede reaccionar con oxígeno, nuevamente con otro ácido graso o entre ellos mismos para dar como resultados radicales peroxi e hidroperóxidos.



Los radicales peroxi reaccionan principalmente con los ácidos grasos poliinsaturados durante esta fase de la oxidación removiendo de manera fácil los átomos de hidrogeno. La velocidad relativa de oxidación de los ácidos grasos es: oleico, linoleico, linolénico y araquidónico (el orden de velocidades de 1:40:80:160 respectivamente).

Terminación: Esta es la última etapa en la formación de compuestos de oxidación en la que hay una serie de reacciones entre los radicales formados que da como resultado la formación de diferentes tipos de compuestos volátiles y no volátiles, predominando aldehídos y cetonas. A continuación, se presentan algunos de las diferentes tipos de reacciones:



Bajo este esquema de reacciones se ha llegado a establecer la formación de compuestos volátiles y no volátiles que se encuentran formando parte de los alimentos en donde se ve involucrados los ácidos grasos que forman parte de este y que le proporcionan características aceptables o de rechazo ante el consumidor (Frankel, 1998).

Compuestos de Oxidación Volátiles

La formación de los productos primarios de la oxidación (hidroperóxidos) pueden ser medidos por métodos como el valor de peróxidos. Este tipo de compuestos son importantes precursores de los compuestos de descomposición conocidos como volátiles en diferentes tipos de aceites.

El mecanismo de la formación de los hidroperóxidos involucra la salida de un átomo de hidrogeno del grupo metileno de la molécula del ácido graso. Esto da como resultado un radical alilo muy estable, en el cual el electrón no apareado se encuentra deslocalizado en tres átomos de carbono (como en el ácido oleico) o en cinco átomos de carbono (como en el ácido linoleico y linolénico). Dicho mecanismo se encuentra bien establecido y revisado extensivamente para cada ácido graso en cuestión (Perkins, 1996).

Entre los diferentes tipos de compuestos volátiles que se forman en los aceites a partir del mecanismo citado se encuentran: aldehídos, cetonas y furanos (Ho y Cols., 1996). A continuación, se describirán los mecanismos que dan lugar a este tipo de compuestos.

Aldehídos

El rompimiento de los grupos alcoxi da como resultado este tipo de compuestos y son los principales responsables del sabor en los aceites. El tipo de aldehídos depende del tipo de ruptura y de los ácidos grasos que se encuentren presentes en el aceite. Los factores que afectan la formación y estabilidad de estos compuestos son la temperatura, tiempo de calentamiento y el grado de autooxidación. Los principales aldehídos producidos por los diferentes ácidos grasos presentes en el aceite de cártamo oleico tienen la característica de producir olores y sabores desagradables en los aceites dentro de los cuales se encuentran los olores a pintura, metales, semillas o simplemente rancio. Este tipo de olores y sabores se han asociado como compuestos que se producen durante el proceso de freído de alimentos (Warner, 1996; Benincasa y Cols., 2003; Corbett, 2003).

El índice de deterioración oxidativa se evalúa a través de la cuantificación del hexanal, que junto con el 2,4-decadienal son productos secundarios de oxidación del ácido linoleico. La auto-oxidación del linoleico genera 9- y 13-hidroperóxidos; el rompimiento del primero genera 2,4-decadienal, mientras que del segundo se obtiene el hexanal. El 2,4-decadienal, es conocido como el principal componente del sabor en los alimentos freídos en inmersión (Ho y Cols., 1996).

Cetonas

El tipo de cetonas formadas en la oxidación de los aceites son las del tipo alifático, las cuales contribuyen al sabor de los aceites. La reversión del olor del aceite de soya, se debe principalmente a la 1-octen-3-ona, la cual proporciona un olor denominado a hongos o metálico (Ho y Cols., 1996).

Furanos

El compuesto principal caracterizado en este grupo es el 2-pentilfuranos y es producto de la autooxidación del ácido linoleico y es el responsable de la reversión del sabor en el aceite de soya. En este caso el dieno conjugado generado por rompimiento del radical del 9-hidroxi del ácido linoleico reacciona con el oxígeno y produce vinil hidroperóxido. Este compuesto posteriormente sufre una ciclización por medio del mecanismo de formación de radicales alcoxi para dar como resultado al 2-pentilfuranos.

Compuestos de Oxidación No volátiles

La oxidación de los lípidos es una de las reacciones fundamentales de la química de los lípidos. La oxidación de los lípidos poliinsaturados ha tenido un gran interés debido al incremento en el consumo de aceites con niveles altos de insaturación. Los lípidos poliinsaturados se oxidan con mayor facilidad que los saturados y los monoinsaturados, además pueden sufrir autooxidación y fotooxidación en presencia de iniciadores (Bauer-Plank y Cols., 2000).

Siguiendo un mecanismo de radicales libres, los hidroperóxidos de los triacilglicéridos (TAG-OOH) son formados como los productos primarios de la oxidación de los TAG. Está bien establecido que los TAG-OOH fácilmente se descomponen en una gama amplia de componentes volátiles, causantes de olores en los aceites, así como también en productos de oxidación no volátiles (PONOVOL) (Steenhorst-Slikkerveer y Cols., 2000; Hamilton y Cols., 1997; Frankel, 1996; Porter y Cols., 1995).

Los PONOVOL, aunque no son detectados al inicio de la reacción de oxidación, pueden jugar un papel importante en la degradación oxidativa de los lípidos. Estos compuestos sirven como un depósito de oxígeno y de aquí en adelante pueden actuar como iniciadores de reacciones futuras de oxidación y ser precursores del mal sabor (Frankel, 1998). A pesar de la importancia de los PONOVOL, existe actualmente poca información sobre los métodos analíticos

disponibles que puede proveer información estructural detallada y cuantitativa sobre PONOVOL en muestras de aceites. Además, se desconoce el efecto de la etapa de blanqueo y la desodorización durante el procesamiento de los aceites vegetales sobre los PONOVOL. Para analizar los PONOVOL no se recomienda el uso de la cromatografía de gases, debido al alto peso molecular y la estabilidad limitada de estos compuestos; en su lugar se utiliza el uso de cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) (Steenhorst-Slikkerveery y Cols., 2000).

Radicales Libres

Desde el punto de vista químico los radicales libres son todas aquellas especies químicas, cargadas o no, que en su estructura atómica presentan un electrón desapareado o impar en el orbital externo, dándole una configuración espacial que genera gran inestabilidad, señalado por el punto situado a la derecha del símbolo. Poseen una estructura birradicálica, son muy reactivos, tienen una vida media corta, por lo que actúan cercano al sitio en que se forman y son difíciles de dosificar. Desde el punto de vista molecular son pequeñas moléculas ubicuitarias y difusibles que se producen por diferentes mecanismos entre los que se encuentran la cadena respiratoria mitocondrial, la cadena de transporte de electrones a nivel microsomal y en los cloroplastos, y las reacciones de oxidación, por lo que producen daño celular (oxidativo), al interactuar con las principales biomoléculas del organismo.

No obstante, lo expresado anteriormente, los radicales libres del oxígeno tienen una función fisiológica en el organismo como la de que participan en la fagocitosis, favorecen la síntesis de colágeno, favorecen la síntesis de prostaglandinas, activan enzimas de la membrana celular, disminuyen la síntesis de catecolaminas por las glándulas suprarrenales, modifican la biomembrana y favorecen la quimiotaxis.

Existe un término que incluye a los radicales libres y a otras especies no radicálicas, pero que pueden participar en reacciones que llevan a la elevación de los agentes pro-oxidantes y son las especies reactivas del oxígeno (EROS).

Las principales especies reactivas del oxígeno o sustancias pro-oxidantes son:

– Radical hidroxilo (HO), Peróxido de hidrógeno (H_2O_2), Anión superóxido (O_2^-), Oxígeno singlete (O_2^1), Oxígeno nítrico (NO), Peróxido ($ROO\cdot$), Semiquinona (Q), Ozono

Los radicales libres del oxígeno se clasifican de la forma siguiente:

1. Radicales libres inorgánicos o primarios. Se originan por transferencia de electrones sobre el átomo de oxígeno, representan por tanto distintos estados en la reducción de este y se caracterizan por tener una vida media muy corta; estos son el anión superóxido, el radical hidroxilo y el óxido nítrico.

2. Radicales libres orgánicos o secundarios. Se pueden originar por la transferencia de un electrón de un radical primario a un átomo de una molécula orgánica o por la reacción de 2 radicales primarios entre sí, poseen una vida media un tanto más largo que los primarios; los principales átomos de las biomoléculas son: carbono, nitrógeno, oxígeno y azufre.

3. Intermediarios estables relacionados con los radicales libres del oxígeno. Aquí se incluye un grupo de especies químicas que sin ser radicales libres, son generadoras de estas sustancias o resultan de la reducción o metabolismo de ellas, entre las que están el oxígeno singlete, el peróxido de hidrógeno, el ácido hipocloroso, el peroxinitrito, los hidroperóxidos orgánicos.

Los radicales libres se generan a nivel intracelular y extracelular. Entre las células relacionadas con la producción de radicales libres del oxígeno tenemos los neutrófilos, monocitos, macrófagos, eosinófilos y las células endoteliales. Las enzimas oxidantes involucradas son la xantina-oxidasa, la indolamin-dioxigenasa, la triptofano-dioxigenasa, la mieloperoxidasa, la galactosa-oxidasa, la ciclo-oxigenasa, la lipo-xigenasa, la monoamino-oxidasa y la NADPH-oxidasa. También se producen radicales libres por la administración de paracetamol, tetracloruro de carbono y furosemida; por último, no se puede olvidar agentes como el humo de cigarrillos, las radiaciones ionizantes, la luz solar, el shock térmico y las sustancias que oxidan el glutatión (GSH) como fuentes de radicales libres.

Aspectos Clínicos

Cuando la industria y el mercado abordan la cuestión de los efectos saludables de los alimentos, lo hace desde una perspectiva comercial, impulsada para acceder a nuevos consumidores, más concienciados por la salud y con mayor disposición de gasto en alimentación y vemos como en los últimos años existe un aumento de nuevos productos funcionales, nutraceúticos, etc., que se publicitan como beneficiosos para la salud, generalmente porque aportan algún componente, en concentración importante, que es necesario o conveniente en la dieta, pero que debido a hábitos

alimentarios poco adecuados no se ingiere en la cantidad necesaria. Así podemos encontrar leches con ácidos grasos esenciales añadidos procedentes del pescado, destinados a personas que no incluyen el pescado en su dieta habitual. Y también multitud de productos a los que se les ha eliminado algún componente que sienta mal a algunos consumidores (sin lactosa, sin gluten, sin grasa, sin azúcar, etc.). A esto no escapa el aceite de oliva, que necesita acceder a nuevos mercados y a nuevos consumidores en cuya cultura alimentaria no está incluido el aceite de oliva, y a los que su sabor no resulta agradable al inicio de su consumo, habituados como están a otros aceites con sabores muy diferentes o apenas sin sabor.

En la decisión de compra, el precio es tal vez el elemento fundamental para la mayor parte de los consumidores, y en ese terreno el aceite de oliva está mal situado porque sus costes de producción y precio de venta al público están muy por encima del resto de los aceites vegetales. Mirando en nuestros supermercados podemos encontrar aceites vegetales desde 18 pesos/L (aceite de girasol alto oleico y maíz) a por encima de 72 pesos/L para aceite de oliva virgen y por encima de 90 pesos/L para aceite de oliva virgen extra. En los mercados exteriores, no productores de aceite de oliva, las diferencias de precio son mucho mayores.

