

Instituto Politécnico Nacional
Unidad Profesional Interdisciplinaria de
Ingeniería Campus Zacatecas

Ingeniería en Alimentos

“EVALUACIÓN DEL DETERIORO OXIDATIVO DE
ACEITES DE FRUTOS SECOS Y DISCUSIÓN COMO
OLEAGINOSAS”

Trabajo curricular

Que para obtener el título de Ingeniero en Alimentos

Presenta:

Fernanda Margarita Campos Silva

Asesor:

M. en C. Efrén Alejandro Franco Villegas



Zacatecas, Zacatecas a noviembre de 2022



2022, Año de Ricardo Flores Magón

100 Aniversario de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura

50 Aniversario de la UPIICSA

50 Aniversario del CECyT 10 "Carlos Vallejo Márquez"

25 Aniversario del CIECAS, CIITEC y del CIIDIR, Unidad Sinaloa

Folio

UPIIZ/ESA/773/2022

Asunto

DESIGNACIÓN DE ASESORES

Zacatecas, Zac., a 25 de noviembre de 2022

C. FERNANDA MARGARITA CAMPOS SILVA

INGENIERÍA EN ALIMENTOS

BOLETA: 201867036299

GENERACIÓN: 2017-2022

PRESENTE

Mediante el presente se hace de su conocimiento que la Subdirección Académica y este Departamento aceptan que el **M. en C. Efrén Franco Villegas**, sea su **único Asesor**, en el tema que propone usted a desarrollar como prueba escrita de la opción de titulación **Curricular**, con el título y contenido siguiente:

"Evaluación del deterioro oxidativo de aceites de frutos secos y discusión como oleaginosas".

Se concede un plazo de máximo de un año, a partir de esta fecha, para presentarlo a revisión por el jurado asignado.



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA
DE INGENIERÍA CAMPUS ZACATECAS
DEPARTAMENTO DE EVALUACIÓN
SEGUIMIENTO ACADÉMICO

L.C. María Monserrat Saldaña Noriega
Jefa del Departamento de Evaluación
y Seguimiento Académico



MCC. Roberto Oswaldo Leija
Subdirector Académico Interino
de la UPIIZ
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA
DE INGENIERÍA CAMPUS ZACATECAS





Folio
UPIIZ/ESA/577/2022

2022, Año de Ricardo Flores Magón
100 Aniversario de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura
50 Aniversario de la UPIICSA
50 Aniversario del CECyT 10 "Carlos Vallejo Márquez"
25 Aniversario del CIECAS, CIITEC y del CIIDIR, Unidad Sinaloa

Asunto
AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

C. FERNANDA MARGARITA CAMPOS SILVA

INGENIERÍA EN ALIMENTOS
BOLETA: 201867036299
GENERACIÓN: 2017-2022
PRESENTE

Zacatecas, Zac., a 28 de noviembre de 2022

El suscrito tengo el agrado de informar a usted, que habiendo procedido a revisar el trabajo de titulación que presenta con fines de titulación denominada:

"Evaluación del deterioro oxidativo de aceites de frutos secos y discusión como oleaginosas".

El departamento de Evaluación y Seguimiento Académico, así como sus asesores, determinaron que el citado **Trabajo de Titulación**, reúne los requisitos para **autorizar** la impresión y proceder a la presentación del Examen Profesional debiendo tomar en consideración las indicaciones y correcciones que al respecto se hicieron.



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA
DE INGENIERÍA CAMPUS ZACATECAS
DEPARTAMENTO DE EVALUACIÓN
SEGUIMIENTO ACADÉMICO

L.C. MARÍA MONSERRAT SALDAÑA NORIEGA
JEFA DEL DEPARTAMENTO DE EVALUACIÓN
Y SEGUIMIENTO ACADÉMICO

M. EN C. EFRÉN ALEJANDRO FRANCO VILLEGAS
ASESOR



Autorización de uso de obra

Autorización de uso de obra
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
P r e s e n t e

Bajo protesta de decir verdad la que suscribe **Fernanda Margarita Campos Silva**, estudiante del programa de **Ingeniería en Alimentos**, con número de boleta **2018670362**, adscrito a la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería campus Zacatecas; manifiesto ser autora y titular de los derechos morales y patrimoniales de la obra titulada **Evaluación del Deterioro Oxidativo de Aceites de Frutos Secos y Discusión como Oleaginosas**, en adelante "El Trabajo de Titulación" y de la cual se adjunta copia, por lo que por medio del presente y con fundamento en el Artículo 27 Fracción II, inciso b) de la Ley Federal del Derecho de Autor, otorgo al Instituto Politécnico Nacional, en adelante el "IPN", autorización no exclusiva para comunicar y exhibir públicamente total o parcialmente en medios digitales "El Trabajo de Titulación" por un periodo de 2 años contado a partir de la fecha de la presente autorización, dicho periodo se renovará automáticamente en caso de no dar aviso expreso al "IPN" de su terminación.

En virtud de lo anterior, el "IPN" deberá reconocer en todo momento mi calidad de autor de "El Trabajo de Titulación".

Adicionalmente, y en mi calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales de "El Trabajo de Titulación", manifiesto que la misma es original y que la presente autorización no contraviene a ninguna otra otorgada por el suscrito respecto de "El Trabajo de Titulación", por lo que deslindo de toda responsabilidad al "IPN" en caso de que el contenido de "El Trabajo de Titulación" o la autorización concedida afecte o viole derechos autorales, industriales, secretos industriales, convenios o contratos de confidencialidad o en general cualquier derecho de propiedad intelectual de terceros y asumo las consecuencias legales y económicas de cualquier demanda o reclamación que puedan derivarse del caso.

Zacatecas, Zac., a 01 de diciembre del 2022

Atentamente


Fernanda Margarita Campos Silva

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	8
ABSTRACT.....	8
1. INTRODUCCIÓN	9
2. REVISIÓN DE LITERATURA	11
2.1 Aceites vegetales.....	11
2.2 Generalidades de los aceites	12
2.2.1 Generalidades del aceite de nuez	12
2.2.2 Generalidades de la semilla de calabaza	13
2.2.3 Generalidades del aceite de maíz.....	14
2.2.4 Generalidades sobre el aceite de soya.....	15
2.2.5 Generalidades sobre el aceite de cacahuate.....	16
2.2.6 Generalidades sobre el aceite de ajonjolí	17
2.3 Mercado de los aceites vegetales y oleaginosas.....	18
2.4 Conservación y estabilidad de los aceites	19
2.5 Oxidación lipídica.....	20
2.5.1 Etapa de iniciación.....	20
2.5.2 Etapa de propagación.....	21
2.5.3 Etapa de terminación	22
2.6 Autooxidación	23
2.7 Peroxidación lipídica.....	24
2.8 Antioxidantes	26
3. JUSTIFICACIÓN	28

4. HIPÓTESIS	28
5. OBJETIVOS.....	29
5.1 Objetivo General:.....	29
5.2 Objetivos Específicos:	29
6. METODOLOGÍA:	30
6.1 Determinación del índice de peróxidos.....	32
6.2 Dienos y trienos conjugados (DC y TC).....	34
6.3 Análisis estadísticos	35
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
7.1 Índice de peróxidos.....	35
7.2 Dienos y trienos conjugados (DC y TC).....	42
7.2.1 Dienos conjugados	43
7.2.2 Trienos conjugados	47
8. CONCLUSIONES	52
9. RECOMENDACIONES Y PROSPECTIVAS.....	53
10. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	53
11. APÉNDICE.....	57
Apéndice 1. ANOVA para el IP en las mezclas de aceites.	57
Apéndice 2. Procedimiento para la determinación de IP.	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comercialización de aceites en México (PROFECO, 2019)	10
Figura 2. Molécula de triglicérido (Ros, 2015).	12
Figura 3. Nuez de castilla (Sabor, 2022).	13
Figura 4. Semilla de Calabaza (Cereales, 2022).	13
Figura 5. Grano de maíz (Marisel, 2014).	14
Figura 6. Composición del grano de soya (Soya, 2012).	15
Figura 7. Cacahuete	16
Figura 8. Semilla de ajonjolí	18
Figura 9. Cadena agroindustrial de las oleaginosas (ANIAME 2006).	19
Figura 10. Etapa de iniciación linoleico (Damodaran, Parkin, & Fennema, 2010).	21
Figura 11. Etapa de propagación linoleico (Damodaran, Parkin, & Fennema, 2010). 22	
Figura 12. Ejemplo de la etapa de terminación de la oxidación lipídica en condiciones de baja concentración de oxígeno (Damodaran, Parkin, & Fennema, 2010).	23
Figuras 13. Autooxidación del catecol que puede resultar en la formación de diferentes dímeros (Vermerris & Nicholson, 2009).	24
Figura 14. Peroxidación de lípidos. Un radical hidroxilo abstrae un hidrógeno de un ácido graso o molécula de lípido. El nuevo radical peroxilo formado puede iniciar una reacción en cadena por lo cual nuevos radicales peroxilo son formados (Halliwell & Gutteridge, 1984).	25
Figura 15. Antioxidantes más comunes (Badui, 2013).	27
Figura 16. Aceites adquirido para la evaluación y mezclas elaboradas.	30
Figura 17. Preparación de muestras para medir IP. a) Pesado de muestras en matraces Erlenmeyer; b) Preparación de las muestras previo a la titulación.	33
Figura 18. Espectrofotómetro UV-Visible Genesys 10	34

Figura 19. Cambios en el índice de peróxidos (IP) del grupo control y su mezcla. Los valores expresan la media \pm desviación estándar (n=3).	36
Figura 20. Cambios en el índice de peróxidos (IP) del grupo de aceites problema. Se muestran las medias; \pm desviación estándar (n=3).	38
Figura 21. Cambios en el índice de peróxidos (IP) del grupo exploratorio. Se muestran las medias; \pm desviación estándar (n=3).	39
Figura 22. Índice de peróxidos en las mezclas de aceites. Los valores presentan la media \pm desviación estándar (n=3). Valor con diferente letra no es significativamente diferentes mediante la prueba F ($\alpha=0.05$).	40
Figura 23. Etiquetas de aceites adquiridos. Declaración del uso de TBHQ y ausencia del antioxidante en las etiquetas. a) Aceite de maíz; b) aceite de soya; c) aceite de nuez y d) aceite de semilla de calabaza.....	41
Figura 24. Dienos conjugados (DC) del grupo control. Se muestran las medias; \pm desviación estándar (n=3).	45
Figura 25. Dienos conjugados (DC) del grupo problema. Se muestran las medias; \pm desviación estándar (n=3).	45
Figura 26. Dienos conjugados (DC) del grupo exploratorio. Dienos conjugados (DC) del grupo control de aceites. Se muestran las medias; \pm desviación estándar (n=3).	46
Figura 27. Trienos conjugados (TC) formados en la oxidación del grupo de aceites control.	48
Figura 28. Trienos conjugados (TC) formados en la oxidación del grupo de aceites problema. Se muestran las medias; \pm desviación estándar (n=3).	49
Figura 29. Trienos conjugados (TC) formados en la oxidación del grupo de aceites exploratorios. Se muestran las medias; \pm desviación estándar (n=3).	49
Figura 30. Índice de peróxidos respecto a K232 en los aceites del grupo problema.	50
Figura 31. Índice de peróxidos respecto a K268 en los aceites del grupo problema.	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química del frijol de soya (Perkins, 1995).	15
Tabla 2. Composición (%) del aceite de cacahuete (Cárdenas, Camacho, & Mondragón, 2017).	17
Tabla 3. Muestras para el desarrollo de la metodología (Elaboración propia).	31
Tabla 4. Índice de peróxidos (IP) en el grupo de aceites control, durante 70 días.	36
Tabla 5. Índice de peróxidos (IP) en el grupo de aceites problema, durante 70 días.	37
Tabla 6. Índice de peróxidos (IP) en el grupo de aceites exploratorios, durante 70 días.	39
Tabla 7. Dienos conjugados en el grupo aceites control.	43
Tabla 8. Dienos conjugados en el grupo correspondientes a aceites problema.	44
Tabla 9. Dienos conjugados en el grupo de aceites exploratorios.	44
Tabla 10. Trienos conjugados en aceites control.	47
Tabla 11. Trienos conjugados en aceites problema.	47
Tabla 12. Trienos conjugados en aceites exploratorios.	48

SIMBOLOGÍA

AJ.	Aceite de ajonjolí
BHA.	Butilhidroxianisol
BHT.	Butilhidroxitolueno
CT.	Aceite de cacahuete
DC.	Dienos Conjugados
HO-	Radical hidroxilo
IP.	Índice de peróxido(s)
K232.	Coefficiente de extinción específico a 232 nm
K268.	Coefficiente de extinción específico a 268 nm
Meq.	Miliequivalentes
MZ.	Aceite de maíz
NZ.	Aceite de nuez
RH-	Hidrógeno alifático
RO-	Radical alcoxi
ROOH.	Hidroperóxido lipídico
ROO-	Peróxido lipídico
SC.	Aceite de semilla de calabaza
SY	Aceite de soya
TBHQ.	Terbutilhidroquinona
TC.	Trienos conjugados

RESUMEN

El aceite sufre diversos cambios físicos y químicos como la degradación oxidativa o fenómeno de enranciamiento, siendo uno de los parámetros que pueden impactar de manera negativa en la calidad, estabilidad en anaquel y almacenamiento de este tipo de productos.