Por lo tanto, el consumidor ha de tener algún elemento más para decidirse a comprar aceite de oliva. En las zonas de producción, la cultura alimentaria compensa en parte esa diferencia de precio. Así vemos como en España, con las diferencias de precio expresadas, el aceite de oliva supone el 66.7 % del consumo de aceites vegetales. Pero en otros países y también en España para los no consumidores, se necesitan otros elementos para animar el consumo de aceite de oliva. Estos pueden ser sus propiedades organolépticas (sabor y olor) y sus efectos sobre la salud. Elementos ambos muy ligados.

Respecto al sabor en el aceite de oliva virgen, se definen tres atributos positivos: frutado, amargo y picante. Pero para los consumidores no habituados, picor y amargor son cualidades negativas cuando son intensas. Por eso algunas variedades de sabor más intenso, intenso, como la Picual, son difíciles de introducir en nuevos consumidores, que aceptan mejores variedades más suaves como la Arbequina; tal vez por esa razón, entre otras, se ha extendido tanto esta variedad en las recientes plantaciones.

Composición de Aceites y Aspectos Nutrimientales

Dentro de la alimentación "las grasas y los aceites" cumplen una función muy importante. Con el término "grasa" se designan todas las grasas sólidas, y por aceite a las grasas líquidas a temperatura ambiente; siendo ambos nutrientes los representantes más importantes de los lípidos en la alimentación.

Las grasas y aceites representan la fuente principal de energía procedente de los alimentos, garantizan la absorción y transporte de las vitaminas A, D, K, E, y de sustancias con actividad antioxidante, como los carotenoides y compuestos fenólicos, que se encuentran disueltas en ellas.

La mayor proporción de grasas y aceites que consumimos están compuestas por triglicéridos, y éstos a su vez por ácidos grasos que pueden ser una combinación de saturados, monoinsaturados y poliinsaturados. Si bien los alimentos grasos contienen diferentes tipos de ácidos grasos, se caracterizan por presentar mayor concentración de alguno de ellos. Así, las grasas de origen animal, tales como: mantequilla, carnes grasosas, leche completa, quesos grasosos, tocino, fiambres o embutidos, crema de leche, contienen principalmente ácidos grasos saturados y su consumo en exceso se asocia con la aparición y desarrollo de la obesidad, la diabetes y la enfermedad cardiovascular (ECV).

Por el contrario, las grasas constituidas predominantemente por ácidos grasos insaturados (monoinsaturados y poliinsaturados) tienen efectos beneficiosos en la salud. Así tenemos que la principal fuente alimentaria de los ácidos grasos monoinsaturados en los alimentos es el aceite de oliva y la de los ácidos grasos poliinsaturado, son los pescados, que ayudan a prevenir las enfermedades cardiovasculares.

Entre los ácidos grasos poliinsaturados se destacan, el linoleico (omega 6) y el linolénico (omega 3), ácidos grasos esenciales, los cuales deben ser ingeridos en la dieta porque el organismo no puede producirlos. Estos ácidos grasos son especialmente importantes para el crecimiento y desarrollo normal del feto y de los lactantes, y en particular, para el desarrollo del cerebro y de la agudeza visual. Por lo tanto, las mujeres deben consumir suficientes ácidos grasos esenciales durante la gestación y la lactancia. La fuente principal del ácido linolénico (omega 3), son los aceites de semillas como el de ajonjolí, de girasol, el maíz, la soja, así como las almendras

y el aguacate vegetales; y del ácido linoleico (omega 6), frutos secos, germen de trigo, cereales, semillas, los aceites de girasol, maíz, soja entre otros.

Otro tipo de grasa que se debe de conocer, son las llamadas grasas *trans*, las cuales son insaturadas de origen vegetal pero que se han "saturado parcialmente" (hidrogenado) de forma industrial para la fabricación de alimentos. El producto resultante es una grasa "menos saturada", con una configuración química distinta de las grasas naturales, que la convierte en no apropiadas para la salud. Ellas son más dañinas que los ácidos grasos saturados, ya que no sólo aumentan la concentración del colesterol total, y LDL sino disminuyen las HDL aumentando el riesgo de enfermedad cardiovascular. (Somovilla, O. 2016)

Triacilglicéridos

Los triglicéridos son lípidos (grasas), al igual que el colesterol y los fosfolípidos. Los triglicéridos son la forma ideal para el almacenamiento de energía en nuestro organismo. Un hombre adulto y delgado tiene unos 15 kg de triglicéridos, lo que representa un depósito de energía suficiente como para vivir tres meses sin comer.

El lugar donde se almacenan se llama tejido adiposo y, además de servir como depósito, tiene otras funciones importantes. Por ejemplo, debido a que los triglicéridos son líquidos a temperatura ambiente, las capas de grasa alrededor de algunos órganos, como los riñones, actúan como una especie de almohadón líquido que proporciona una importante protección; también el tejido adiposo subcutáneo determina que el aspecto físico de una mujer y el de un hombre y actúa como una capa aislante térmica. (Fabiani F., 2000)

Ácidos Grasos

Los ácidos grasos son ácidos monocarboxílicos de cadena larga. Por lo general, contienen un número par de átomos de carbono, normalmente entre 12 y 24. Ello se debe a que su síntesis biológica tiene lugar mediante la aposición sucesiva de unidades de dos átomos de carbono. Sin embargo, también existen ácidos grasos con un número impar de átomos de carbono, que probablemente derivan de la metilación de un ácido graso de cadena par.

Las propiedades químicas de los ácidos grasos derivan, por una parte, de la presencia de un grupo carboxilo, y por otra parte de la existencia de una cadena hidrocarbonada. La coexistencia de ambos componentes en la misma molécula convierte a los ácidos grasos en

moléculas débilmente anfipáticas (el grupo COOH es hidrofílico y la cadena hidrocarbonada es hidrofóbica). El carácter anfipático es tanto mayor cuanto menor es la longitud de la cadena hidrocarbonada. La solubilidad en agua decrece a medida que aumenta la longitud de la cadena.

El grupo carboxílico de la molécula convierte al ácido graso en un ácido débil (con un pKa en torno a 4,8). También presenta las reacciones químicas propias del grupo COOH: esterificación con grupos OH alcohólicos, formación de enlaces amida con grupos NH₂, formación de sales (jabones), etc. El grupo COOH es capaz de formar puentes de hidrógeno, de forma que los puntos de fusión de los ácidos grasos son mayores que los de los hidrocarburos correspondientes.

Según la naturaleza de la cadena hidrocarbonada, distinguimos tres grandes grupos de ácidos grasos: ácidos grasos saturados, ácidos grasos insaturados y derivados de ácidos grasos (Rodríguez, M. y Cols., 2005)

Fosfolípidos

Los Fosfolípidos son lípidos anfipáticos, que se encuentran en todas las membranas celulares, disponiéndose como bicapas lipídicas. Pertenecen al grupo de lípidos derivados del glicerol, presentando una estructura similar a la de los triglicéridos. El interés actual sobre ellos deriva en su eficacia para incorporar diferentes ácidos grasos a nivel de la membrana celular, ya que presentan una mejor absorción y utilización que los triglicéridos. Torres y Cols., en el 2015, dieron a conocer los beneficios de los fosfolípidos sobre procesos inflamatorios, cáncer, enfermedades cardiovasculares, trastornos neurológicos, enfermedades hepáticas y como transportador de antioxidantes.

Tocoferoles

En 1922, Evans y Bishop reconocieron la existencia de un factor esencial para la reproducción en la dieta de animales. Este factor fue denominado Vitamina E, se le llamo adeinas tocoferol (tocos: nacimiento, phero: traer), debido a sus propiedades anti estériles en la rata.

Aún cuando desde 1937 se conocen sus propiedades antioxidantes, la investigación estuvo relacionada fundamentalmente a los órganos y funciones de la reproducción, y solo en los últimos años ha empezado a tomar importancia el estudio de su función en la nutrición humana.

Se han descrito varios síndromes por deficiencia en el contenido de tocoferoles, tanto en animales como en el hombre; el exceso de Vitamina E es un tema en estudio actualmente y aun cuando no parece tener efectos nocivos a corto plazo, no se conocen sus efectos a largo plazo.

El tocoferol es el compuesto principal de esta vitamina, corresponde químicamente a un derivado metil-6-hidroxicromano, con una cadena alifática de 16 carbonos lateral. El compuesto natural más activo es el δ -alfatocoferol, pero existen en forma natural diversos compuestos dependientes de la posición del metilo en el anillo cromano y de la cadena lateral en donde, esta última es la responsable de sus propiedades liposolubles (Bravo, M. 1998).

Esteroles

Los esteroides vegetales o fitoesteroides son derivados de plantas con estructuras similares y funciones análogas al colesterol de los vertebrados. Como sabemos, el colesterol es el esteroide predominante en animales y desempeña importantes funciones en el organismo: es el precursor de la síntesis de diversas hormonas esteroideas, sirve para estabilizar las membranas celulares y, en forma de ésteres de colesterol (usualmente asociados con triacilglicéridos), participan en los procesos de transporte/almacenamiento de lípidos. Las membranas de las plantas contienen poco o nada de colesterol, pero presentan varios tipos de esteroides vegetales. En general, se cree que estas sustancias actúan como componentes estructurales de las membranas vegetales a la vez que sirven de intermediarios para la biosíntesis de celulosa y numerosos productos vegetales secundarios, como los alcaloides, entre otros.

Los esteroides vegetales son miembros de la familia de los triterpenos, su estructura es similar a la del colesterol, pero incluye un grupo metilo o etilo en el C-24. Dentro del grupo de los esteroides vegetales encontramos dos categorías o subgrupos, los esteroides, con un doble enlace en posición 5, y los estanoles que no cuentan con dicho doble enlace, es decir, con una reducción en dicho carbono. Los esteroides pueden ser convertidos a estanoles por hidrogenación química. Cabe destacar que dado que normalmente los estanoles son mucho menos abundantes que los esteroides, cuando se habla en términos generales de esteroides vegetales se suele hacer referencia a estos últimos.

Se han descrito más de 200 tipos diferentes de esteroides vegetales en diferentes especies de plantas, siendo el más abundante el sitosterol o β -sitosterol, seguido por el campesterol y el estigmasterol. Las dos categorías de esteroides vegetales se reflejan en los nombres de los

compuestos. Por ejemplo, el sitosterol es estructuralmente idéntico al sitostanol, excepto por el doble enlace en posición 5, y lo mismo ocurre con el campesterol y el campestanol. La complejidad de los esteroides vegetales incrementa debido a la asimetría estérica que presentan, ya que la adición de grupos alquilo en la cadena lateral resulta en la aparición de un carbono asimétrico, aunque generalmente la estequiometría no se ha tenido en cuenta en los estudios sobre esteroides vegetales.

En la naturaleza, además de en la forma libre, los esteroides vegetales pueden aparecer como compuestos “conjugados”, en los cuales el grupo 3β -OH del esteroide está esterificado por ácidos grasos, ferulato o ácido ferúlico (potente antioxidante semejante a la vitamina E y C), o bien glicosilados. Los ésteres con ácidos grasos están presentes en la mayoría de las plantas y constituyen cerca del 50% del total de esteroides en algunos alimentos, como el aceite de maíz; por su parte, los ésteres de ferulato también aparecen en cantidades apreciables en muchos alimentos, mientras que los esteroides vegetales glicosilados son un componente minoritario en los alimentos vegetales, salvo algunas excepciones, ya que constituyen el 82% del total de los esteroides vegetales de las papas. Al contrario que los esteroides o estanoles libres, que son cristalinos y muy poco liposolubles, las formas esterificadas se disuelven fácilmente en alimentos que contengan grasa.