El objetivo principal de la investigación fue evaluar el deterioro oxidativo de tres grupos de aceites, entre los cuales el primer grupo hace referencia a aceites control (maíz y soya), en el segundo grupo los aceites problema (de nuez y semilla de calabaza), mientras que el tercer y último grupo se formó de aceites exploratorios (ajonjolí y cacahuete). Para la evaluación del estado oxidativo primario se determinó el índice de peróxidos, además de los dienos y trienos. Durante el tiempo de almacenamiento el aceite de nuez presentó más estabilidad en la formación de peróxidos. Mientras que el aceite de semilla de calabaza se caracterizó por los valores resultantes más altos en las determinaciones.

Palabras clave: *Degradación oxidativa, calidad, aceite de nuez, aceite de semilla de calabaza, enranciamiento, estabilidad en anaquel y almacenamiento.*

ABSTRACT

The oil undergoes various physical and chemical changes such as oxidative degradation or rancidity, being one of the parameters that can negatively impact the quality, shelf stability and storage of this type of product.

The main objective of the research was to evaluate the oxidative deterioration of three groups of oils, among which the first group refers to control oils (corn and soy), in the second group the problem oils (walnut and pumpkin seed), while the third and last group was made up of exploratory oils (sesame and peanut). For its evaluation of the primary oxidative state by determining the peroxide index and determination of conjugated dienes and trienes. During the storage time, the walnut oil presented more stability in the formation of peroxides. While pumpkin seed oil was characterized by higher values in the determination.

Keywords: Oxidative degradation, quality, walnut oil, pumpkin seed oil, rancidity, shelf stability and storage.

1. INTRODUCCIÓN

Los aceites vegetales son aquellos extraídos de semillas o de frutos que se encuentran compuestos principalmente por ácidos grasos insaturados, de tal manera que estos aceites son caracterizados por ser líquidos a temperatura ambiente. El perfil lipídico permite conocer la calidad de los aceites, debido a que en el tipo de insaturaciones se reflejan los beneficios nutricionales. Sin embargo, la susceptibilidad al deterioro depende de la cantidad de ácidos grasos saturados e insaturados que caracterizan al producto.

Los lípidos son susceptibles al proceso de oxidación en la presencia de sistemas catalíticos como luz, calor, enzimas, metales, metaloproteínas y microorganismos, dando un aumento en el desarrollo de sabores no deseados y la pérdida de aminoácidos esenciales, vitaminas liposolubles y otras moléculas bioactivas. Los lípidos pueden sufrir autooxidación, fotooxidación, oxidación térmica, y oxidación enzimática bajo diferentes condiciones, la mayoría de las cuales involucran algunos tipos de radicales libres o especies de oxígeno (Vercellotti JR, 1992).

En los últimos años las tendencias alimentarias han sido influenciadas hacia una alimentación más saludable, por lo que la población opta por introducir a su dieta productos en el mercado de origen vegetal, entre los cuales se encuentra el aceite de nuez y el aceite de semilla de calabaza. Ampliar la información al consumidor mediante investigaciones permite el uso adecuado de nuevos productos en tendencia, como la freidora de aire en la que se utiliza menor cantidad de aceite para preparar los alimentos.

En el mercado existen dos clasificaciones de aceite: los vegetales puros, que se obtienen de un solo tipo de planta (soya, maíz, canola, cártamo u oliva), y los vegetales comestibles, que pueden estar elaborados de uno o más aceites de las diferentes variedades. Según cifras de la Asociación Nacional de Industriales de Aceites y Mantecas Comestibles (ANIAME), en México alrededor del 78% del consumo de aceites embotellados es de aceite vegetal comestible, también conocido como aceite mixto, y el restante 22% que encuentras en los supermercados es de aceites vegetales puros. (PROFECO, 2010).

Posteriormente en una de las ediciones del 2019 en la revista del consumidor, dedicada al estudio de los aceites comestibles, como se muestra en la Figura 1, el estudio señala que solo 4% de la población en México continúa con el consumo de aceites mixtos, mientras el resto de los consumidores opta por aceites puros e introducen a sus dietas aquellos que son extraídos de aguacate. Mismas tendencias que son reflejadas en la comercialización.



Figura 1. Comercialización de aceites en México (PROFECO, 2019)

Al presentarse esta tendencia de comercialización y consumo, es por ello por lo que se pretende proponer el consumo de aceites y discutir como oleaginosas a los frutos secos, para ampliar las opciones al mercado. En el área profesional de alimentos, la forma de preservación de los productos y evaluación del deterioro de estos, son algunos de los aspectos fundamentales que les corresponde cubrir a los profesionales del área.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Aceites vegetales

Los aceites vegetales son obtenidos por el método de extracción por solventes, expresión mecánica o por cualquier otro procedimiento, mismos que provienen de cualquiera de las siguientes plantas oleaginosas o de sus variedades biotecnológicas aprobadas para alimentación humana: ajonjolí, algodón, cacahuate, girasol, maíz, olivo, palma, soya o de cualquier otra oleaginosa aprobada para consumo humano (NMX-F-808-2018).

La mayoría de los aceites son obtenidos de alubias o semillas, las cuales generalmente proveen dos importantes productos: un aceite o alimento rico en proteínas. Los vegetales ofrecen aceites en diferentes proporciones. Los rendimientos promedio mundiales son: soya 18.3%; colza 38.6%; girasol 40.9%; maní 40.3%; algodón 15.1%; coco 62.4%; palma 44.6%; ajonjolí 42.4%; linaza 33.5%; oliva 30% y maíz con 5% (De Greyt y Kellens, 2000).

Los ácidos grasos pueden tener puntos de insaturación en sus moléculas debido a la falta de átomos de hidrógeno, lo que da lugar a dobles enlaces. En la molécula del triglicérido de la Figura 2, todos los ácidos grasos son de la misma longitud: cada uno tiene 18 átomos de carbono, pero el grado de insaturación de cada uno de ellos es diferente. El ácido graso representado en la parte superior, ácido esteárico, es saturado (no puede ser hidrogenado). El representado en la parte central, ácido oleico, presenta un doble enlace y ha perdido dos átomos de hidrógeno; el tercer ácido graso, ácido linoleico, tiene dos dobles enlaces y ha perdido cuatro átomos de hidrógeno, por lo que es el más insaturado (Ros, 2015) .

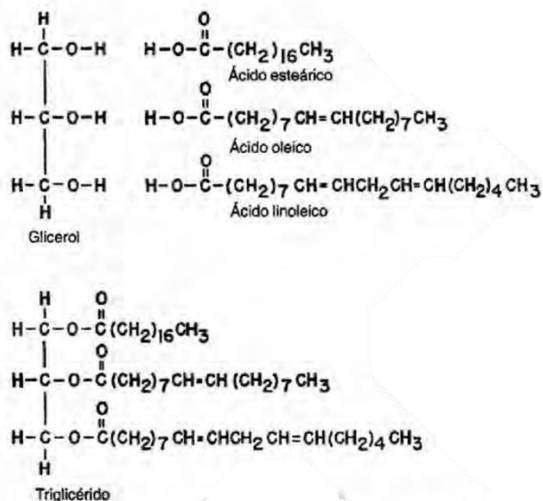


Figura 2. Molécula de triglicérido (Ros, 2015).

Cuanto mayor es el grado de insaturación de los ácidos grasos que forman parte de la molécula de grasa, tanto más blanda es a una temperatura dada y menor es su punto de fusión.

Los ácidos grasos insaturados son altamente reactivos con el oxígeno en sus puntos de insaturación. Por lo tanto, las grasas constituidas por ácidos grasos saturados son más resistentes a la oxidación y más estables frente al desarrollo del sabor a oxidado.

2.2 Generalidades de los aceites

2.2.1 Generalidades del aceite de nuez

El aceite de nuez (Figura 3) se extrae de la almendra de los frutos del árbol *Junglans regia*. El contenido del aceite en la almendra varía del 50-65%. Sin embargo, el componente principal de este aceite es el ácido linoleico, con un 57-76%, mientras que el ácido oleico se encuentra contenido en proporciones 9-35%, así como el ácido linolénico 4% (Bernardini, 1981).



Figura 3. Nuez de castilla (Sabor, 2022).

Las semillas oleaginosas, como las nueces de butirospermo, tienden a enmohecerse durante el almacenamiento. Esto se frena con un tratamiento térmico: tratamiento con vapor o hervido, junto con secado al sol para reducir la humedad. Además, cuando el fruto fresco sufre golpes se acelera la actividad de lipasas, conduciendo a la degradación de las grasas (FAO,2022).

2.2.2 Generalidades de la semilla de calabaza



La semilla de calabaza (Figura 4) contiene 48.9% de aceite, es una fuente de ácidos grasos especialmente ácido oleico y linoleico. Existen diversos métodos para extracción de aceite de semilla como: prensado en frío, fluidos supercríticos y extracción con disolventes (éter de petróleo, etanol y hexano). La extracción con hexano ha demostrado ser en muchos casos el mejor disolvente obteniéndose los mejores rendimientos de aceite (Martínez, H., Molina, J., Vanegas, P., 2016) .

Figura 4. Semilla de Calabaza (Cereales, 2022).

El aceite y su semilla son ricos en nutrientes esenciales. Se utiliza para condimentar comidas, consumo humano, antiparasitario y en tratamiento de otras enfermedades. Su alto valor nutritivo, determina su posible uso en dietas para aves y cerdos.

2.2.3 Generalidades del aceite de maíz

El grano de maíz es proveniente de una subespecie de *Zea mays*, el teocinte (*Zea mays ssp. parviglumis*), tiene 3 a 5% de aceite, del cual 25–30% está en el germen (Figura 5). Los mayores componentes del aceite de maíz son los ácidos grasos: el oleico (24%) monoinsaturado y linoleicos (62%) poliinsaturado de la familia de omega 3 (Duffus & Slaugther, 1985). El aceite de maíz tiene un bajo nivel de ácidos grasos saturados: ácido palmítico y esteárico, con valores medios del 11% y el 2%, respectivamente. Sólo se han encontrado cantidades muy reducidas de ácidos linolénico y araquidónico. Además, el aceite de maíz es relativamente estable, por contener únicamente pequeñas cantidades de ácido linolénico (0.4%) y niveles elevados de antioxidantes naturales.

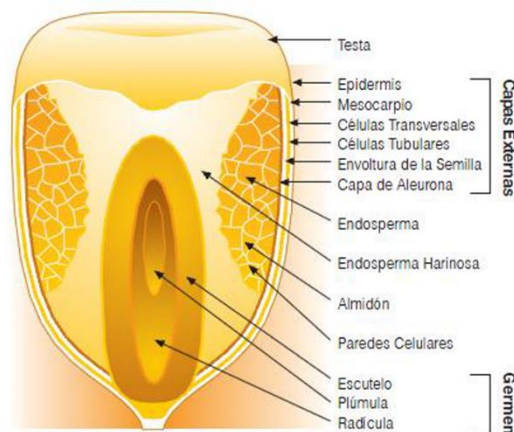


Figura 5. Grano de maíz (Marisel, 2014).

El aceite de maíz es un aceite semisecante debido a su alto contenido de ácido linoleico. Su valor comercial radica en su utilización para ensaladas y margarinas hidrogenadas. Los usos adicionales en la industria son como sustitutos de manteca y en la manufactura de sopas.

2.2.4 Generalidades sobre el aceite de soya

El aceite de soya es extraído de *Glycine max L. Merrill*, una semilla generalmente esférica de tamaño de un frijol y color amarillo. Es rica en proteínas y aceites. (SAGARPA, 2017). La semilla consiste en tres partes: la cubierta o cáscara, el cotiledón, y el germen. Estos componentes estructurales tienen la composición aproximada mostrada en la Tabla 1 y Figura 6.

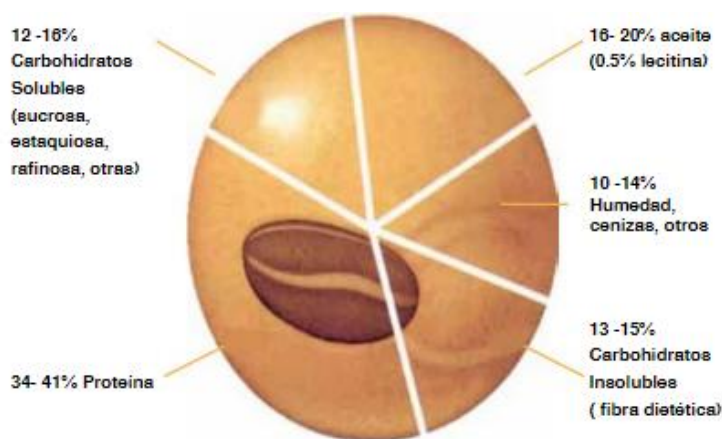


Figura 6. Composición del grano de soya (Soya, 2012).

Tabla 1. Composición química del frijol de soya (Perkins, 1995).

Componente	Rendimiento	Proteína	Aceite	Cenizas	Carbohidratos
Semilla	100	40.3	21	4.9	33.9
Cotiledón	90.3	42.8	22.8	5	29.4
Cáscara	7.3	8.8	1.0	4.3	85.9
Germen	2.4	40.8	11.4	4.4	43.4

Composición química en peso (%).

El aceite de soya posee un alto contenido de ácido linoleico, y uno bajo de ácido linolénico. Estos dos ácidos grasos son esenciales para humanos y por tanto de importancia dietaria, pero son también la causa de inestabilidad oxidativa de este aceite. Técnicas de procesamiento, como la hidrogenación y modificación lipídica a través de transformación genética, han sido utilizadas para modificar la composición para mejorar sus propiedades oxidativas o funcionales (Almonor, Fenner, & Wilson, 1998).

2.2.5 Generalidades sobre el aceite de cacahuete

El aceite de cacahuete o maní se obtiene de las semillas *Arachis hypogaea* que es una planta de la familia de las leguminosas. El fruto (Figura 7) se desarrolla bajo tierra, y se compone de una vaina de 2 a 4 cm de color amarillo claro. La semilla descascarillada en fresco tiene una humedad no inferior al 12 %, por lo que la industria debe comprar cacahuete no descascarillado, ya que tiene una mejor conservación (Bernardini, 1981). El aceite de cacahuete refinado se caracteriza por ser de color amarillo pálido y por tener un contenido alto en ácidos grasos monoinsaturados y es muy estable.



Figura 7. Cacahuete

Tabla 2. Composición (%) del aceite de cacahuate (Cárdenas, Camacho, & Mondragón, 2017).

Propiedad	Composición
Índice de yodo	83-107
Ácidos grasos libres	0.1% máx
Ácido oleico (monoinsaturado)	36.4-67.1
Ácido linoleico (poliinsaturado)	14.0-43.0
Ácido linolénico (poliinsaturado)	0-0.1
Ácido palmítico (saturado)	8.3-14.0
Ácido esteárico (saturado)	1.9-4.4
Valor del peróxido (al envasar)	2.0 máx

2.2.6 Generalidades sobre el aceite de ajonjolí

El ajonjolí es una oleaginosa, la cual tiene en su composición ácidos grasos; 39% de ácido oleico y 45% de ácido linoleico (Fernández, Quispe, & Alencastre, 1999). La semilla de ajonjolí (Figura 8), provee más hierro que el huevo, es una fuente de lecitina (mayor que la soya), es de fácil digestión para el organismo humano, sabor agradable, y rico en potasio y sodio. El aceite de ajonjolí es apetecido por ser de larga duración, debido a que contiene un antioxidante llamado Sesamol.



Figura 8. Semilla de ajonjolí

En México la producción de esta oleaginosa se desarrolla en regiones que presentan entorno ambiental apropiado, por esta razón las principales entidades productoras de grano son: Sinaloa, Guerrero, Oaxaca y Michoacán (SIAP, 2018).

2.3 Mercado de los aceites vegetales y oleaginosas

Las oleaginosas son aquellas empleadas para la obtención de grasas para el consumo humano (Ansorena, 2000). Principalmente el aceite comestible es utilizado para agilizar el proceso de cocción. Sin embargo, de acuerdo con su origen cuando son ingredientes base en aderezos o productos en frío, aportan sabor y la textura en los alimentos.

Actualmente, México cuenta con una planta productiva de procesamiento altamente competitiva a nivel mundial pues ocupa el séptimo lugar en extracción de aceite, además de aproximadamente 50 industrias aceiteras dedicadas a la extracción y refinación de aceite, tanto para consumo nacional como exportación (SAGARPA, 2017).

El uso de las oleaginosas es muy variado; por ejemplo, la aceituna, semilla de girasol, el cacahuate y la semilla de almendra se consumen de manera convencional, por otra parte, también se utilizan como tintura o los aceites para combustibles. La Figura 9, representa un diagrama de la cadena industrial de las oleaginosas y los distintos usos a las pastas resultantes de la extracción.

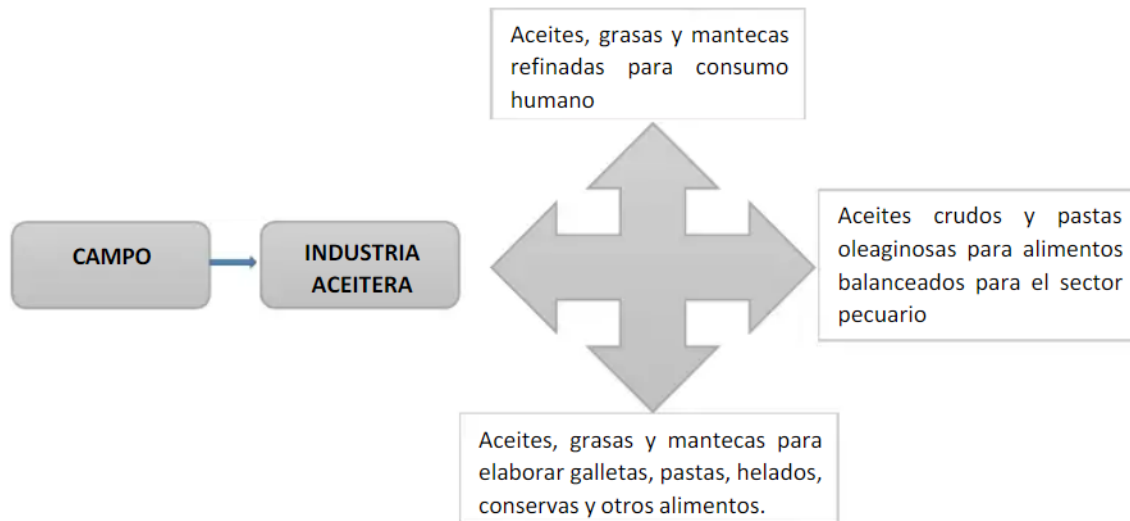


Figura 9. Cadena agroindustrial de las oleaginosas (ANIAME 2006).

2.4 Conservación y estabilidad de los aceites

Se entiende como estabilidad oxidativa a la resistencia de los lípidos a la absorción de oxígeno por los ácidos grasos insaturados libres o esterificados. Sin embargo, altas temperaturas, luz, trazas metálicas y las enzimas son agentes los cuales de manera directa e indirecta promueven el deterioro.

Las grasas y los aceites poseen diferencias de estabilidad, que se debe principalmente al perfil de ácidos grasos, por lo que frecuentemente es deseable la alteración, con la finalidad de hacer al aceite menos susceptible a la oxidación (disminuyendo la insaturación) o agregar el valor nutricional (aumentando la insaturación). Es por ello que el método más simple es realizar una mezcla de aceites para alterar la composición de los ácidos grasos.

La determinación de la estabilidad oxidativa de los aceites se realiza por métodos estáticos tales como el índice de peróxidos, p-anisidina dienos y trienos conjugados (Villanueva, Rodríguez, Aguirre, & Castro, 2017).

2.5 Oxidación lipídica

Los alimentos sufren transformaciones químicas, en el caso de los aceites la transformación es conocida como rancidez, que además de reducir el valor nutritivo, produce olores y sabores desagradables. Comúnmente este fenómeno hace referencia a la oxidación de los ácidos grasos insaturados. Generalmente se forman compuestos que mantienen y aceleran la reacción, por ejemplo, el incremento del índice de yodo favorece a la reacción con los ácidos esteárico, oleico y linoleico.

Ciertos metales, como el cobre y el hierro, son fuertes promotores o catalizadores de la oxidación. Esta es una de las razones por las que ambos han sido reemplazados en los equipos de procesamiento de los alimentos por acero inoxidable. Sin embargo, muchos alimentos naturales, tienen trazas de cobre y de hierro, pero también contienen antioxidantes. Como indica el término, los antioxidantes se oponen a la oxidación. (Norman N Potter., Joseph H Hotchkiss, 1999).

La pieza central de la oxidación lipídica son los radicales libres. Radicales como el hidroxilo ($\cdot\text{OH}$) poseen muy alta energía y prácticamente se encargan de llevar a cabo la oxidación de cualquier molécula mediante la sustracción de hidrógeno. La ruta de oxidación de ácidos grasos comprende tres pasos generales: iniciación, propagación y terminación.

2.5.1 Etapa de iniciación

Esta etapa comienza con la sustracción de un hidrógeno de un ácido graso para formar un radical alquilo ($\text{L}\cdot$). Una vez formado, el radical libre se estabiliza por deslocalización

a través del o los dobles enlaces, dado como resultado un doble enlace móvil, que en el caso de los ácidos grasos poliinsaturados conduce a la formación de dobles enlaces conjugados. La Figura 10 muestra la etapa de iniciación con la sustracción de hidrógeno del carbono metilénico del ácido linoleico, reorganización de un doble enlace y producción de dos isómeros (Damodaran, Parkin, & Fennema, 2010).

Se estima que el ácido linoleico es de 10-40 veces más susceptible a la oxidación que el oleico. Esto debido a que a medida que aumenta el número de dobles enlaces en los ácidos grasos poliinsaturados crecen también los carbonos metilénicos y con ellos, las posiciones posibles para sustraer hidrógeno.

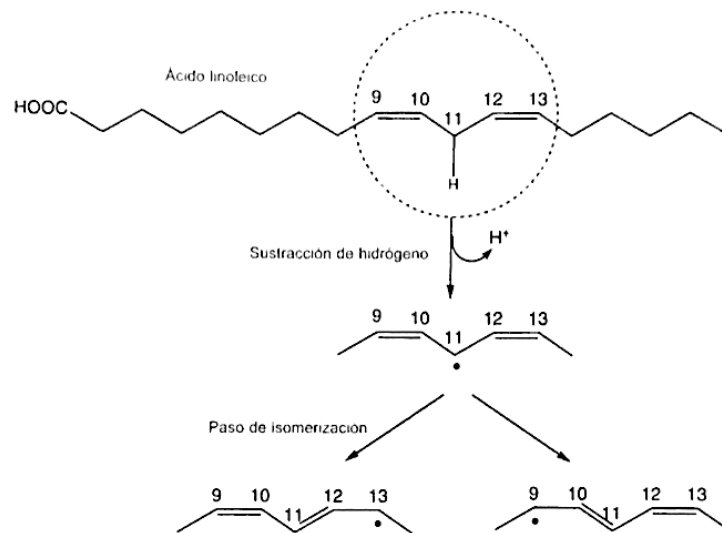


Figura 10. Etapa de iniciación linoleico (Damodaran, Parkin, & Fennema, 2010).

2.5.2 Etapa de propagación

Se inicia con la adición de oxígeno al radical alquílico. La combinación de un radical alquilo con uno de los electrones del oxígeno triplete da como resultado la formación de un enlace covalente. Mientras que el otro electrón queda libre, el radical resultante se conoce como radical peroxilo (LOO^*). Puesto que el enlace carbono-hidrógeno de los ácidos grasos insaturados es débil, resulta ser susceptible al ataque por los radicales peroxilo (Damodaran, Parkin, & Fennema, 2010).