Aspectos Relevantes del Freído

La cocción es la forma más importante de preparación de alimentos y se realiza utilizando el calor. Los procesos de cocción mejoran la calidad higiénica de los alimentos por la inactivación de microorganismos patógenos, desarrollan características organolépticas agradables a través de las reacciones de pardeamiento no enzimático y pueden aumentar la digestibilidad y biodisponibilidad de los nutrientes en el tracto digestivo. Las altas temperaturas y la presencia de agua, aceite y/o aire caliente causa varias transformaciones de los componentes de los alimentos durante el procesamiento: reacciones hidrolíticas y de interesterificación, pardeamiento enzimático y no enzimático, oxidación, degradación del aceite durante la fritura, formación de sabor o percepción olfato-gustativa, degradación de los pigmentos naturales y formación de compuestos coloreados (Frankel, 1998).

El proceso de frituras ya se utilizaba desde los años 1600 a.C. como método de preparación de alimentos, se encuentra asociada al empleo de los primeros recipientes o utensilios para la cocción de los alimentos. Como en el recipiente se retienen los jugos liberados

y la grasa derretida del alimento, éste se cocina sumergido en los mismos, formándose una cobertura crujiente sobre su superficie y resultando así con un agradable sabor y textura. Actualmente, la aceptación de los alimentos fritos es universal y se disfruta en todas las culturas del mundo. El proceso de fritura se puede definir como la cocción y deshidratación de alimentos por inmersión en un medio caliente, el aceite. Este proceso además de transmitir calor influye en las propiedades organolépticas del alimento frito. El proceso de fritura está influenciado por varios factores:

- El proceso en sí mismo, que depende de la temperatura de cocción, el tiempo de permanencia del alimento en la freidora y el sistema usado, continuo o discontinuo.
- La materia grasa empleada: es de gran importancia su composición química y calidad inicial, presencia de antioxidantes naturales o sintéticos, otros aditivos y contaminantes que puedan afectar al proceso o que puedan tener un efecto sobre la palatabilidad, digestibilidad o utilización metabólica del alimento frito.
- El alimento: cada tipo tiene una composición determinada y un proceso de fritura característico. Es importante conocer las relaciones: masa de alimento/volumen del medio de fritura y superficie/volumen del alimento, para determinar la extensión de la penetración del medio de fritura en el mismo.

Este proceso de cocción, debido a las altas temperaturas utilizadas, influye directamente sobre los componentes termolábiles del alimento e indirectamente en la interacción entre los diferentes nutrientes en el alimento y de esos nutrientes con el medio de fritura usado:

- En profundidad: los alimentos se sumergen en el baño de materia grasa caliente.
- Salteado: se emplea una pequeña cantidad de grasa o aceite en un sartén.
- Rostizado: cocción de alimentos ricos en proteína en horno o plancha con agregado mínimo de materia grasa.

El interés por las modificaciones que sufren las grasas de fritura durante el proceso de termo oxidación y sus efectos nutricionales y toxicológicos está justificado por la creciente utilización de los procesos de fritura en la preparación de alimentos. Por otra parte, las materias grasas desechadas para el consumo humano, luego de su utilización se emplean frecuentemente en nutrición animal, lo que añade interés a su estudio. Existe un gran contraste entre el elevado número de trabajos realizados con grasas calentadas a altas temperaturas en ausencia de

alimento, empleando modelos de simulación y el escaso número de los que describen los efectos de materias grasas que se han utilizado en fritura de alimentos.

Por otra parte, la influencia del consumo de alimentos fritos o de materias grasas empleadas en fritura sobre la ingesta, utilización y evolución ponderal en animales de experimentación encontrada en publicaciones científicas resulta controvertida en extremo (Juarez. D y Cols., 2007)

Temperatura

Las características del aceite utilizado son cruciales para la calidad y rendimiento del producto, al igual que el tiempo y la temperatura de cocción. Una de las características de los aceites es la presencia de ácidos grasos insaturados (mono y poliinsaturados), que desde el punto de vista nutricional son mucho más adecuados para el proceso de fritura; pero, presentan desventajas por su inestabilidad, ya que a mayor grado de insaturación son menos estables al efecto de la temperatura.

Durante el proceso de fritura la temperatura puede superar los 180°C, lo que deteriora seriamente la composición química del aceite si éste es muy insaturado. Se forman productos de oxidación que son potencialmente tóxicos cuando su consumo es agudo, y muy dañinos para la salud cuando se les ingiere en forma crónica.

Un aceite alterado térmicamente también puede afectar las características organolépticas del alimento sometido a fritura. En general, el contenido de ácidos grasos insaturados en el aceite disminuye con la fritura (Suaterna, 2009; Alireza y Cols., 2010).

Liu y Cols. aboradores (2007) observaron pérdidas importantes en los principales ácidos grasos del aceite de soya; proponen que esto se debe a que producen moléculas oxidadas como peróxidos, cetonas, aldehídos y alcoholes, que son tóxicos para las células.

El uso de grasas de origen animal o de aceites vegetales hidrogenados está fuera de toda recomendación nutricional, debido al riesgo potencial para la salud que significa el consumo de ácidos grasos saturados y con isomería *trans*. Por esas razones muchos países, recomiendan evitar o restringirlos en procesos de fritura o calentamiento.

La importancia del aceite utilizado en la fritura es determinante tanto desde el punto de vista de la calidad degustativa y de la calidad nutricional del calentamiento resultante.

Idealmente, el mejor aceite para fritura debería ser un producto que no se deteriore por el calor aplicado en forma continua o intermitente, que no imparta mal sabor u olor al producto que se fríe y que no tenga los efectos negativos desde el punto de vista nutricional atribuidos a los ácidos grasos saturados e hidrogenados (Choe y Min 2007; Aguirre y Cols., 2010; Rojas y Narváez, 2011).

Tiempo

El tiempo de fritura es un factor principal que aumenta la absorción de aceite. Se encontró una correlación entre tiempo y temperatura al momento de freír, por lo tanto, es común encontrar que a mayor temperatura menor es el tiempo de fritura. Un incremento en el tiempo de fritura produce una mayor alteración del aceite y del alimento que se fríe. Además, el tiempo del calentamiento del aceite disminuye su estabilidad y se producen diferentes compuestos tóxicos. (Montes, N. y Cols., 2016).

Compuestos Formados Durante el Freído

Durante la etapa de propagación de la oxidación se generan hidroperóxidos, que por ser muy reactivos, propician otras transformaciones, como su ruptura y la consecuente producción de nuevos radicales, que alimentan la reacción, estos mecanismos forman compuestos como hexanal, heptanal, octanal, nonanal, undecanal, 2-nonenal, 2-decenal, 2-undecenal, 3-hexanal, 4-decenal, 2,3-nonadienal, 2,4-decadienal, 1-buten-3-ona, y muchos otros que son los responsables de los olores típicos de las grasas que han sufrido la reacción de autooxidación.

Además de la autooxidación, los ácidos grasos, saturados o insaturados, pueden sufrir reacciones de descomposición al ser sometidos a temperaturas elevadas, en presencia o e ausencia de oxígeno.

La degradación de los ácidos saturados con oxígeno implica a formación de monohidroxiperóxidos de ciertos olores característicos, algunas de estas son semejantes a las que se identifican en las reacciones de oxidación (Pereyra M, y Cols., 2009).

Aspectos Nutrimientales de los Compuestos Formados en el Freído

Dentro de la alimentación "las grasas y los aceites" cumplen una función muy importante. Con el término "grasa" se designan todas las grasas sólidas, y por aceite a las grasas líquidas a temperatura ambiente; siendo ambos nutrientes los representantes más importantes de los lípidos en la alimentación.

Las grasas y aceites representan la fuente principal de energía procedente de los alimentos, garantizan la absorción y transporte de las vitaminas A, D, K, E, y de sustancias con actividad antioxidante, como los carotenoides y compuestos fenólicos, que se encuentran disueltas en ellas.

La mayor proporción de grasas y aceites que consumimos están compuestas por triglicéridos, y éstos a su vez por ácidos grasos que pueden ser una combinación de saturados, monoinsaturados y poliinsaturados. Si bien los alimentos grasos contienen diferentes tipos de ácidos grasos, se caracterizan por presentar mayor concentración de alguno de ellos. Así, las grasas de origen animal, tales como: mantequilla, carnes grasosas, leche completa, quesos grasosos, tocino, fiambres o embutidos, crema de leche, contienen principalmente ácidos grasos saturados y su consumo en exceso se asocia con la aparición y desarrollo de la obesidad, la diabetes y la enfermedad cardiovascular (ECV).

Por el contrario, las grasas constituidas predominantemente por ácidos grasos insaturados (monoinsaturados y poliinsaturados) tienen efectos beneficiosos en la salud. Así tenemos que la principal fuente alimentaria de los ácidos grasos monoinsaturados en los alimentos es el aceite de oliva y la de los ácidos grasos poliinsaturado, son los pescados, que ayudan a prevenir las enfermedades cardiovasculares.

Entre los ácidos grasos poliinsaturados se destacan, el linoleico (omega 6) y el linolénico (omega 3), ácidos grasos esenciales, los cuales deben ser ingeridos en la dieta porque el organismo no puede producirlos. Estos ácidos grasos son especialmente importantes para el crecimiento y desarrollo normal del feto y de los lactantes, y en particular, para el desarrollo del cerebro y de la agudeza visual. Por lo tanto, las mujeres deben consumir suficientes ácidos grasos esenciales durante la gestación y la lactancia. La fuente principal del ácido linolénico (omega 3), son los aceites de semillas como el de ajonjolí, de girasol, el maíz, la soja, así como las almendras

y el aguacate vegetales; y del ácido linoleico (omega 6), frutos secos, germen de trigo, cereales, semillas, los aceites de girasol, maíz, soja entre otros (María Isabel Giacopini 2010).

Caracterización Física y Química de Aceites

Las grasas alimentarias incluyen todos los lípidos de los tejidos vegetales y animales que se ingieren como alimentos. Las grasas (sólidas) o aceites (líquidos) más frecuentes son una mezcla de triacilglicéridos (triglicéridos) con cantidades menores de otros lípidos. Los ácidos grasos presentes en varias moléculas de lípidos constituyen la parte con mayor interés nutritivo.

Ácidos grasos. Dentro de éstos los más abundantes presentan cadenas lineales con un número par de átomos de carbono. Existe un amplio espectro de longitudes de cadena, que varían entre un ácido graso de la leche con cuatro átomos de carbono, y los ácidos grasos de algunos aceites de pescado, con 30 átomos de carbono. Son frecuentes los ácidos grasos con 18 átomos de carbono. Los dobles enlaces situados en la cadena de carbonos o los sustituyentes de esta se designan químicamente asignando al carbono del grupo carboxilo la posición uno. Así, los dobles enlaces del ácido linoleico le proporcionan el nombre químico sistemático de ácido 9,12-octadecadienoico. Una abreviatura taquigráfica para designar el ácido linoleico sería 18:2 (18 átomos de carbono: dos dobles enlaces). Su último doble enlace se encuentra a seis átomos de carbono del metilo terminal, una característica importante para algunas enzimas. Este ácido se considera un ácido graso n-6 ó w 6.

Los dobles enlaces de los ácidos grasos están en configuración *cis*. El primer miembro de la serie n-6 de los ácidos grasos es el ácido linoleico, y el primer miembro de la serie n-3 es el ácido α -linolénico (ácido 9, 12, 15-octadecatrienoico). Los ácidos grasos poliinsaturados n-6 y n-3 presentan dobles enlaces en *cis* separados por grupos metileno. Un doble enlace puede cambiar de configuración *cis* a *trans* (isomerización geométrica), o bien puede desplazarse a otra posición de la cadena de carbonos (isomerización posicional). El perfil de un ácido graso en *trans* es similar al de un ácido graso saturado. Como resultado de esto, los ácidos grasos en *trans* presentan puntos de fusión más elevados que sus isómeros en *cis*. El isómero en *trans* puede considerarse como un intermedio entre el ácido graso insaturado en *cis* original, y un ácido graso completamente saturado.

Acilglicéridos. El tipo de ácido graso y la posición en la cual se esterifica a glicerol determinan las características de los acilglicéridos. Además de los glicéridos que presentan tres

ácidos grasos esterificados, los diacilglicéridos (diglicéridos) y los monoacilglicéridos (monoglicéridos) también están presentes en los alimentos crudos o en los ingredientes de los alimentos.

Las grasas de reserva de origen animal tienden a presentar un ácido graso saturado en la posición uno y un ácido graso insaturado en la posición dos. Los ácidos grasos de la posición tres parecen presentar una distribución fortuita, aunque con frecuencia aquí se acumulan ácidos grasos poliinsaturados.

Fosfolípidos. Los fosfolípidos son componentes de la membrana que están presentes en los alimentos y aceites obtenidos por extracción. Normalmente, en la posición uno se esterifica un ácido graso saturado, y en la posición dos un ácido graso poliinsaturado. Los grupos polares que contienen fósforo y una base orgánica proporcionan a la molécula lipídica una región hidrofílica. Además de los fosfoglicéridos, los fosfolípidos incluyen esfingomielinas y cerebrósido, que se basan en la esfingosina en lugar del glicerol. Aunque los fosfolípidos constituyen sólo una pequeña fracción de la grasa total de la dieta, pueden constituir una fuente importante de ácidos grasos esenciales.

Componentes no glicéridos. La creciente constatación de la importancia de los componentes no glicéridos de los ácidos grasos, algunas veces denominados «constituyentes menores», obligó a incluir este tema en la consulta de expertos. Los componentes no glicéridos sólo son componentes menores en lo que se refiere a su concentración con respecto a los triacilglicéridos. La nueva información sobre estos constituyentes de las grasas procede de las mejoras en la capacidad de analizarlos y de los estudios de sus propiedades.

Vitamina E. La vitamina E consiste en una mezcla de fenoles liposolubles caracterizados por una cabeza aromática de cromanol y una cadena lateral de 16 átomos de carbono. Los tocoferoles tienen una cola de hidrocarburo saturada, mientras que los tocotrienoles son sus análogos farnesilados y presentan una cola isoprenoide insaturada. El número y posición que los grupos metilo ocupan en el anillo de cromanol da lugar a los diferentes α -, β -, γ -, y δ -tocoferol y a los isómeros del tocotrienol.

Los aceites vegetales y los productos elaborados con ellos contienen normalmente grandes cantidades de tocoferol, especialmente los isómeros α , β y γ . Además, algunos aceites vegetales, especialmente el aceite de palma (Qureshi y Cols., 1991a) y el aceite de salvado de

arroz (Rogers y Cols., 1993), son fuentes muy ricas de tocotrienoles con una débil actividad como vitamina E, pero que actúan como antioxidantes y proporcionan estabilidad contra la oxidación.

Carotenoides. Los carotenoides son hidrocarburos liposolubles altamente insaturados derivados del poliisopreno. Se sabe que en las grasas animales y vegetales están presentes más de 75 carotenoides diferentes. Los más frecuentes son los carotenos α , β y γ , la licopina, la luteína y las xantofilas. Los carotenoides y sus derivados son normalmente los que dan el color amarillo a rojo intenso a las frutas, hortalizas, cereales y aceite de palma bruto. Los carotenoides son los precursores de la vitamina A, presentando el β -caroteno la mayor actividad de provitamina A.

Vitaminas A y D. Una fuente tradicional de vitamina A es la grasa de la mantequilla. Los aceites de pescado constituyen la fuente normal de vitamina D. Las margarinas, que se enriquecen con vitaminas A y D por exigencias legales en la mayoría de los países, también contribuyen de forma importante a asegurar una ingestión adecuada de estos nutrientes.

Otros componentes: Esteroles. El colesterol es el principal esteroles de los productos animales. Los principales esteroides de las plantas son el β -sitosterol, el campesterol y el estigmasterol, aunque se sabe que existen algunos otros (Formo y Cols., 1979); las cadenas laterales del colesterol y de algunos esteroides de las plantas, se encuentran en forma libre o bien esterificados con otros compuestos como los ácidos grasos, los glucósidos o el ácido ferúlico (oxizanol). El contenido de esteroles de las grasas y aceites alimentarios oscila entre el 0,01 y el 2 por ciento (Itoh, Tamura y Matsumoto, 1973a).

Alcoholes derivados del metilesterol y del triterpeno. Los esteroides metilados en la posición OH-4 están presentes en los aceites vegetales comunes en concentraciones del 0,01 al 0,4 por ciento, presentando el aceite de salvado de arroz y el aceite de sésamo los niveles más elevados (Itoh, Tamura y Matsumoto, 1973b). Las correspondientes concentraciones de alcoholes triterpénicos, incluidos los de cinco anillos de ciclohexano condensados, son del 0,01 al 1,2 por ciento. El aceite de salvado de arroz es el único que se encuentra en el nivel superior.

Escualeno. El hidrocarburo predominante en las grasas alimentarias es el escualeno. Es un intermediario en la síntesis del esteroles a partir del acetato, y se encuentra en cantidades particularmente elevadas en algunos aceites de pescado y en el aceite de oliva. En la mayoría de los aceites vegetales, la concentración se encuentra por debajo de 30 mg/100 g (Formo y Cols., 1979).

Orizanoles. Los orizanoles son compuestos que constan de ácido ferúlico esterificado con varios esteroides vegetales y con alcoholes triterpénicos. Aunque se encuentran grandes cantidades en el salvado de arroz crudo y en el aceite de linaza, los orizanoles no se encuentran ampliamente distribuidos en otros aceites (OMS, 1997).

Antioxidantes Naturales y Sintéticos

Un antioxidante dietético es una sustancia que forma parte de los alimentos de consumo cotidiano y que puede prevenir los efectos adversos de especies reactivas sobre las funciones fisiológicas normales de los humanos (Patthamakanokporn, O. 2008).

Las propiedades antioxidantes no sólo deben estudiarse por sus interacciones químico-biológicas, sino por su función en el deterioro oxidativo que afecta a los alimentos (Pastene, E. 2009). Los antioxidantes se utilizan en la industria alimentaria adicionados a las grasas u otros productos para retrasar los procesos de oxidación, en tanto previenen el comienzo de la rancidez oxidativa (grasas) (Llancari, A. 2011).

En el mercado se ofrece una variedad de antioxidantes sintéticos y naturales con distintas eficiencias. El uso de antioxidantes no solo permite mantener la calidad normal del producto, sino también extender su vida útil. Se han utilizado muchas sustancias con este fin tanto sintéticas (BHT, BHA, TBHQ, galatos etc.), como naturales (vitamina C, vitamina E, extracto de romero, etc.)

El BHA es una sólida cera blanca que se vende en hojuelas o en forma de tableta. Es efectivo en grasas animales, pero relativamente inefectivo en aceites vegetales. Provee un buen acarreo (propiedad que tiene un antioxidante al ser agregado al alimento de sobrevivir al proceso de fritura o de horneado y luego seguir protegiendo al producto terminado contra la oxidación), especialmente en productos horneados que usan grasas animales. Este es altamente soluble en lípidos, pero insoluble en agua (Llancari, A. 2011).

El BHT es un sólido cristalino blanco, con propiedades similares a la del BHA, al igual que el BHA tiene buena efectividad en grasas animales, pero no es efectivo en aceites vegetales. El BHT provee un buen sinergismo en combinación con BHA. El BHT, es el más barato de los antioxidantes comunes, por lo que es muy usado industrialmente.

El TBHQ es un polvo de blanco a pardo claro, que exhibe un destacado efecto estabilizador en las grasas insaturadas, en especial de los aceites vegetales poliinsaturados y de las grasas animales comestibles. El TBHQ es también aplicable a los aceites esenciales, frutos secos, grasas animales no comestibles, grasa láctea y material para envasar alimentos, como el papel cristal y la parafina (Elmadfa y Cols., 2011).

El propil galato es un sólido cristalino blanco que proporciona buena estabilidad a los aceites vegetales y grasas animales. Este tiene una pobre solubilidad en grasas y poca solubilidad en agua; cuando es combinado con BHA o BHT provee un buen sinergismo. Posee poca resistencia al calentamiento, es sensible al calor y se descompone a 148 °C, resultando en un pobre acarreo después de los procesos de fritura u horneado. Una preocupación más con el propil galato es que puede formar complejos coloreados de color azul oscuro, con iones metálicos como el hierro o el cobre y como consecuencia hacen poco atractivos a los alimentos. Este puede ocasionar efectos adversos en la apariencia de grasas o aceites o productos alimenticios que contengan lípidos (Elmadfa y Cols., 2011).

Compuestos Volátiles

La generación de compuestos volátiles en los aceites se lleva a cabo por la reacción de Maillard, que se producen cuando los alimentos se someten a distintos tratamientos con el fin de prepararlos o conservarlos. El esquema global de esta reacción tiene lugar con los aminoácidos y azúcares reductores como precursores. Las diferentes etapas conducen, por una parte, a la formación de compuestos volátiles que constituyen el aroma propiamente dicho; y, por otra, a la formación de pigmentos pardos, los melanoidinos, esto en el proceso de oxidación de los aceites en la cocción el cual se lleva a cabo de la siguiente forma:

La remoción de iones hidrógeno de los ácidos grasos poliinsaturados causada por los radicales libres inicia una reacción catalítica en cadena, que puede generar más de 60 productos volátiles finales, muchos de los cuales son tóxicos. En este proceso un hidrógeno alílico es extraído de la cadena lipídica de un ácido graso (fase de iniciación) por influencia de factores como alta temperatura, humedad, presencia de iones metálicos oxidantes e incidencia directa de luz (Partanen y Cols., 2005; Scrimgeour, 2005; Sutton y Cols., 2006). El radical libre resultante actúa como iniciador de una cadena de reacciones que generan más radicales libres, que al entrar en contacto con el oxígeno atmosférico dan lugar a compuestos indicadores de la oxidación primaria (peróxidos).

Estos compuestos primarios contribuyen a la separación de un hidrógeno alílico de las cadenas de otros ácidos grasos insaturados, lo que fomenta la formación de hidroperóxidos (fase de propagación) hasta que dos radicales de cualquier tipo se combinan para formar un producto no radicalario; sin embargo, esto está limitado inicialmente por el pequeño número de radicales presentes en el sistema (fase de finalización) (Aidos y Cols., 2003).

Los hidroperóxidos sufren finalmente una ruptura en la que se generan los compuestos secundarios de la oxidación lipídica, como aldehídos, cetonas, alcoholes y polímeros (Lewis-McCrea y Lall, 2007); además de tener acción citotóxica, son los responsables de sabores y olores anormales en el aceite y los alimentos que mantienen contacto con el mismo. Asimismo, ocasionan una disminución del contenido de ácidos grasos, principalmente insaturados (Aidos y Cols., 2003).

Debido a que muchos de los compuestos generados durante la fase de finalización son muy volátiles, su concentración en los productos puede empezar a decrecer con el tiempo dependiendo del contenido graso y de las condiciones de almacenamiento y empaque (Herrera, 2005).

Una vez iniciada la cadena de oxidación, la formación de compuestos oxidados continúa, hasta que los ácidos grasos ya no están disponibles o hasta que se presente la adición de antioxidantes, los cuales previenen la oxidación porque se combinan preferencialmente con los radicales libres para formar moléculas menos reactivas en lugar de los ácidos grasos. Es importante mencionar que los antioxidantes no revierten los efectos una vez que los productos de la oxidación se han formado (Landines y Zambrano, 2009).