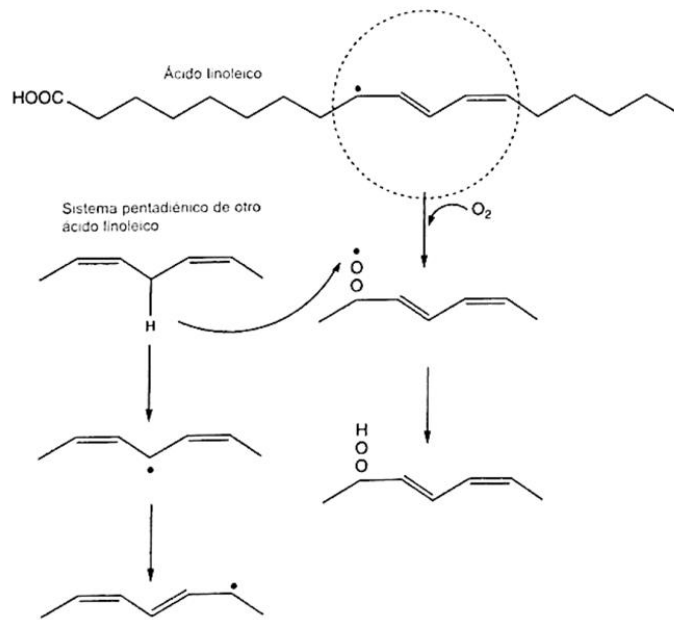


Figura 11. Etapa de propagación linoleico (Damodaran, Parkin, & Fennema, 2010).

La adición de hidrógeno a un radical peroxilo da como resultado la formación de un hidroperóxido de ácido graso ($LOOH$) y la formación de un nuevo radical alquilo de otro ácido graso. En la Figura 11 se muestra el esquema de la ruta para las moléculas de ácido linoleico.

2.5.3 Etapa de terminación

Esta reacción comprende la combinación de dos radicales para formar especies no radicáticas. En presencia del oxígeno, el radical libre dominante es el peroxilo, ya que el oxígeno se adicionará a los alquilo. De este modo, bajo condiciones atmosféricas, las reacciones de terminación pueden darse entre radicales peroxilo y alcoxilo (Damodaran, Parkin, & Fennema, 2010).

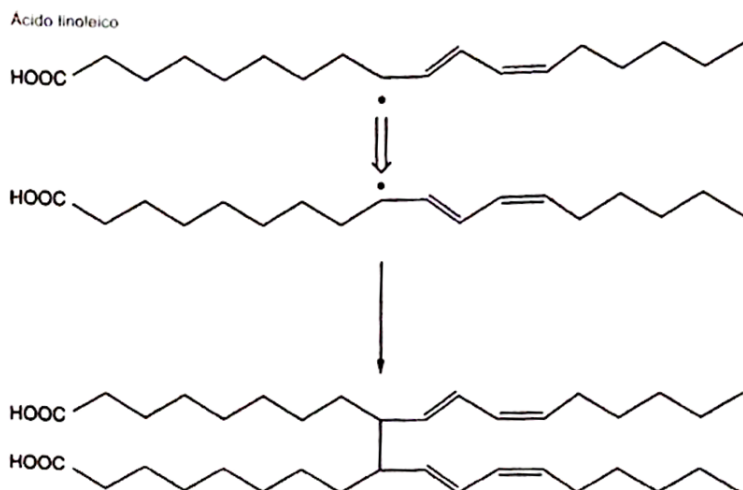


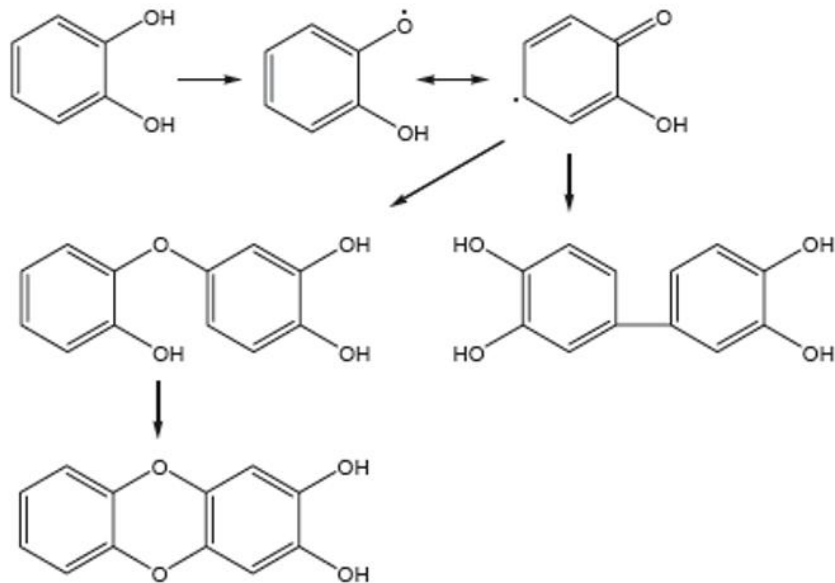
Figura 12. Ejemplo de la etapa de terminación de la oxidación lipídica en condiciones de baja concentración de oxígeno (Damodaran, Parkin, & Fennema, 2010).

Estrictamente, solo en ambientes con una concentración baja de oxígeno, las reacciones de terminación ocurren entre radicales alquilo, formando dímeros de ácidos grasos como en la Figura 12.

2.6 Autooxidación

Se refiere a la formación de estructuras enlazadas como resultado de la exposición a el oxígeno y la luz. El término autooxidación se utiliza para referirse a la generación de radicales libres a partir de los ácidos grasos insaturados en presencia de oxígeno que se perpetúa a sí misma durante la oxidación de lípidos. En la etapa de iniciación, la sustracción de hidrógeno de los ácidos grasos insaturados da lugar a la producción de un radical libre. La adición de oxígeno al radical alquilo para formar un peroxilo y subsiguiente sustracción de hidrógeno de otro ácido graso, o antioxidante, para formar un hidroperóxido lipídico en la etapa de propagación dan lugar a un incremento neto de radicales libre (Damodaran, Parkin, & Fennema, 2010).

Bajo la influencia de la luz, el oxígeno puede extraer un protón y de este modo generar un radical. Esto es particularmente probable si el protón es adyacente a un doble enlace, debido a que el radical electrón puede ser deslocalizado, así disminuyendo la energía. Dada su naturaleza aromática, los compuestos fenólicos son fácilmente autooxidados. La figura 13 muestra como los radicales del catecol pueden reaccionar para formar mezclas de tetrahidroxi-bifenoles y quinonas (Vermerris & Nicholson, 2009) .



Figuras 13. Autooxidación del catecol que puede resultar en la formación de diferentes dímeros (Vermerris & Nicholson, 2009).

2.7 Peroxidación lipídica

La peroxidación lipídica es un proceso complejo que ocurre en plantas y animales. Este involucra la formación y propagación de radicales lipídicos, la toma de oxígeno, un reacomodo de los dobles enlaces en lípidos insaturados y la destrucción eventual de membranas lipídicas o triacilgliceroles, con la producción de una variedad de productos, incluyendo alcoholes, cetonas, alcanos, aldehídos y éteres (Dianzani & Barrera, 2008).

Los AGPI son más sensibles al daño que los saturados, esto es obvio dado que el puente metileno activado (RH) representa un sitio crítico de ataque. La presencia de un doble enlace adyacente a un grupo metileno hace que el enlace C-H sea más débil y por tanto el hidrógeno más susceptible a la abstracción. Esto deja un electrón desapareado sobre el carbón, formando un radical central de carbón, el cual es estabilizado por un reacomodo molecular de los dobles enlaces para formar un

conjugado dieno el cual entonces se combina con oxígeno para formar un radical peróxido.

El radical peróxido es en sí mismo capaz de abstraer un átomo de hidrógeno de otro ácido graso poliinsaturado y así iniciar una reacción en cadena como se muestra en la Figura 14 (Halliwell & Gutteridge, 1984). El oxígeno molecular rápidamente se adhiere al radical carbonado central (R-) formado en este proceso, produciendo radicales peroxilo lipídicos (ROO-). La descomposición de peróxidos lipídicos es catalizada por complejos de metales de transición produciendo radicales alcoxilo (RO-) o hidroxilo (HO-). Estos participan en la iniciación de la reacción en cadena que en turno extraen el hidrógeno y perpetúan la reacción en cadena de la lipoperoxidación.

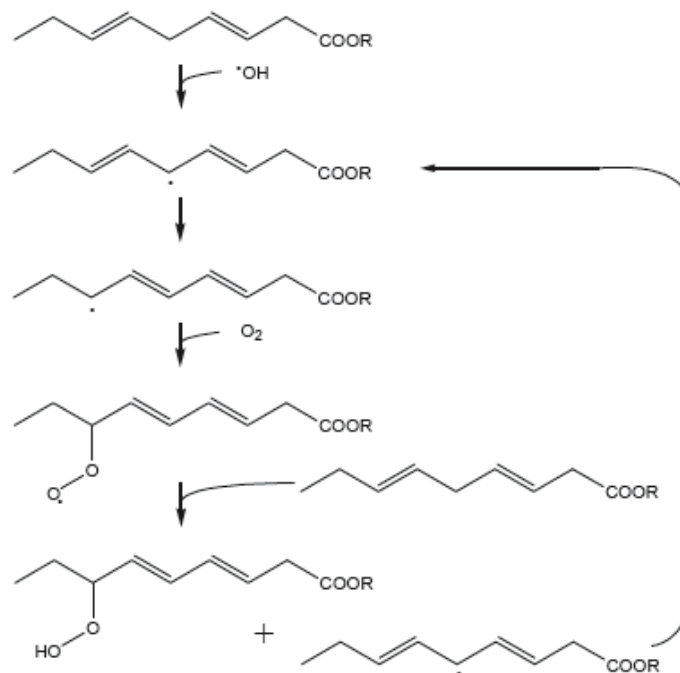


Figura 14. Peroxidación de lípidos. Un radical hidroxilo abstrae un hidrógeno de un ácido graso o molécula de lípido. El nuevo radical peroxilo formado puede iniciar una reacción en cadena por lo cual nuevos radicales peroxilo son formados (Halliwell & Gutteridge, 1984).

La formación de radicales peroxilo conlleva a la producción de hidroperóxidos orgánicos, los cuales, en turno, pueden sustraer hidrógenos de otro ácido graso insaturado. Esta reacción en términos de propagación implica la iniciación única de un ataque que puede resultar en la conversión de numerosos ácidos grasos poliinsaturados a lípidos hidroperóxidos. En secuencia de su aparición, radicales

alquilo, peroxilo y alcoxilo están involucrados. Los radicales de ácidos grasos resultantes se estabilizan por reordenamiento a dienos conjugados que retienen los productos más estables incluyendo hidroperóxidos, alcoholes, aldehídos y alcanos. El hidroperóxido lipídico (ROOH) es el primero, comparativamente estable, de los productos de la reacción de la peroxidación lipídica (Halliwell & Gutteridge, 1984).

Los complejos de hierro menos oxidados (Fe^{2+}) reaccionan con los peróxidos lipídicos (ROOH) para dar radicales alcoxilo, mientras que los complejos de hierro mayormente oxidados (Fe^{3+}) reaccionan más lentamente para producir radicales peroxilo. Ambos radicales pueden tomar parte en la propagación de la reacción en cadena. Los productos finales de este complejo con ion metálico que catalizan la ruptura de hidroperóxidos incluyen los aldehídos citotóxicos y gases hidrocarburo como el etano.

La reacción en cadena de radicales se propaga hasta que dos radicales libres se conjugan uno al otro para terminar la cadena. En la presencia de iones metálicos de transición, los ROOH pueden elevar la generación de radicales capaces de reiniciar la peroxidación lipídica por ciclos redox de estos iones metálicos (Halliwell & Gutteridge, 1984)

2.8 Antioxidantes

Los antioxidantes son compuestos que retrasan o previenen la autooxidación de los aceites mediante la inhibición de la formación de radicales libres o mediante la interrupción de la propagación del radical libre en uno (o más) de varios mecanismos como por ejemplo: el barrido de las especies que inician la peroxidación, la inhibición de iones quelantes metálicos que no son capaces de generar especies reactivas o descomponer los peróxidos lipídicos, el bloqueo del $\bullet O_2^-$ para prevenir la formación de peróxidos, la ruptura de la reacción en cadena de la autooxidación y/o la reducción de las concentraciones de O_2 localizadas (Nawar, 1996). Existen dos tipos de antioxidantes; de origen sintético y natural.

Generalmente los compuestos como el β -caroteno, lecitina y algunos derivados fenólicos se encuentran de manera natural en algunos aceites. Sin embargo, se encuentran en concentraciones bajas y su efectividad antioxidante es muy reducida por lo que actualmente se recurre a antioxidantes sintéticos como; butilhidroxitolueno (BHT), el butilhidroxianisol (BHA) y la terbutilhidroquinona (TBHQ).

Estos actúan donando protones a los radicales libres, reaccionan con ellos, los estabilizan y producen radicales del antioxidante menos reactivos, es decir que se consumen en la reacción y, por lo tanto, la estabilidad del lípido siempre dependerá de la cantidad residual de antioxidante (Badui, 2013).