Por este tipo de reacciones es posible que la mayor parte de ácidos grasos insaturados que son ingeridos mediante la dieta no cumplan con su función principal; por lo tanto, más que realizar una función que se cree benéfica al cuerpo humano, es perjudicial al mismo, y se ocasionen problemas cardiovasculares por la acumulación masiva de lipoproteínas tanto de alta como de baja densidad (HDLP y LDLP, por sus siglas en inglés) en el organismo (Sáyago-Ayerdi y Cols., 2008; Gharachorlo y Cols., 2010; Ariza y Cols., 2011)

Aldehídos y cetonas

Los aldehídos y cetonas son compuestos caracterizados por la presencia del grupo carbonilo (C=O) también conocidas como funciones de segundo grado de oxidación según asegura Klein,

2013). Los aldehídos presentan el grupo carbonilo en posición terminal mientras que las cetonas lo presentan en posición intermedia, siendo el primer miembro de la familia química de los aldehídos es el metanal o formaldehído (aldehído fórmico), mientras que el primer miembro de la familia de las cetonas es la propanona o acetona (dimetil acetona).

Los aldehídos y cetonas se comportan como ácidos debido a la presencia del grupo carbonilo, esto hace que presenten reacciones típicas de adición nucleofílica (Klein, 2013). Una de las diferencias que presentan entre los aldehídos y cetonas es que los aldehídos se oxidan con facilidad frente a oxidantes débiles produciendo ácidos, mientras que las cetonas sólo se oxidan ante oxidantes muy enérgicos que puedan romper sus cadenas carbonadas. Es así que las reacciones de oxidación permiten diferenciar los aldehídos de las cetonas en el laboratorio de análisis químico. Con base en lo anterior se puede decir, que muchos aldehídos y cetonas forman parte de los aromas naturales de flores y frutas, por lo cual se emplean en la perfumería para la elaboración de aromas así como también pueden ser empleados como elementos aromatizantes y saborizantes dentro de la industria de alimentos, extraídos de la misma naturaleza, por otro lado, múltiples compuestos de este tipo son empleados en la síntesis de fármacos y productos de cosmética, por esta razón la presente investigación se centra en el sector de las industrias alimentarias, agroindustriales y de la salud (Aguirre, A. 2018)

Compuestos No Volátiles: Hidroperóxidos de Triacilglicéridos

Los hidroperóxidos son generados de igual manera en el proceso de oxidación de los ácidos grasos como fue descrito en el apartado anterior en el proceso de propagación.

En esta etapa se generan hidroperóxidos, que, por ser muy reactivos, propician otras transformaciones, como su ruptura y la consecuente producción de nuevos radicales, que alimentan la reacción. Estos mecanismos forman compuestos como hexanal, heptanal, octanal, nonanal, undecanal, 2-nonenal, 2-decenal, 2-undecenal, 3-hexenal, 4-decenal, 2,3-nonadienal, 2,4-decadienal, 1-buten-3-ona, y muchos otros que son los responsables de los olores típicos de las grasas que han sufrido la reacción de autoxidación.

El problema de los hidroperóxidos radica en que estos continúan uniéndose a otras moléculas insaturadas para seguir generando compuestos, las cuales en algún momento de ingesta excesiva podrían unirse a la membrana celular para estabilizarse y así causar un problema a nivel celular (Pereyra M., 2009; Schaich, K. 2005).

METODOLOGÍA

Muestras

En la presente investigación se utilizaron tres aceites diferentes: Aceite de soya, canola y cártamo alto en oleico, los cuales no tenían más de un mes de haber sido procesados y correspondían al mismo lote. Las papas que se utilizaron en el freído fueron adquiridas en una casa comercial local y correspondieron al mismo lote, con dimensiones de 4 x 1 centímetros, aproximadamente (largo x ancho). Tanto los aceites como las papas se conservaron a -20°C, antes de ser utilizadas en los ensayos.

Caracterización Físicoquímica de los Aceites

Valor de Peróxidos

La determinación de los compuestos primarios de la oxidación se realizó mediante el método de determinación del valor de peróxidos (A.O.C.S. Cd 8-53).

Valor de *p*-anisidina

La determinación de los compuestos secundarios de la oxidación se realizó mediante el método de determinación del valor de *p*-anisidina (A.O.C.S. Cd 18-90)

Perfil de Ácidos Grasos

Esta medición se llevó a cabo en un cromatógrafo de gases Varian 3800CX y consiste en la separación cuantitativa de mezclas de ácidos grasos saturados e insaturados con un número de carbonos de 8 hasta 24, después de su conversión a metil esteres mediante el método Ce 2-66 del A.O.C.S.

Cuantificación de Tocoferoles

La técnica utilizada para la cuantificación de tocoferoles fue cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), utilizando un cromatógrafo (Varian 9050), equipado con un detector de luz ultravioleta (Varian 3400) y una columna Lichrosorb Si60 (25 cm x 4.6 mm x 5µ de tamaño de partícula, Supelco, Inc., Bellefonte, PA 16823- 0048 USA).

Índice de Estabilidad Oxidativa

Para obtener el índice de estabilidad oxidativa se utilizó el método oficial de la A.O.C.S. Cd 12b-92, mediante un equipo Rancimat Modelo 892 Professional.

Experimentos de Freído a 180°C

Para este experimento se agregaron 500mL del aceite a una freidora y se puso a calentar por 10 minutos a una temperatura de 180°C, pasados los 10 minutos se agregaron 200 gramos de las papas a freír, (papas en corte francés) por 10 minutos esto se realiza por triplicado con cada aceite para tomar alícuotas de 10mL a los 0, 20, 40 y 60 minutos en viales con tapón septum, rellenando en cada extracción con 10mL del aceite correspondiente.

Análisis Sensorial de las Papas Fritas: Prueba Hedónica

Para este análisis se utilizó una escala de 11 puntos la cual va de 0 que es el valor muy desagradable a 10 siendo el valor muy agradable, para evaluar color, textura y sabor de las papas fritas. Las papas se ofrecieron a 20 evaluadores aleatorios, los cuales fueron alumnos de la Universidad de Sonora campus Caborca. Por ultimo, las calificaciones fueron promediadas y representadas en gráficas.

Análisis de Compuestos Volátiles

El análisis de compuestos volátiles se realizó en el aceite de soya, canola y cártamo alto en oleico, así como en los aceites obtenidos durante los freídos a los tiempos de 20, 40 y 60 minutos.

Para lo cual se tomaron 10mL de las alícuotas obtenidas del experimento de freído, se pasaron a baño con recirculación a 65°C, y agitación por 60 minutos, pasado este tiempo se hizo la micro extracción de fase solida (MEFS) a través del septum, se insertó la fibra de polidimetilsiloxano por 10 minutos, posterior a esto se llevo al cromatógrafo de gases (Varian 3400CX) con detector de ionización de flama (FID). Donde se utilizo una columna capilar DB-5 (5% difenil/95% dimetilsiloxano) de 30 metros de longitud x 0.53 mm de diámetro interno dejándolo por tres minutos en el inyector.

La identificación se realizó por comparación con los tiempos de retención de los picos en las muestras con los de sus respectivos estándares más característicos que son: valeraldehido,

etil-vinil-cetona, 4-metil-2-pentanol, hexanal, trans-2-hexenal, heptaldehído, trans-2-heptenal, 1-octen-3-ol, trans-2-octenol, 1-octanol, trans-2-nonenal, decanal y trans, trans-2-4-decadienal, con 95% de grado de pureza

Análisis Estadístico

Los resultados obtenidos fueron analizados estadísticamente por medio de un análisis de varianza (ANOVA). con una $p > 0.05$ y las medias obtenidas se sometieron a una comparación de medias por la prueba de Tukey, utilizando el paquete estadístico JMP IN ver. 3.2.1 (Statistical Graphic Corp.).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización Química y Nutricional de los Aceites

Para el valor de peróxidos (mEq/Kg) se obtuvo con la cantidad más baja al aceite de cártamo alto en oleico con un valor de 0.25 ± 0.065 , seguido del aceite de soya con un valor de 0.69 ± 0.09 y por último el aceite de canola con 0.82 ± 0.15 . para lo cual los tres aceites cumplen con la norma NMX-F-154-SCFI-2010. La cual establece que el valor de peróxidos de los aceites comestibles debe de ser <1 mEq/Kg

Para el valor de *p*-anisidina se obtuvieron valores estadísticamente similares, para el aceite de cártamo alto en oleico fue de 1.29 ± 0.116 , para el aceite de canola 1.036 ± 0.45 y para el aceite de soya 1.12 ± 0.97 , de igual manera cumpliendo con la norma NMX-F-051-SCFI-2008 la cual establece que debe ser <2 .

Para el índice de estabilidad oxidativa se obtuvo que el aceite de cártamo alto en oleico es el más estable con un tiempo mayor a 24 horas a una temperatura de 110°C seguido por el aceite de canola con 12.24 ± 1.10 hrs/ 110°C . y por ultimo el aceite de soya con 10.85 ± 0.9 hrs/ 110°C . Siendo el aceite de cártamo alto en oleico el mejor de los tres por su alta estabilidad oxidativa.

Para el perfil de ácidos grasos (mg/ 100 mg de aceite) en el caso de el aceite de soya se registraron las cantidades de 10.63 ± 0.23 para el ácido palmítico, de 3.78 ± 0.11 para esteárico, de 23.64 ± 0.23 para oleico, de 53.53 ± 0.85 para linolénico y de 0.25 ± 0.12 para araquídico. Siendo el ácido linoleico el principal componente del aceite de soya.

En el caso del aceite de canola se registraron las cantidades de $4.12 + 0.32$ para el ácido palmítico, de 1.86 ± 0.12 para esteárico, de 56.15 ± 0.98 para oleico, de 20.31 ± 0.45 para linolénico y de 0.74 ± 0.11 para araquídico. Siendo el ácido oleico el principal componente de este aceite.

Y para el aceite de cártamo alto en oleico se registraron las cantidades de 6.09 ± 0.20 para el ácido palmítico, de 2.64 ± 0.12 para esteárico, de 77.50 ± 0.35 para oleico, de $12.01 \pm$

0.19 para linolénico y de 0.28 ± 0.12 para araquídico. Siendo el oleico el principal componente de este aceite y notándose su alto valor, afirmando su alto contenido de ácido oleico como se mencionaba en su etiqueta.

En el caso de el contenido total de tocoferoles (ppm) el aceite de cártamo alto en oleico fue el que tuvo menor cantidad con un valor de 178.70 ± 1.32 , seguido del aceite de canola con 410.41 ± 2.32 y por último el aceite de soya con 841.32 ± 9.68 . Identificándose los α -tocoferol con un valor de 96.34 ± 1.32 para el aceite de soya, de 160.32 ± 1.32 para el aceite de canola y de 153.37 ± 6.02 para el de cártamo alto en oleico. Asimismo los γ -tocoferol con el valor de 601.58 ± 3.96 para el aceite de soya, de 250.28 ± 2.12 para el aceite de canola y de 16.39 ± 1.42 para el de cártamo alto en oleico. Y por último los δ -tocoferol con un valor de 144.32 ± 2.16 para el aceite de soya, el aceite de canola no se detectó para este tipo de tocoferol y por último el aceite de cártamo alto en oleico con un valor de 8.94 ± 1.72 . Todos los valores en este caso se encuentran dentro de los valores reportados para aceites de soya, canola y cártamo alto en oleico, según se encuentran reportados en la literatura (Frankel, 1998).