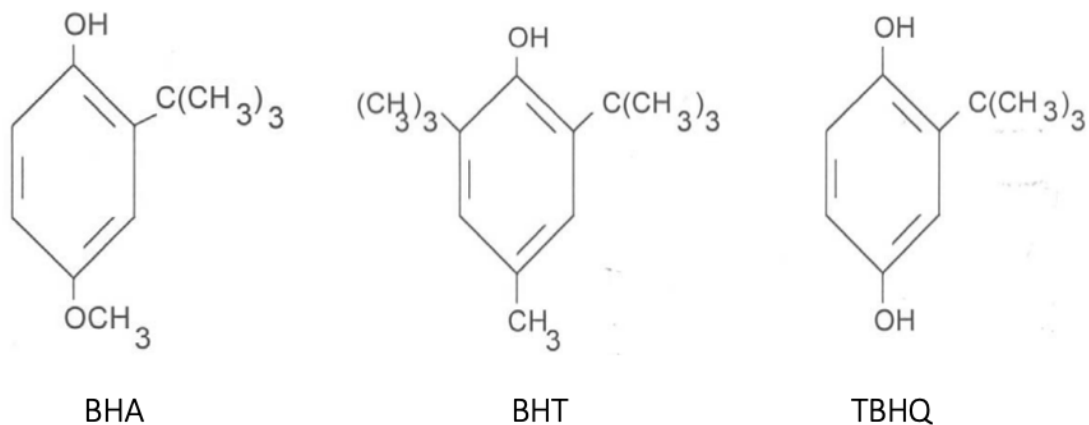


Figura 15. Antioxidantes más comunes (Badui, 2013).

El BHT y BHA son los antioxidantes fenólicos monovalentes más comunes de origen sintético, fuertemente solubles en grasas e insolubles en agua, el BHA se encuentra en el comercio como copos de cera blanca y el BHT como compuesto cristalino de color blanco (Shahidini & Wanasundara, 2002).

3. JUSTIFICACIÓN

Los aceites y las grasas, de acuerdo con su composición química y con su forma de manejo, se degradan y se dañan, con menor o mayor prontitud. El calor, el agua y la luz son algunos de los factores principales que contribuyen a dañar estos productos. Se sabe que el grado de deterioro de las grasas y aceites depende de las propiedades de cada tipo de grano y procesamiento para la extracción de aceites.

La acumulación de los productos primarios (hidroperóxidos, peróxidos, grupos alcoxi, radicales alquilo), además de ocasionar pérdida en la calidad de las materias grasas y de los productos elaborados a partir de estas materias primas, impacta de gran manera en los tejidos biológicos y con la presencia de enfermedades degenerativas. Debido al alto impacto del deterioro oxidativo sobre la calidad de los aceites, es uno de los procesos más vigilados y controlados, mismo que comúnmente es supervisado mediante la determinación del índice de peróxidos, como indicativo que se ha iniciado la degradación del material lipídico.

El desarrollo de la investigación propuesta permitirá ampliar la información de la vida útil y el desgaste de este grupo de alimentos en su periodo de anaquel e incluso una vez abiertos para antes de consumir.

4. HIPÓTESIS

La degradación oxidativa de los aceites puros de nuez, semilla de calabaza y su mezcla marcará una pauta para discutir su estabilidad en anaquel y consumo; al comparar su estado de autooxidación y fotooxidación con otros grupos de aceites, así mismo, discutir la suplementación con un antioxidante natural o sintético, y una prospectiva para su comercialización a escala industrial.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo General:

Evaluar el deterioro oxidativo por autooxidación y fotooxidación en vida de anaquel de 3 grupos de aceites (control, problema y exploratorios) de forma pura y sus mezclas, considerando como los aceites problema a aquellos aceites de frutos secos (nuez y semilla de calabaza), a través del índice de peróxido y confirmación por dienos y trienos conjugados.

5.2 Objetivos Específicos:

1. Evaluar el deterioro *oxidativo primario* del aceite de nuez.
2. Medir el deterioro *oxidativo primario* del aceite de semilla de calabaza.
3. Valorar el deterioro *oxidativo primario* de la mezcla de aceites de estos frutos secos (semilla de calabaza y nuez).
4. Cuantificar el deterioro *oxidativo primario* de una oleaginosa comercial como la soya y maíz.
5. Evaluar el deterioro *oxidativo primario* de aceites más recientes y gourmet comercializados como ajonjolí y cacahuate.
6. *Redactar y exponer una discusión puntual sobre la estabilidad de los aceites y sus mezclas*, a partir de la experimentación, para proponer los aceites de estos frutos secos como potenciales oleaginosas en su consumo fresco y como ingredientes en formulaciones alimentarias.

6. METODOLOGÍA:

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el laboratorio de alimentos en UPIIZ de la ciudad de Zacatecas, Zac., México. En donde se evaluaron varios tipos de aceites adquiridos (Figura 16), los cuales fueron destinados como muestras. Para el grupo control (comercial) se adquirió aceite comestible puro de maíz marca La Gloria ® (MZ) (Lote 2201 7272 MR) y aceite de soya marca Nutrioli ® (SY) (lote 180122 03:07L4); mientras que para el grupo problema fueron aceite de nuez marca Lapalisse ® (NZ) (lote 16:58 DLUO) y aceite de semilla de calabaza marca JEVICA ® (SC); en el grupo exploratorio se conformó de aceite de ajonjolí extra virgen (AJ) (lote 45261) y aceite de cacahuate tostado marca Inés® (CT) (lote 45516). Cada grupo de aceites se complementó con sus respectivas mezclas, como se muestra en la Tabla 3.



Figura 16. Aceites adquiridos para la evaluación y mezclas elaboradas.

Se realizaron 3 evaluaciones por triplicado para los aceites (temperatura ambiente de almacenamiento); la primera evaluación se realizó al abrir los envases de aceites, el cual se designó como tiempo 0; la segunda evaluación se realizó a los 35 días posteriores; y la tercera a los 70 días de almacenamiento.

Tabla 3. Muestras para el desarrollo de la metodología.

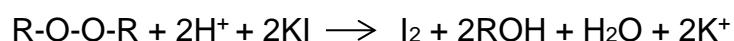
No. de muestra	Grupo	Clase	Proporción % v/v	Denominación	Aceite
1		Puro	-	MZ	Maíz
2	Control	Puro	-	SY	Soya
3		Mixto	1:1	MZ+SY	Maíz: Soya
4		Puro	-	NZ	Nuez
5	Problema	Puro	-	SC	Semilla de calabaza
6		Mixto	1:1	NZ+SC	Nuez: Semilla de calabaza
7		Puro	-	AJ	Ajonjolí
8	Exploratorio	Puro	-	CT	Cacahuete
9		Mixto	1:1	AJ+CT	Ajonjolí: Cacahuete

Elaboración propia

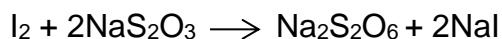
6.1 Determinación del índice de peróxidos

Índice de oxidación primaria

Se determinó el índice de peróxidos según lo señalado en la NMX-F-154-1987. ALIMENTOS. ACEITES Y GRASAS VEGETALES O ANIMALES. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE PERÓXIDOS. El método de valoración yodométrica consiste en la reacción entre una solución saturada de yoduro de potasio (KI) y una muestra de aceite. La técnica toma ventaja de la capacidad de los hidroperóxidos de oxidar a los iones yoduro (I-) a yodo elemental (I₂), como se describe en la siguiente ecuación:



El yodo formado da una medida cuantitativa de los peróxidos y/o hidroperóxidos presentes cuando es valorado con una solución de tiosulfato de sodio y almidón como indicador de punto final de titulación.



Para cada una de las muestras (Tabla 3). En un matraz Erlenmeyer de 250 mL se tomó una masa de 5.0 g ± 0.05 g de aceite, a cada una de las muestras se les agregaron 30 mL de solución de ácido acético-cloroformo (relación 3:2); se agitó hasta disolver la muestra. Se agregaron 0.5 mL de solución saturada de yoduro de potasio; después de que la muestra se reposó 1 minuto, se adicionaron 30 mL de agua destilada y 0.5 mL de indicador de almidón al 1% (Figura 17).

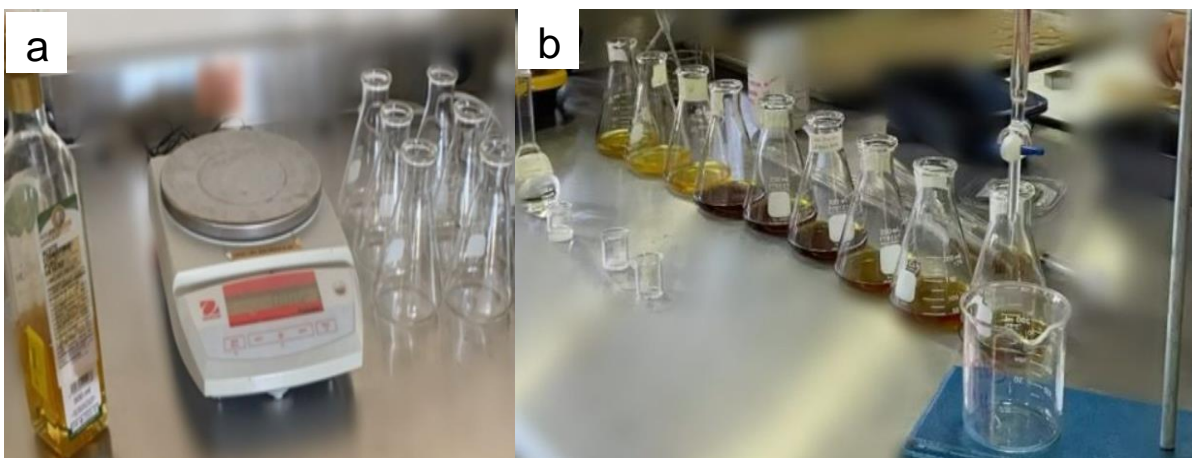


Figura 17. Preparación de muestras para medir IP.

a) Pesado de muestras en matraces Erlenmeyer; b) Preparación de las muestras previo a la titulación.

Seguidamente se tituló el yodo liberado con solución 0.1 N de tiosulfato de sodio (Apéndice 2), la muestra se agitó vigorosamente y por último se calculó el IP expresado en los miliequivalentes de peróxidos contenidos en un kilogramo de aceite mediante la siguiente fórmula:

$$I.P = (A - A_1) \times N \times 1000/M$$

En donde:

I.P = Índice de Peróxidos (meq O₂/kg aceite).

A = Mililitros de solución de tiosulfato de sodio gastados en la titulación de la muestra.

A₁= mL de solución de tiosulfato de sodio gastados en la titulación del blanco.

N = Normalidad de la solución de tiosulfato de sodio.

M= Masa de la muestra en gramos.

6.2 Dienes y trienos conjugados (DC y TC).

Los DC y TC fueron evaluados de acuerdo con el método reportado por la AOAC (2005), donde se evaluó el desplazamiento de un doble enlace hacia el carbono del grupo metilénico anexo, formando una estructura de dienos conjugados siendo un índice de oxidación primaria. Se disolvió 0.1g de muestra de aceite en 25 mL de hexano, posteriormente se realizó la medición de absorbancia, en un espectrofotómetro UV-Visible *Genesys 10* (Figura 18) a 232 y 268 nm respectivamente para cada una de las muestras. Se utilizó el hexano como blanco. Para la expresión de resultados se realizó el cálculo de la siguiente manera:



Figura 18. Espectrofotómetro UV-Visible Genesys 10

$$K \lambda: \frac{E \lambda}{C \times e}$$

Donde:

$K \lambda$: Coeficiente de extinción específico.

$E \lambda$: Extinción medida en el espectrofotómetro a dicha longitud de onda.

C : Concentración de la disolución de aceite (g/100 ml).

e : Paso óptico de la cubeta (1 cm).

6.3 Análisis estadísticos

Para los diferentes estudios se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con un diseño completamente al azar. De esta manera se obtuvo un promedio y los valores expresados como medias \pm la desviación estándar para determinar las diferencias entre los tratamientos, y una comparación de medias por medio de la prueba de F ($p \leq 0.05$).

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Índice de peróxidos

El índice de peróxidos (IP) es un parámetro el cual permite determinar la calidad del aceite comestible, se utilizó como indicativo del grado de oxidación inicial de los aceites. Los peróxidos son compuestos inodoros e incoloros, sin embargo, se encuentran susceptibles a sufrir degradaciones posteriores, en donde se favorece a la producción de otros compuestos como alcoholes, cetonas, alcanos, aldehídos y ácidos carboxílicos, los cuales son responsables de olores indeseables, asociados con la rancidez.

A manera de evaluar el cambio de oxidación en un periodo de 70 días, se adquirieron 6 distintos aceites puros de los cuales resultaron 3 mezclas, los aceites se mantuvieron en el laboratorio de UPIIZ a temperatura ambiente, cerrados, sin exposición a la luz en almacenamiento, simulando un periodo de tiempo en la alacena cerrada de un hogar, una vez que el consumidor los adquiere, comienza a darles uso y almacena el producto restante. Los resultados de estos cambios en el aceite de maíz, soya y la mezcla MZ+SY se muestran a continuación en la Tabla 4.

Tabla 4. Índice de peróxidos (IP) en el grupo de aceites control, durante 70 días.

Tiempo (días)	Maíz	Soya	Mezcla MZ+SY
Índice de Peróxido (meq O₂/kg de aceite)			
0	1.73 ± 0.41	1.73 ± 0.12	1.79 ± 0.19
35	2.26 ± 0.10	2.73 ± 0.30	2.40 ± 0.20
70	2.99 ± 0.33	2.99 ± 0.53	2.45 ± 0.10

Se muestran las medias; ± desviación estándar (n=3).

En la Figura 16 se muestra el contenido de IP resultante de la evaluación para el grupo de aceites control y su mezcla en relación con el tiempo de almacenamiento

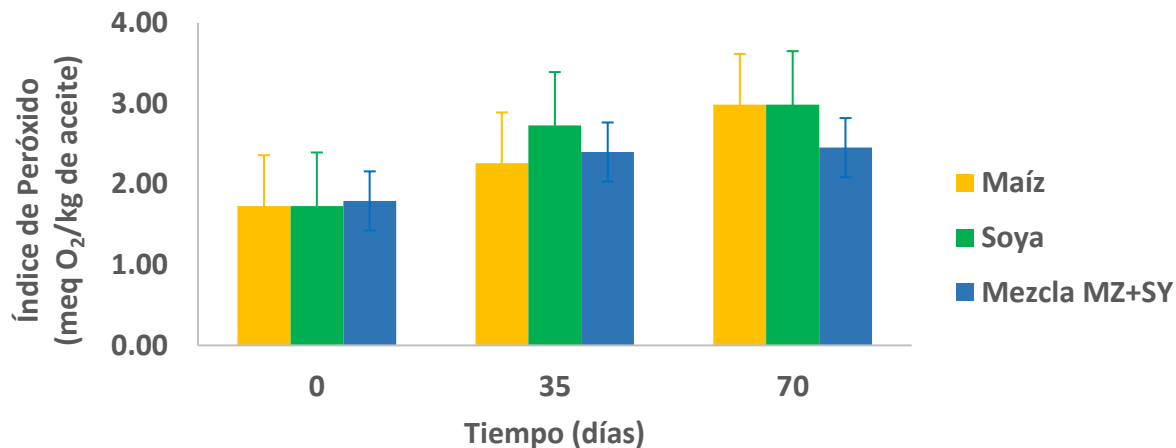


Figura 19. Cambios en el índice de peróxidos (IP) del grupo control y su mezcla.

Los valores expresan la media ± desviación estándar (n=3).

Los resultados anteriores (Figura 19) muestran que la mezcla MZ+SY fue el aceite más estable durante el tiempo de almacenamiento, su valor cambió de 1.79 a 2.45

meq O₂/kg; seguido por los aceites de maíz y soya con valores desde 1.73 a 2.99 meq O₂/kg. Para este grupo de aceites el contenido de IP mayor se presentó a los 70 días en aceites de maíz y soya con 2.99 meq O₂/kg y 2.45 meq O₂/kg en la mezcla MZ+SY. Cabe mencionar que los valores iniciales de los aceites de maíz y soya, a la medición inicial se mantienen por debajo del valor máximo permitido al envasar de 2.0 meq O₂/kg, señalado en NMX-F-030-SCFI-2011 y NMX-F-252-SCFI-2005 respectivamente. De tal manera que es evidente el deterioro de los aceites comerciales conforme el transcurso de los días en almacenamiento.

La tabla 5 muestra el contenido de IP para el grupo de aceites problema (aceites de frutos secos) durante el tiempo de almacenamiento. Estos resultados indican que el orden de estabilidad respecto a la oxidación es: nuez, mezcla NZ+SC.

Tabla 5. Índice de peróxidos (IP) en el grupo de aceites problema, durante 70 días.

Tiempo (días)	Nuez	Semilla de Calabaza	Mezcla NZ+SC
Índice de Peróxido (meq O₂/kg de aceite)			
0	3.05 ± 0.23	3.91 ± .022	3.84 ±0.41
35	3.46 ± 0.30	7.90 ±0.27	6.7 ± 0.45
70	3.71 ± 0.12	8.27 ± 0.12	7.02 ± 0.1

Se muestran las medias; ± desviación estándar (n=3).

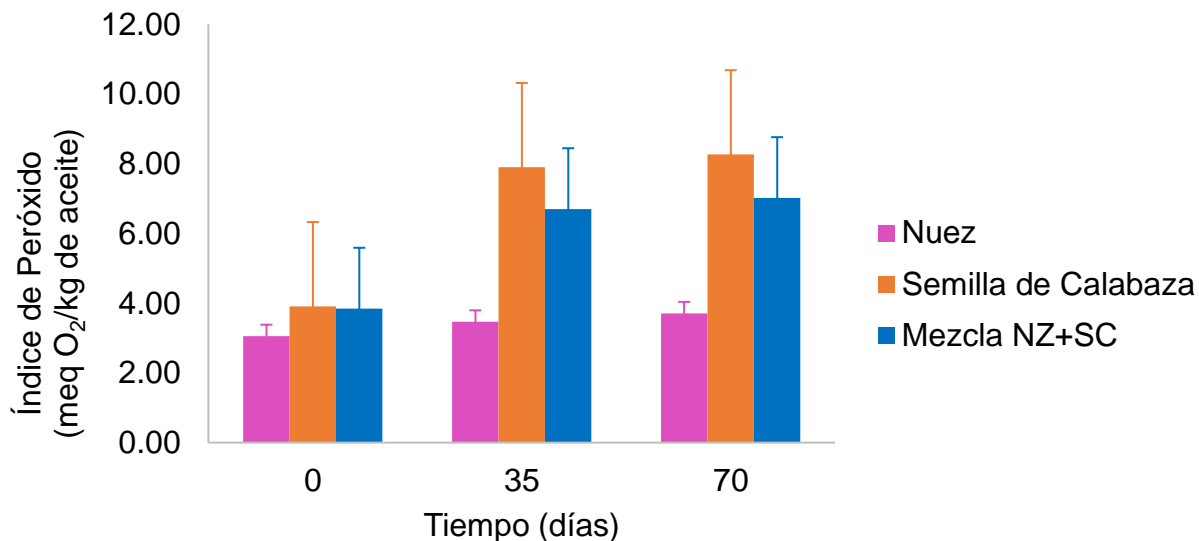


Figura 20. Cambios en el índice de peróxidos (IP) del grupo de aceites problema. Se muestran las medias; \pm desviación estándar ($n=3$).

Los tres tipos de aceite que conforman el grupo, tanto puros como la mezcla, aumentan su IP a medida que transcurre el tiempo. En contraste al grupo de aceites control donde los IP iniciales son menores a 2.0 meq O₂/kg, en el caso de los aceites problema presentaron el aceite nuez 3.05, semilla de calabaza 3.91 y mezcla NZ+SC 3.84 meq O₂/kg.

Sin embargo, el aceite de nuez alcanza un valor máximo de 3.71 meq O₂/kg, la mezcla también aumenta su valor a 7.02 meq O₂/kg y el aceite de semilla de calabaza supera el valor de 8 meq O₂/kg. Aún cuando se reporta en la literatura que la semilla de calabaza contiene una cantidad alta de antioxidantes que protegen contra los procesos de oxidación (Valenzuela et al., 2014) en comparación con los valores para IP del resto de los aceites evaluados, este es mayor. Referente al aceite de nuez la NMX-FF-093-SCFI-2011 clasifica a el aceite en tres tipos; calidad I, calidad II y calidad III, donde los valores permitidos son: ≤ 5 meq O₂/kg, 5 meq O₂/kg a <10 meq O₂/kg y 10 meq O₂/kg a ≤ 15 meq O₂/kg respectivamente. Por lo tanto, de acuerdo con la norma el aceite se encuentra de nuez se encuentra en calidad I.

Respecto al grupo de aceites exploratorios, los resultados obtenidos se presentan en la tabla 6 donde se encuentran los valores de IP determinados para los aceites de ajonjolí, cacahuate y su mezcla AJ+CT.

Tabla 6. Índice de peróxidos (IP) en el grupo de aceites exploratorios, durante 70 días.

Tiempo (días)	Ajonjolí	Cacahuate	Mezcla AJ+CT
Índice de Peróxido (meq O₂/kg de aceite)			
0	3.31 ± 0.10	3.46 ± 0.11	3.32 ± 0.11
35	3.53 ± 0.22	3.52 ± 0.10	3.52 ± 0.11
70	4.89 ± 0.10	5.49 ± 0.30	5.26 ± 0.22

Se muestran las medias; ± desviación estándar (n=3).

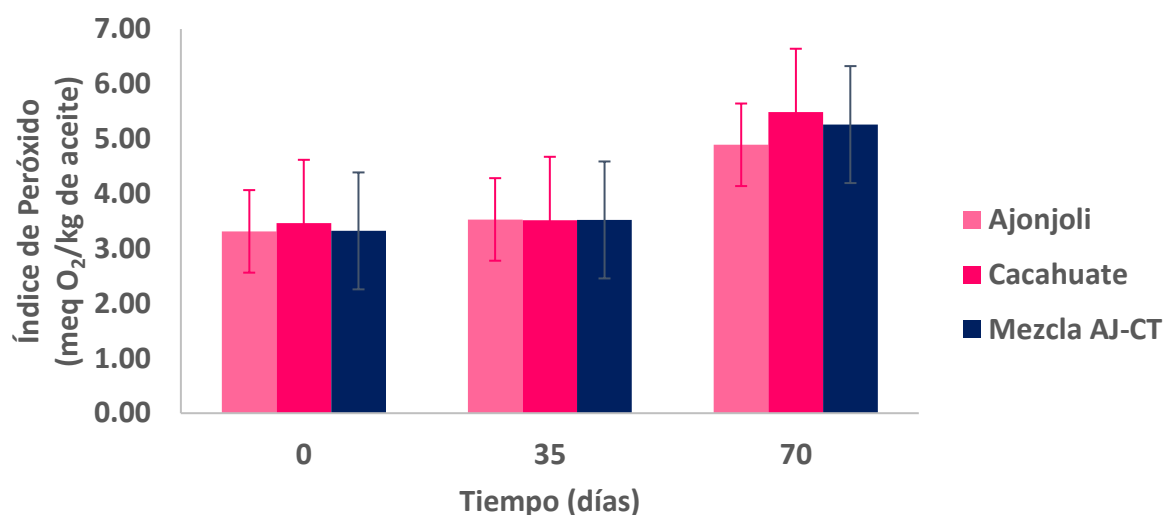


Figura 21. Cambios en el índice de peróxidos (IP) del grupo exploratorio. Se muestran las medias; ± desviación estándar (n=3).

En la Figura 21 al aceite de ajonjolí le corresponden los valores menores de IP, entre 3.31 y 4.89 meq O₂/kg muestra ser el aceite más estable del grupo, seguido de la mezcla AJ+CT que tuvo 3.32 meq O₂/kg como valor inicial y el aceite de cacahuate

3.46 meq O₂/kg. Dichos valores iniciales de los aceites puros (ajonjolí y cacahuate) son semejantes a los reportados por la PROFECO en el 2019 en una de sus revistas del consumidor dedicadas a los aceites.

De acuerdo con los resultados anteriores de los tres grupos de aceites. Las mezclas MZ+SY, NZ+SC y AJ+CT tienen una característica semejante dentro de los grupos a los que pertenecen. Al mezclarse un aceite con otro, se reacomoda el perfil de ácidos grasos para la mezcla, mostrándose más estable en el deterioro oxidativo que los aceites puros que la componen.