Comportamiento del Valor de Peróxidos y de *p*-anisidina Durante el Freído de los Aceites

Como se puede apreciar en la Figura 1, el valor de peróxidos inicial se encontró dentro de los valores permitidos, como se mencionó con anterioridad, sin embargo, se presentó un aumento significativo en el transcurso del tiempo del freído, destacando el aceite de canola alto en oleico con los valores más bajos de peróxidos de los tres aceites, seguido del de canola y por último con los valores más altos el de soya.

De igual forma que en el valor de peróxidos, el aumento del valor de las *p*-anisidina es evidente conforme pasa el tiempo de freído (Figura 2), siendo el de menor valor el aceite de cártamo alto en oleico, seguido del de canola y por último el aceite de soya.

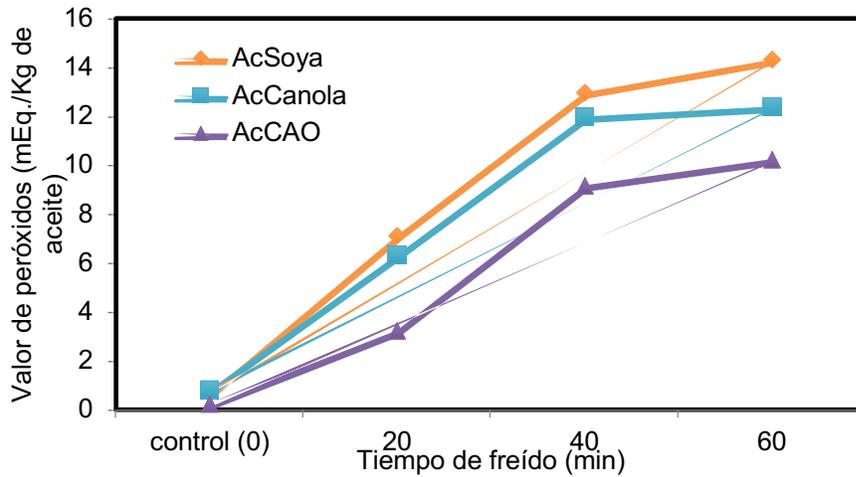


Figura 1. Comportamiento del valor de peróxidos durante el transcurso de freído a 180°C.

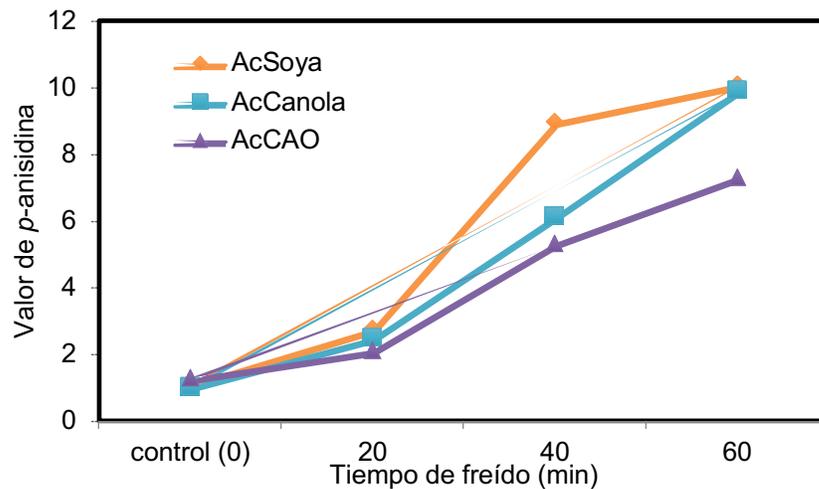


Figura 2. Comportamiento del valor de p-anisidina durante el transcurso de freído a 180°C

La disminución en el contenido de tocoferoles antes y después del freído, se puede observar en las Figuras 3 y 4, respectivamente, concluyendo que se presentó una disminución significativa, lo cual nos indica que hubo compuestos que se degradaron a causa de la temperatura del freído en su caso o se utilizaron durante el proceso de inactivación de los radicales libres producto de la oxidación de los aceites.

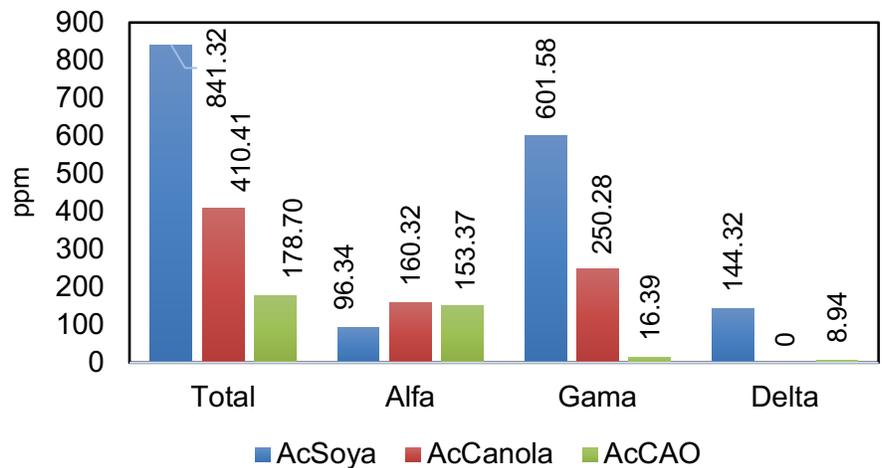


Figura 3. Comportamiento en el contenido de tocoferoles totales (ppm) de los aceites control (antes del freído).

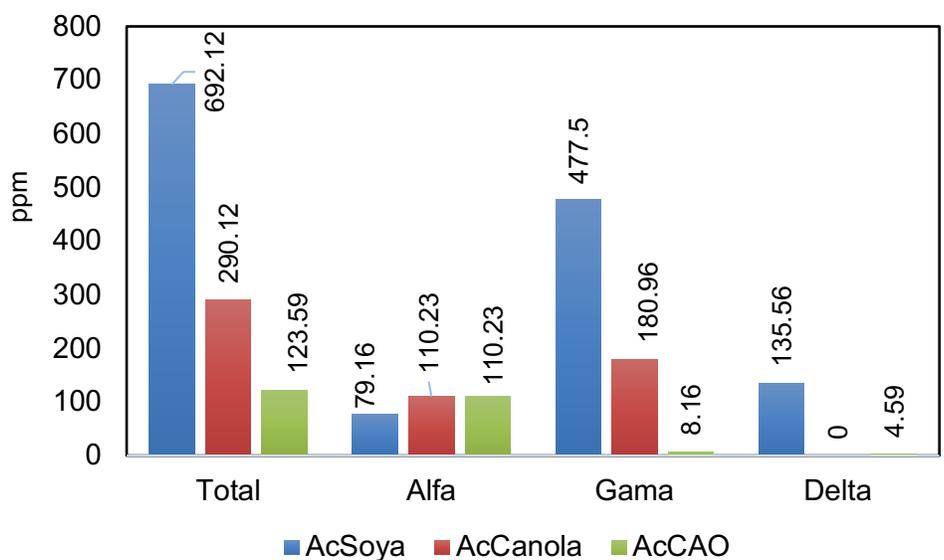


Figura 4. Comportamiento en el contenido de tocoferoles totales (ppm) de los aceites después de ser utilizados en el freído.

Como se puede apreciar en las Figuras 5, 6 y 7, el aceite con mejor calificación en los tres parámetros evaluados fue el de cártamo alto en oleico, destacando que al tiempo de 20 minutos en todas las muestras y en todos los parámetros tuvieron la mejor calificación, dando indicio a que el mejor tiempo de freído es por 20 minutos, ya que a medida que transcurría el tiempo, calificación iba en decremento e iniciaba el desagrado por parte de los evaluadores, para el consumo de las papas fritas.

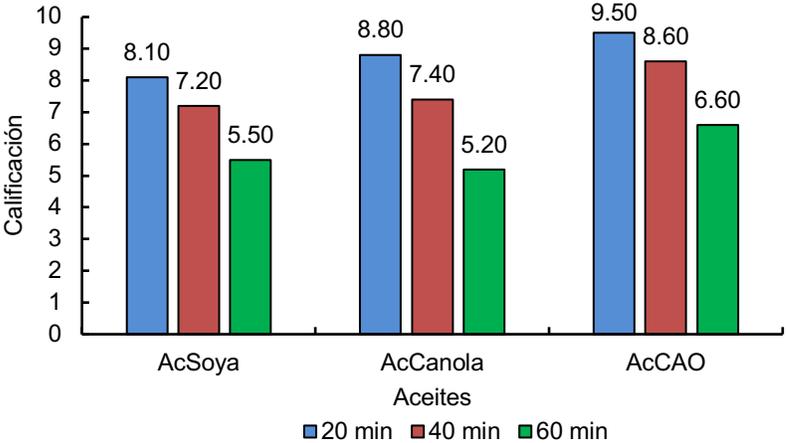


Figura 5. Evaluación sensorial del color de las papas fritas.

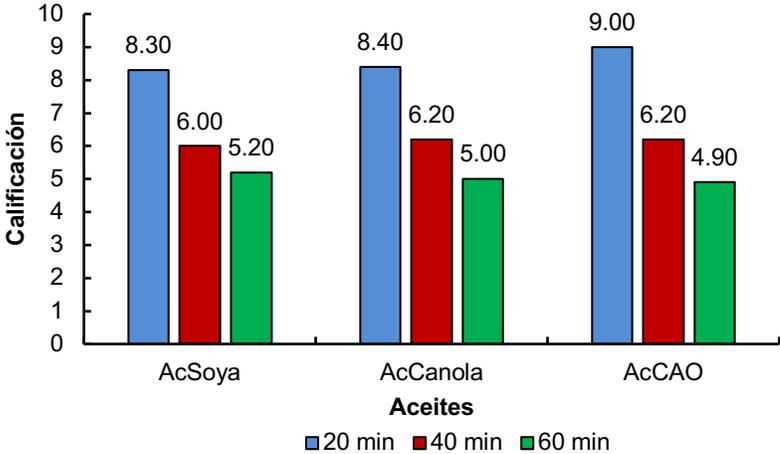


Figura 6. Evaluación sensorial de la textura de las papas fritas

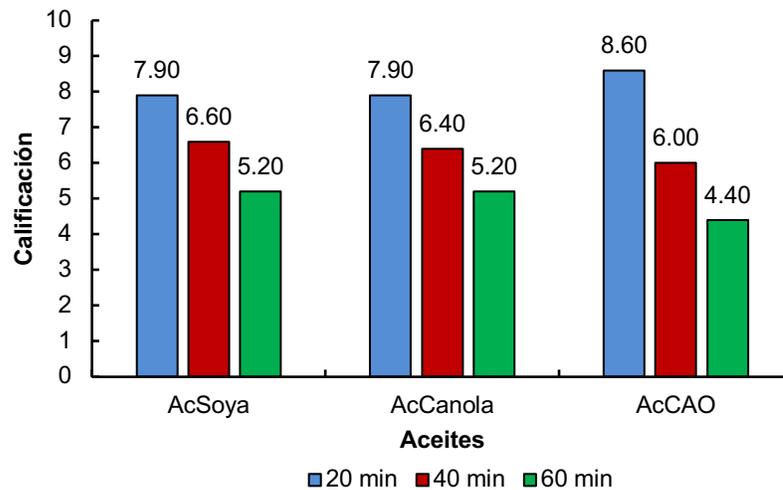


Figura 7. Evaluación sensorial del sabor de las papas fritas.