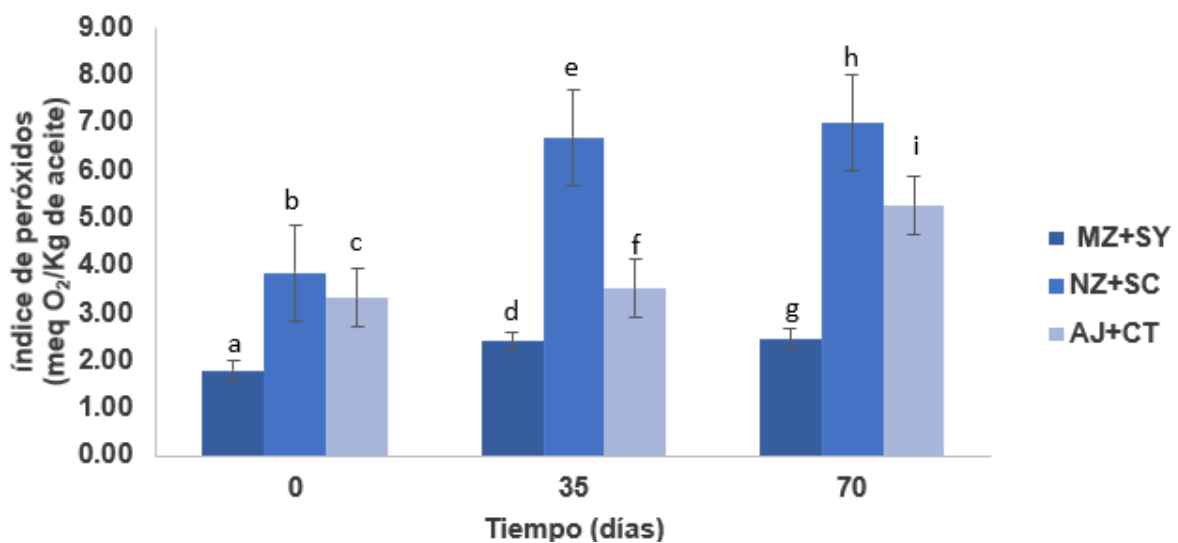


Figura 22. Índice de peróxidos en las mezclas de aceites.

Los valores presentan la media \pm desviación estándar ($n=3$). Valor con diferente letra no es significativamente diferente mediante la prueba F ($\alpha=0.05$).

Como se muestra en la Figura 22 de acuerdo con la prueba estadística realizada (Apéndice 1) las medias correspondientes al IP de cada mezcla no son significativamente iguales entre sí. Pues la composición de ácidos grasos es completamente diferente en cada una de ellas en relación con los aceites que componen la mezcla y por consecuencia la tendencia a degradarse es distinta. De acuerdo con los valores anteriormente mencionados, la mezcla MZ+SY es más estable puesto se tiene la garantía de TBHQ, seguida de la mezcla AJ+CT y posterior la mezcla NZ+SC. Además, se evidencia una tendencia a la estabilidad por parte de la mezcla MZ+SY y a mantener los valores para IP, aunque hubiese deseado otra evaluación a los 30 días posteriores con el fin de la confirmación de dicho enunciado.

De acuerdo con las referencias bibliográficas del proyecto de investigación los ácidos grasos insaturados son altamente reactivos con el oxígeno en sus puntos de insaturación. Por ende, las grasas constituidas por ácidos grasos saturados son más resistentes a la oxidación y más estables.

No obstante, la mezcla con IP más altos es NZ+SC en comparación con los otros aceites en cada una de las mediciones. Cabe mencionar que los aceites utilizados de frutos secos en el etiquetado no declaran antioxidantes añadidos al envasar además se evidencia la ausencia de estos, mientras que el aceite de maíz La Gloria® y aceite de soya Nutrioli® declaran el uso de antioxidantes sintéticos (Figura 23). Por lo que se refleja la ventaja del uso de antioxidantes sintéticos (TBHQ y TBHA) o naturales (hierbas aromáticas), para conservar y aumentar la vida de anaquel de los aceites.



Figura 23. Etiquetas de aceites adquiridos. Declaración del uso de TBHQ y ausencia del antioxidante en las etiquetas. a) Aceite de maíz; b) aceite de soya; c) aceite de nuez y d) aceite de semilla de calabaza.

Considerando que un aceite con valores de peróxidos de 1 a 5 meq/kg es clasificado como de bajo estado de oxidación; aquellos entre 5 y 10 meq O₂/kg están en oxidación moderada y los que se encuentran arriba de 10 meq O₂/kg son clasificados como de alto estado de oxidación (CODEX-STAN 210-1999). Todos los aceites evaluados en esta investigación se clasifican de estado bajo de oxidación, ya que los valores obtenidos no se encuentran al límite para clasificarlos como aceites de alto estado de oxidación. Los valores del grupo control (maíz, soya y mezcla MZ+SY) cambiaron de 1.73 a 2.45 meq de O₂/kg, lo que demostró que, de los aceites evaluados, su IP es menor al resto. Sin embargo, de acuerdo con los valores obtenidos (Tabla 5) el aceite de nuez (aceite de fruto seco) se mantiene más estable a diferencia del resto de las muestras durante el almacenamiento con su respectivo valor de IP de 3.05 a 3.71 meq O₂/kg.

En general los valores de IP tienden a incrementar cuando la formación de hidroperóxidos es mayor que la tasa de descomposición. La determinación del contenido de productos primarios es limitada e inestable debido al proceso transitorio natural de los peróxidos a hidroperóxidos, pero su presencia puede indicar el potencial de transformación posterior de compuestos sensoriales en el aceite.

Dado a que el método de determinación de índice de peróxidos se limita a las primeras etapas de oxidación cuando alcanzan una concentración máxima (Badui, 2013) y aun cuando los dienos conjugados se forman en la etapa inicial de oxidación estos se encuentran propensos a la descomposición y formación de trienos conjugados que corresponden a la oxidación secundaria. Se decidió realizar el análisis estadístico (ANOVA) a los valores de IP correspondientes a las mezclas de los grupos estudiados.

7.2 Dienos y trienos conjugados (DC y TC)

Dentro de la oxidación primaria se generan los dienos conjugados, donde los ácidos grasos poliinsaturados se encuentran propensos a la formación de hidroperóxidos, mientras que trienos conjugados están relacionados con la presencia de algunos compuestos de oxidación secundaria particularmente los que contienen un grupo funcional carbonilo, tales como aldehídos y cetonas. Inmediatamente después de que se han formado los peróxidos, los dobles enlaces no conjugados presentes en los lípidos insaturados sufren un rearrreglo generando dienos conjugados (DC), los cuales absorben a 232 nm en espectroscopía (Gertz y col., 2000). Los cambios en la absorbancia UV a 232 y 268 nm son cuantificados por K232 y K268 y han sido utilizados como una medida relativa de la oxidación (De Abreu y col., 2010).

El incremento en K232 y K268 es proporcional a la toma de oxígeno y la formación de peróxidos durante las primeras etapas de la oxidación, así como la degradación de la tasa de ácidos grasos insaturados (Che Man y col., 1999).

7.2.1 Dienos conjugados

Los resultados obtenidos en la Tabla 7 muestran los valores promedio de dienos conjugados referentes a la disposición de los dobles enlaces en los aceites correspondientes al grupo control.

Tabla 7. Dienos conjugados en el grupo aceites control.

Tiempo (días)	Maíz	Soya	Mezcla MZ+SY
K232 (g-10 mL⁻¹)			
0	0.35 ± 0.04	0.39 ± 0.03	0.40 ± 0.01
35	1.11 ± 0.00	1.17 ± 0.01	1.17 ± 0.01
70	1.10 ± 0.01	1.14 ± 0.00	1.10 ± 0.00

Se muestran las medias; ± desviación estándar (n=3).

La Tabla 8 corresponde el promedio de las mediciones de K232 por triplicado en cada uno de los tiempos, para el grupo de aceites problema.

Tabla 8. Dienos conjugados en el grupo correspondientes a aceites problema.

Tiempo (días)	Nuez	Semilla de Calabaza	Mezcla NZ+SC
K232 (g-10 mL⁻¹)			
0	0.41 ± 0.01	0.56 ± 0.04	0.48 ± 0.01
35	1.22 ± 0.01	1.39 ± 0.01	1.33 ± 0.01
70	1.20 ± 0.01	1.29 ± 0.01	1.24 ± 0.00

Se muestran las medias; ± desviación estándar (n=3).

Los valores de K32 para los aceites de ajonjolí, cacahuate y la mezcla AJ+CT, que integran el grupo de aceites exploratorios, se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9. Dienos conjugados en el grupo de aceites exploratorios.

Tiempo	Ajonjolí	Cacahuate	Mezcla AJ+CT
K232 (g-10 mL⁻¹)			
0	0.43 ± 0.00	0.29 ± 0.02	0.36 ± 0.01
35	1.16 ± 0.01	0.86 ± 0.00	0.71 ± 0.01
70	1.16 ± 0.01	0.94 ± 0.00	1.03 ± 0.00

Se muestran las medias; ± desviación estándar (n=3).

En relación con los valores de absorbancia estas moléculas aumentaron respecto a los valores iniciales. Las Figuras 24, 25 y 26 representan de manera gráfica el comportamiento con el transcurso del tiempo de tal manera que la formación de DC fue evidente para los distintos tres grupos del tiempo 0 a los 35 días y posteriormente

comienza la descomposición en el siguiente tiempo de 35 a 70 días en el grupo control y problema. Resultados con tendencia similar a la investigación por Turan y Yalcuk (2013) quienes encontraron niveles de dienos conjugados de 0.46-2.29 en aceite de soya fresco y sometido a freído por 30 horas a 190°C.

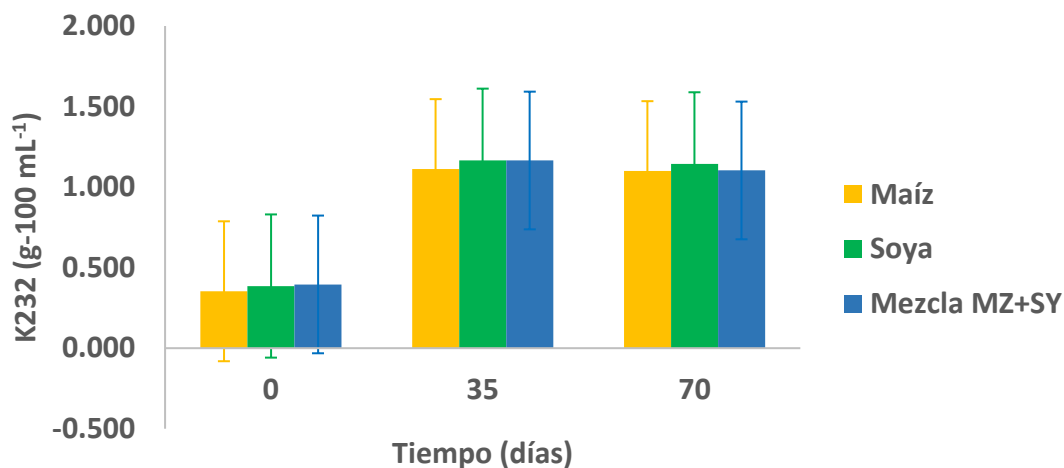


Figura 24. Dienos conjugados (DC) del grupo control de aceites. Se muestran las medias; \pm desviación estándar (n=3).

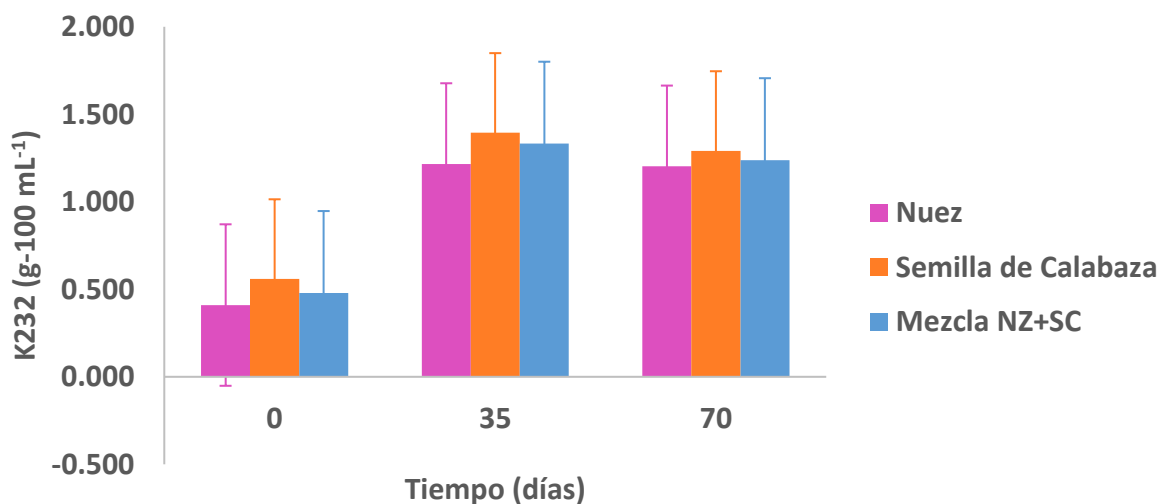


Figura 25. Dienos conjugados (DC) del grupo problema. Se muestran las medias; \pm desviación estándar (n=3).