Análisis de Compuestos Volátiles Antes y Después del Freído

Al establecer una comparación entre las Figuras 8 y 9, es decir antes y después del freído del aceite de soya se puede distinguir fácilmente el aumento de compuestos volátiles formados después del freído de las papas fritas, así como la disminución de los compuestos volátiles que estaban presentes antes de la cocción. En este caso los compuestos que se identificaron y disminuyeron fueron los siguientes: valeraldehído, etil-metil-cetona, 4-metil-2-pentanol, hexanal, *trans*-2-heptanal, *trans*-2-octenol, 1-octen-3-ol, *trans*, *trans*-2,4-decadienal y el decanal, siendo estos dos últimos, los que presentan el olor y sabor característico de este alimento. Cabe mencionar también que se generaron nuevos compuestos volátiles, durante el freído, sin embargo, la caracterización de estos no se realizó debido a la falta del equipo altamente sofisticado para dicho análisis, como pudiera ser cromatografía de gases acoplado a masas o tener el kit de todos los compuestos volátiles producto de la oxidación de este tipo de aceite, lo cual sería muy difícil de obtener.

En el caso del aceite de canola también hubo una formación de compuestos volátiles considerable nuevos después del freído, y de igual manera disminución de algunos de los ya característicos del aceite como el valeraldehído, 4-metil-2-pentanol, 1-octen-3-ol, *trans*-2-octenol, *trans*-2-nonenal y el decanal (Figuras 10 y 11).

En las Figuras 12 y 13 es importante resaltar que no se formaron cantidades importantes de compuestos volátiles como en los aceites de soya y canola, ni la disminución de los característicos de este aceite, si no al contrario en este tipo de aceite los dos compuestos volátiles característicos del olor y el sabor del alimento también aumentaron, y relacionándolo con las Figuras 5, 6 y 7 nos explica el por qué fueron las papas fritas con este aceite las mas aceptadas por los evaluadores.

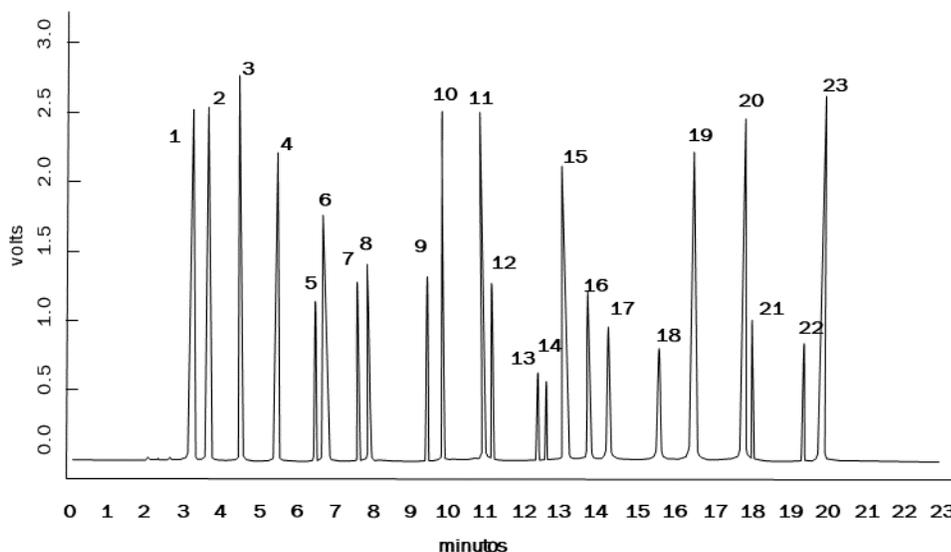


Figura 8. Análisis de compuestos volátiles antes del freído del aceite de soya

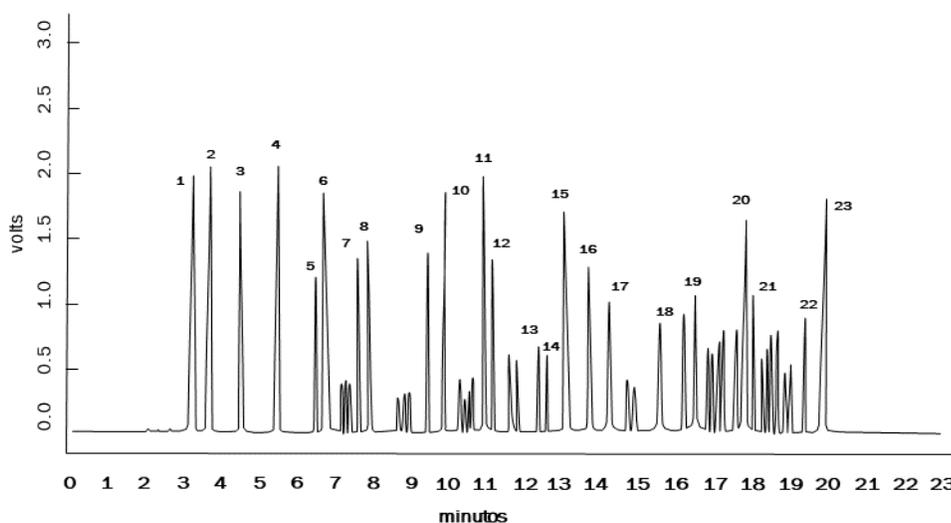


Figura 9. Análisis de compuestos volátiles después del freído del aceite de soya por 60 minutos a 180°C.

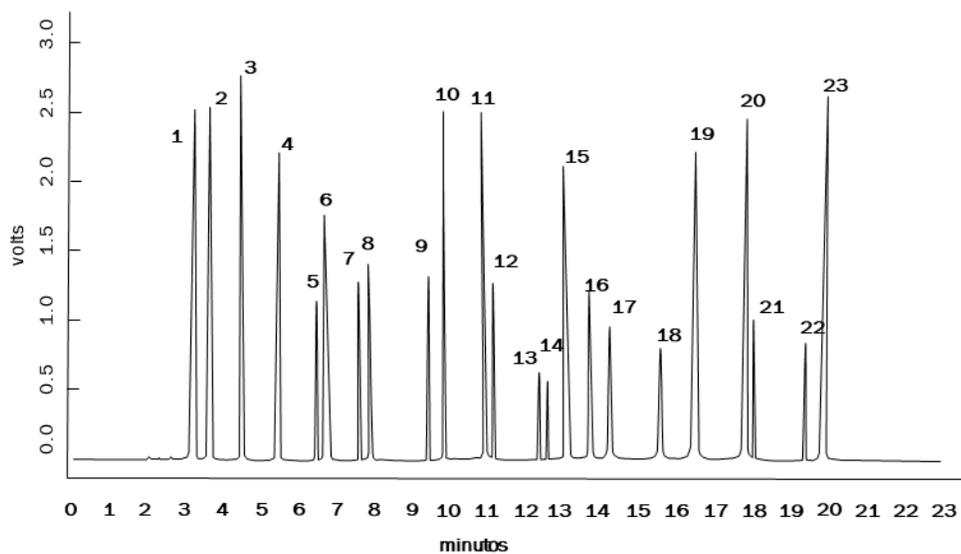


Figura 10. Análisis de compuestos volátiles del aceite de canola.

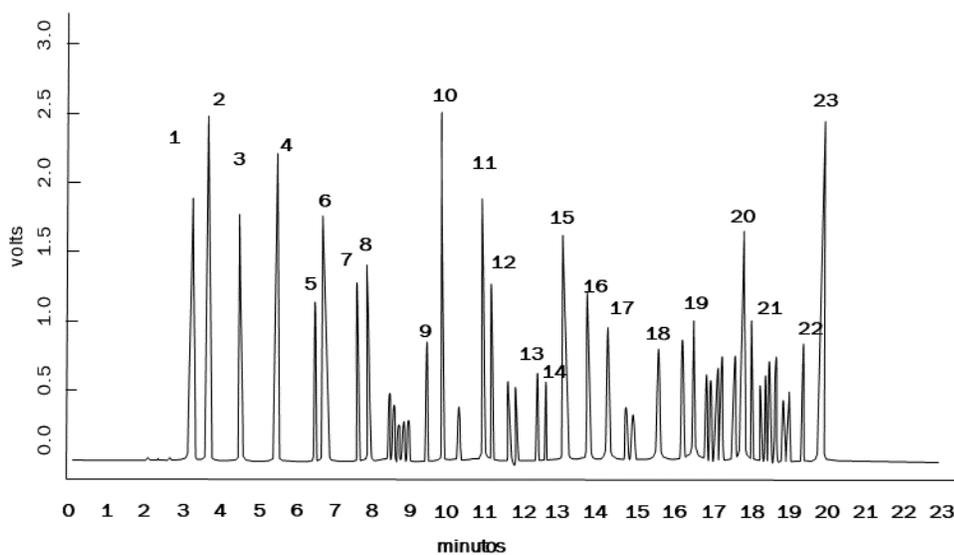


Figura 11. Análisis de compuestos volátiles del aceite de canola después del freído de las papas fritas por 60 minutos a 180°C.

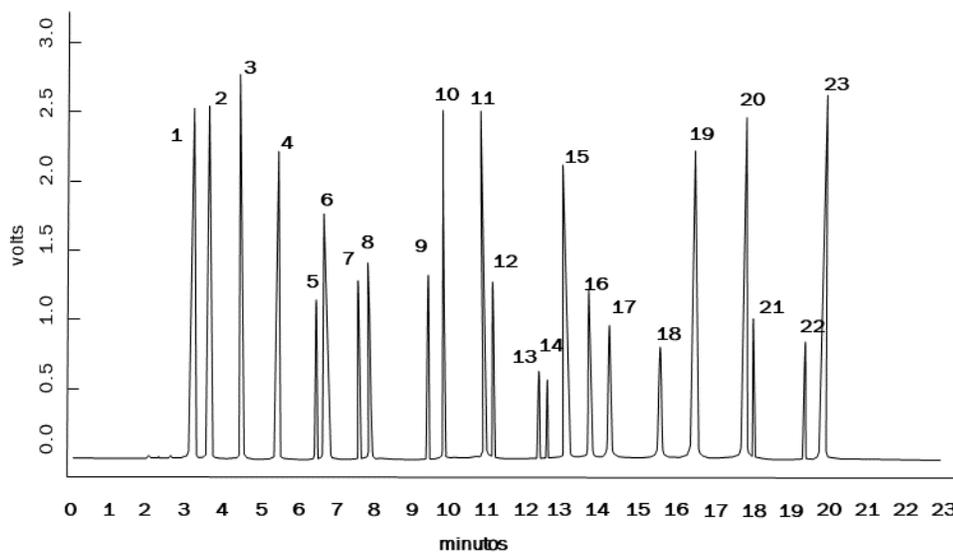


Figura 12. Análisis de compuestos volátiles del aceite de cártamo alto en oleico.

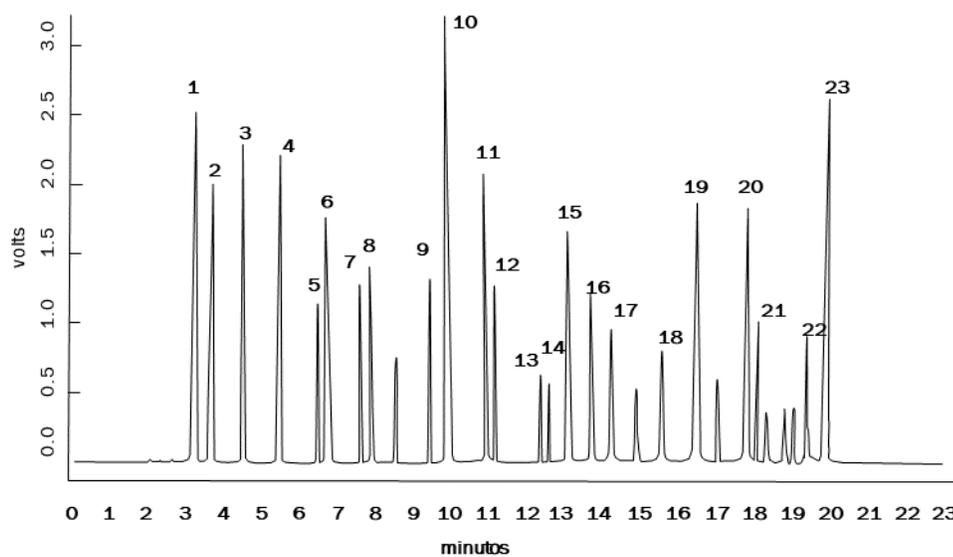


Figura 13. Análisis de compuestos volátiles del aceite de cártamo alto en oleico después del freído de las papas por 60 minutos a 180°C.

CONCLUSIONES

El valor de peróxidos, valor de *p*-anisidina, perfil de ácidos grasos y contenido de tocoferoles se encontraron dentro de los valores reportados para aceites refinados de manera reciente.

El aceite que presentó mayor estabilidad a la oxidación en el equipo Rancimat fue el aceite de cártamo alto en oleico, seguido del de canola y posteriormente el aceite de soya.

El valor de peróxidos y valor de *p*-anisidina, aumentaron significativamente en todas las muestras durante los ensayos de los 0 a 60 minutos de freído.

En relación con la evaluación sensorial de los productos (papas fritas), se encontró que el mejor aceite fue el de cártamo alto en oleico, ya que obtuvo las mayores puntuaciones en los tres parámetros evaluados (color, sabor y textura) a un tiempo de veinte minutos, pudiendo ser atribuido este comportamiento al alto contenido de ácido oleico que posee en su composición.

Se detectaron una gran cantidad de compuestos volátiles en todos los aceites después del freído incluidos el *trans*-2-heptenal y el *trans, trans*-2,4-decadial, los cuales son los responsables de los olores y sabores característicos en este tipo de alimentos.

RECOMENDACIONES

Dar seguimiento de manera individual al cambio en el perfil de ácidos grasos y compuestos volátiles en los aceites en cada experimento de freído.

Identificar y cuantificar los compuestos volátiles que aparecieron en los aceites después del freído, todo ello con el uso de técnicas más especializadas (CG-MS), ya que no se contaba con los estándares correspondientes para este tipo de compuestos.

Cuantificar el contenido de elementos traza en los aceites, ya que estos pueden ser pro-oxidantes cuando se combinan o se utilizan con muestras a temperaturas elevadas.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre Alejandro., Lucía Jaramillo Cando., Lesly Espinoza Buitrón. 2018. Usos y Aplicaciones de Aldehídos y Cetonas en la Industria de Alimentos.
- Aguirre, M., Marmesat, S., Ruíz, M. M. V. & Dobarganes, M. C. (2010). Application of high-temperature gas chromatography to the analysis of used frying fats. *Grasas y aceites*, 61, 197-202.
- Aidos, I., Krieb, N., Boonman, M., Luten, J.B., Boom, R.M. & Vander Padt, A. (2003). Influence of production process parameters on fish oil quality in a pilot plant. *Journal of Food Science*, 68, 581-587
- Alireza, S., Tan, C. P., Hamed, M. & Che Man, Y. B. (2010). Effect of frying process on fatty acid composition and iodine value of selected vegetable oils and their blends. *International Food Research Journal*, 17, 295-302.
- Ariza, O. J. A., López, V. F., Coyotl, H. J., Ramos, C. M. E., Diaz, R. J. Marinez, Z. A. (2011). Efecto de diferentes métodos de extracción sobre el perfil de ácidos grasos en el aceite de aguacate (*Persea americana* Mill. Vars. Hass). *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 2(2), 263-276.
- Bauer-Plank, C. Steenhorst-Slikkerveer, L. 2000. Analysis of Triacylglyceride Hydroperoxides in Vegetables Oils by Nonaqueous Reversed-Phase High-Performance Liquid Chromatography with Ultraviolet Detection. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 77 (5):477-482.
- Benincasa, C., De Nino, A., Lombardo, N., Perri, E., Sindona, G. and Tagarelli, A. 2003. Assay of Aroma Active Components of Virgin Olive Oils from Southern Italian Regions by SPME-GC/Ion Trap Mass Spectrometry. *J. Agric. Food Chem.* 51:733-741.
- Bravo C. A., 1998. La Refinación de Aceites y Grasas Antes y Después de Trisyl. pp. 58-59. En: *Notas del Curso de Actualización en la Extracción y Refinación de Aceites*, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora.
- Cadenas, E. and Sies, H. 1998. The Lag Phase. *Free Radic. Res.* 28: 601-609.
- Choe, E. & Min, D. B. (2007). Chemistry of Deep-Fat Frying Oils. *Journal of Food Science*, 72(5), R77-86.
- Corbett, 2003. It's time for an oil change!. Opportunities for high-oleic vegetables oils. *Inform.* 14 (8):480-481.
- Eckart, O. and A. Wirzmueller. 1929. *Die Bleicherde*, Verlag Dr. Serger & Hempel. Braunschweig.

- Elmadfa, I.; Muskat, E. y Fritzsche, D. 2011. Guía de los aditivos, colorantes y conservantes. Ediciones mundi-prensa.
- Fernando Fabiani Romero, 2000, ¿Qué son los triglicéridos?, Unidad de Lípidos. Hospital Universitario Virgen de la Macarena [Sevilla].
- Frankel, E.N. 1996. Antioxidants in Lipid Food and Their Impact on Food Quality, Food Chem. 57:41-55.
- Frankel, E.N. 1998. Lipids Oxidation. Volume 10. Edit. The Oily Press Ltd. Great Britain. pp. 22-29.
- Frankel, E.N., Neff, W.E. and Miyashita, K. 1990. Autoxidation of Polyunsaturated Triacylglycerols. I. Trilinoleoylglycerol, Lipids. 25:33–39.
- Gharachorlo, M., Ghavami, M., Mahdiani, M. & Azizinezhad, R. (2010). The effects of microwave frying on physicochemical properties of frying and sunflower oils. Journal of the American Oil Chemists' Society, 87, 355-360.
- Giacopini, M. I. 2010. Grasas y aceites y su importancia en la salud. https://www.fundacionbengoa.org/informacion_nutricion/grasas-aceites.asp
- Grundy S.M., 1997. What is the Desirable Ratio of Saturated, Polyunsaturated, and Monounsaturated Fatty Acids in the Diet?. Am J Clin Nutr, 66(suppl) :988, 989.
- Hamilton, R.J., Kalu, C., Prisk, E., Padley, F.B. and Pierce, H. 1997. Chemistry of Free Radicals in Lipids. Food Chem. 60:193-199.
- Herrera, E. (2005). Storing Pecans. Guide H-620. Reviewed by Ron Byford Department Head, Extension Plant Sciences. Las cruces, NM. pp.1-2.
- Jairo Torres García y Samuel Durán Agüero 2015. Fosfolípidos: propiedades y efectos sobre la salud, Nutr Hosp;31(1):76-83
- Juárez, M.D., Sammán, N. 2007. El deterioro de los aceites durante la fritura. Rev Esp Nutr Comunitaria 2007;13(2):82-94.
- Landines, P. M. A. & Zambrano, N. J. A. (2009). La oxidación lipídica en la cadena de producción acuícola. Revista de Investigación Agraria, 1, 13-22.
- Lewis-McCrea, L. & Lall, S. (2007). Effects of moderately oxidized dietary lipid and the role of vitamin E on the development of skeletal abnormalities in juvenile Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*). Aquaculture, 262, 142-155.
- Liu, W. H., Stephen, I. B. & Chen, B. H. (2007). Analysis and formation of trans fatty acids in hydrogenated soybean oil during heating. Food Chemistry, 104, 1740-1749.

- Llancari, A., Matos, 2011 A. Valoración de los nutrientes y antioxidantes en la salud humana e industria alimentaria. Universidad Peruana Unión. I Congreso Nacional de Investigación. Perú, Lima, 2-4 noviembre,
- Montes, O. N., Millar, M. R. C., Valenzuela, R. 2016. Absorción de aceite en alimentos fritos. *Revista Chilena de Nutricion* 43 (1): 87-91.
- Official Methods and Recommended Practice of American Oil Chemists' Society (AOCS). 1998. 4th Edition, AOCS Press, Champaign Illinois.
- Partanen, R., Hakala, P., Sjoval, O., Kallio, H. & Forssell P. (2005). Effect of relative humidity on the oxidative stability of microencapsulated Sea Buckthorn Seed Oil. *Journal of Food Science*, 70, 37-43.
- Pereyra, B., M. M., Costamagna, D., Rodriguez, P., Speltini, C., Coppo, G. 2009 Autooxidación de aceites vegetales comerciales. Universidad tecnológica nacional de buenos aires.
- Perkins, E. 1996. Volatile Odorand Flavor Components Formed in Deep Frying. pp.43-48, En: *Deep Frying. Chemistry, Nutrition, and Practical Applications*. 1nd Ed., (Ed. perkins, E. And Erickson, M.D.), AOCS Press Champaign, Illinois, USA.
- Pastene, E. 2009 Estado actual de la búsqueda de plantas con actividad antioxidante. *Boletín Latinoam Caribe Plantas Med Aromáticas*; 8 (6), pp. 449- 55.
- Patthamakanokporn, O., Puwastien, P., Nitithamyong, A., Perkin-Elmer, 2008. <http://www.perkinelmer.com>.
- Porter, N.A., Caldwell, S.E. and Mills, K.A. 1995. Mechanisms of Free Radical Oxidation of Unsaturated Lipids. *Lipids*, 30 :277-290.
- Rojas, U. H. & Narváez, R. C. (2011). Analyzing a method for small and medium sized companies to rate oil quality during immersion frying. *Ingeniería e investigación*, 31(1), 83-92.
- Sáyago-Ayerdi, S. G., Vaquero, M. P., Schultz-Moreira, A., Bastida S. & Sánchez-Muniz, F. J. (2008). Utilidad y controversias del consumo de ácidos grasos de cadena media sobre el metabolismo lipoproteico y obesidad. *Nutrición Hospitalaria*, 23(3), 191-202.
- Schaich, K. (2005). Lipid Oxidation: Theoretical Aspects. In F. Shahidi, *Bailey's Industrial Oil and Fats Products, Edible Oil and Fat Products: Chemistry, Properties and Health Effects* (pp. 269-343). 6th ed. New York: John Wiley and Sons. Sci. 64, 229–236.
- Scrimgeour, C. (2005). Chemistry of Fatty Acids. *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*. In F. Shahidi, *Bailey's Industrial Oil and Fats Products, Edible Oil and Fat Products: Chemistry, Properties and Health Effects* (pp. 1-39). 6th ed. New York: John Wiley and Sons.
- Steenhorst-Slikkerveer, L., Hans-Gerd Janssen, A.L. and Bauer-Plank, C. 2000. Analysis of Nonvolatile Lipid Oxidation Products in Vegetable Oils by Normal-Phase High-Performance

Liquid Chromatography with Mass Spectrofotometric Detection. J. Am. Oil Chem. Soc. 77 (8):837-845.

- Suaterna, A. C. (2009). La fritura de los alimentos. *Perspectivas en nutrición humana*, 11, 39-53.
- Sutton, J., Balfry, S., Higgs, D., Huang, C. & Skura, B. (2006). Impact of iron-catalyzed dietary lipid peroxidation on growth performance, general health and flesh proximate and fatty acid composition of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) reared in seawater. *Aquaculture*, 257, 534-557.
- Warner, K. 1996. Flavors and Sensory Evaluation. pp. 105-144, En: *Bayley's Industrial Oil & Fat Products*. Vol. 1. *Edible Oils & Fat Products: General Applications*, 5nd Ed., (Ed.Hui, Y.H.), Wiley- Interscience, United States of America.