De acuerdo con la Figura 26 en la que se ilustra el comportamiento de los DC en los aceites del grupo exploratorio. En contraste de los grupos control y problema, el comportamiento de DC para este grupo fue solo creciente durante los 70 días de almacenamiento.

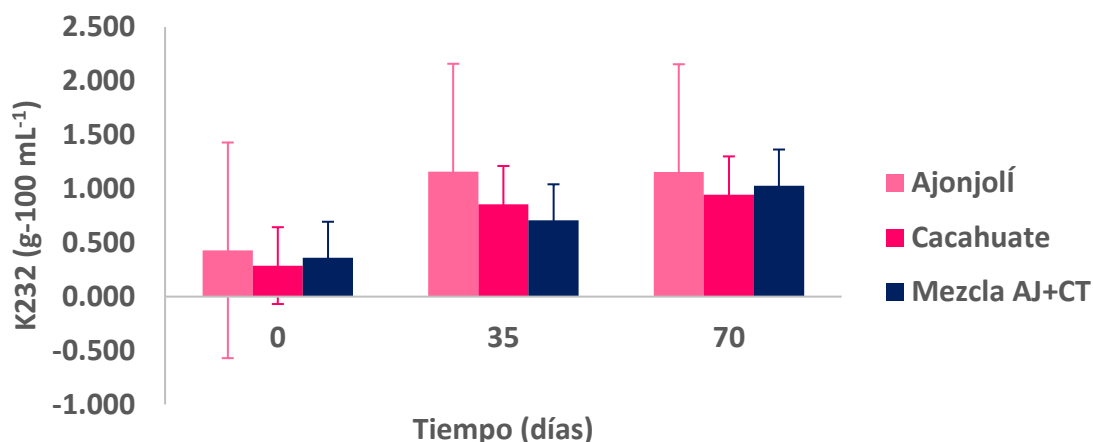


Figura 26. Dienos conjugados (DC) del grupo exploratorio. Dienos conjugados (DC) del grupo control de aceites. Se muestran las medias; \pm desviación estándar ($n=3$).

Sí bien el aceite de ajonjolí inicia en un valor de 0.43, aumenta a 1.16 y se mantiene hasta la última medición. El aceite de ajonjolí, cacahuete y la mezcla AJ+CT no presentaron destrucción de peróxidos en ese periodo de tiempo.

Como consecuencia de la oxidación primaria, una medida de la alteración de los lípidos son los cambios de K232 debido a la conjugación de dobles enlaces en las estructuras moleculares de los aceites. De acuerdo con los valores de desviación estándar se evidencia que la variación de la formación de estas moléculas en los aceites es semejante. Ahora bien, se mostró en la Tabla 5, el incremento en el valor de los dienos, pero algunos se estabilizaron y otros disminuyeron, debido al aumento de la velocidad de destrucción de peróxidos tal como Codony et al., (2010) explica este fenómeno en su investigación de valoración analítica y nutricional de las grasas. Además, menciona que, debido a determinados compuestos secundarios de oxidación, procedentes a la destrucción de los peróxidos, existe la posibilidad de que estructura similar a los DC (aldehídos monoinsaturados) formen parte de la lectura espectrofotométrica a 232nm.

7.2.2 Trienos conjugados

Dado a que los peróxidos lipídicos son dienos conjugados y la determinación de estos en los aceite es una representación de la primera etapa de oxidación, algunos compuestos secundarios son formados por la degradación de los peróxidos que poseen estructuras de trienos conjugados (TC) que reflejan la aparición de productos de oxidación tales como α - y β -dicetonas insaturadas y β -cetonas, típicas de aceites en procesos de rancidez (Che Man, et al., 1999). Los resultados presentados en la Tabla 10 resalta el proceso causado por la disposición de los dobles enlaces para el grupo de aceites control, donde se muestra el aumento en K268 de 0.71 a 0.73 g-100 mL⁻¹ mientras que el aceite de soya y la mezcla disminuyeron sus valores de 35 a 70 días en la alacena.

Tabla 10. Trienos conjugados en aceites control.

Tiempo (días)	Maíz	Soya	Mezcla MZ+SY
K268 (g-100 mL⁻¹)			
0	0.71 ± 0.02	1.17 ± 0.04	0.96 ± 0.05
35	0.71 ± 0.00	1.27 ± 0.00	1.00 ± 0.00
70	0.73 ± 0.00	1.14 ± 0.00	0.92 ± 0.00

Se muestran las medias; ± desviación estándar (n=3).

Tabla 11. Trienos conjugados en aceites problema.

Tiempo (días)	Nuez	Semilla de Calabaza	Mezcla NZ+SC
K268 (g-100 mL⁻¹)			
0	1.70 ± 0.00	1.95 ± 0.02	1.87 ± 0.05
35	1.28 ± 0.00	1.96 ± 0.71	2.07 ± 0.00
70	0.42 ± 0.00	1.98 ± 0.00	1.54 ± 0.00

Se muestran las medias; ± desviación estándar (n=3).

De acuerdo con los valores obtenidos de absorbancia en la Tabla 11 correspondiente al grupo de aceites problema, el valor de K268 para los 3 tiempos solo se incrementó en el aceite de semilla de calabaza, en tanto los aceites de nuez y la mezcla NZ+SC se redujeron respecto a sus valores iniciales. Respecto a los valores de TC en los aceites exploratorios, el aceite de ajonjolí disminuyó de manera constante su valor de K68. Sin embargo, los aceites de cacahuate y la mezcla AJ+TC disminuyeron su valor a partir del inicial y volvieron a aumentar en la última medición.

Tabla 12. Trienos conjugados en aceites exploratorios.

Tiempo (días)	Ajonjolí	Cacahuate	Mezcla AJ+CT
K268 (g-100 mL⁻¹)			
0	1.91 ± 0.01	0.52 ± 0.02	1.15 ± 0.03
35	1.84 ± 0.00	0.50 ± 0.00	0.57 ± 0.00
70	1.76 ± 0.00	0.56 ± 0.00	1.08 ± 0.00

Se muestran las medias; ± desviación estándar (n=3).

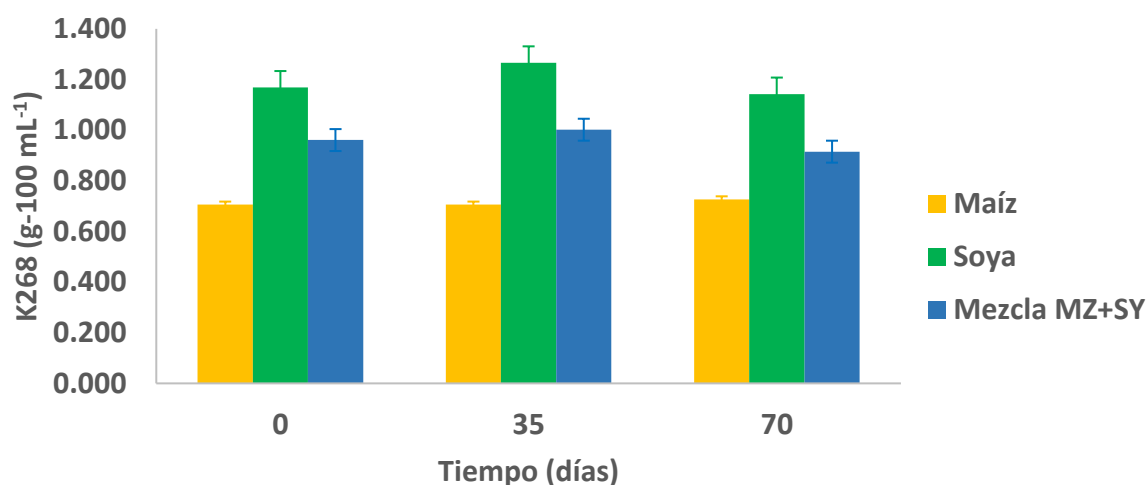


Figura 27. Trienos conjugados (TC) formados en la oxidación del grupo de aceites control.

En la Figura 28 los valores correspondientes al aceite de semilla de calabaza fueron incrementando de 1.96 a 1.98 g/100 mL, mientras que para el de nuez se redujeron de 1.79 a 0.43 y la mezcla NZ+SC 1.88, 2.07 y 1.55 g/100 mL respectivamente. Dado que para los aceites exploratorios se muestra en la Figura 29, el de ajonjolí se redujo de 1.91 a 1.76 g/100 mL, medidas de 0.52 a 0.56 para el de cacahuete, mientras que la mezcla AJ+CT 1.15, 0.57 y 1.08. El aumento en los valores del coeficiente de extinción específica K268 equivalente a los valores de TC, se atribuye a el incremento en la presencia de compuestos secundarios que son formados por la destrucción de los peróxido.

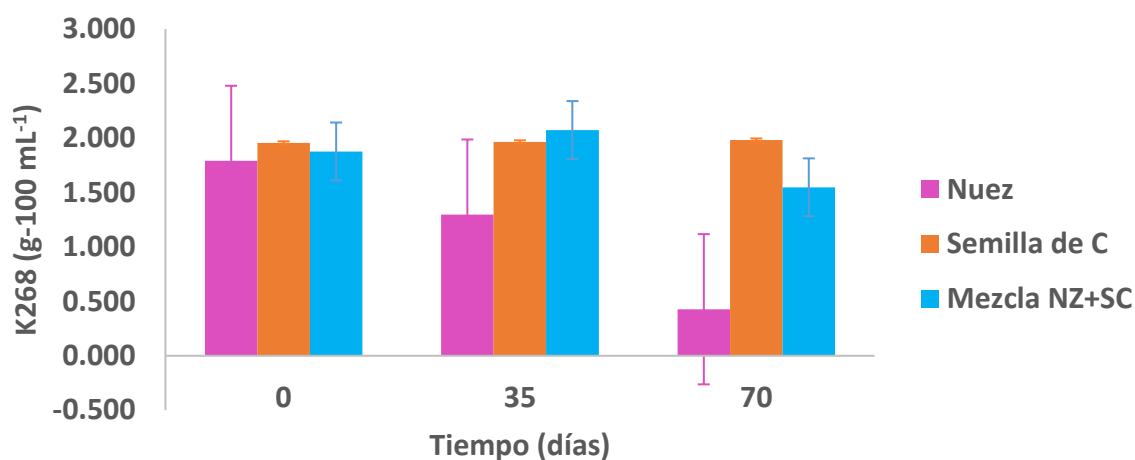


Figura 28. Trienos conjugados (TC) formados en la oxidación del grupo de aceites problema. Se muestran las medias; \pm desviación estándar (n=3).

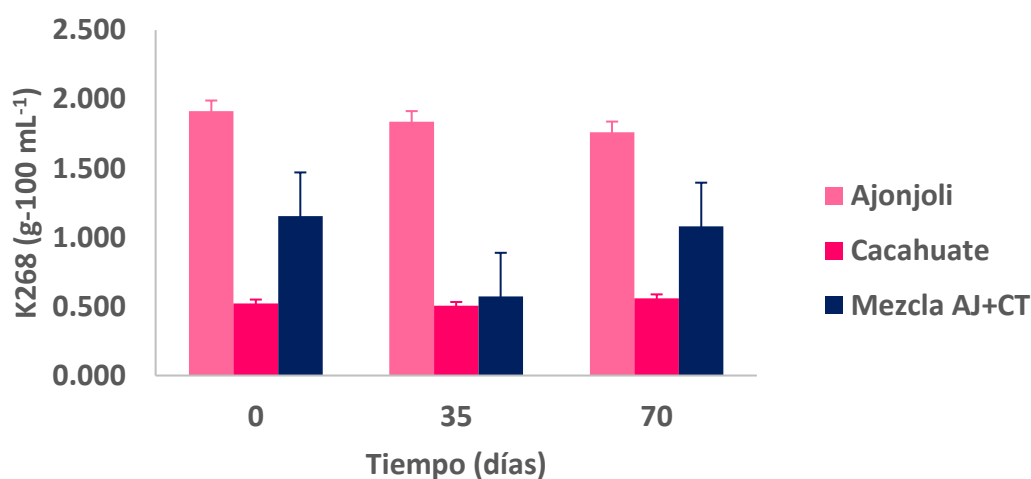


Figura 29. Trienos conjugados (TC) formados en la oxidación del grupo de aceites exploratorios. Se muestran las medias; \pm desviación estándar (n=3).

Por otra parte, Longoria (2016) infiere que el contenido de ácidos grasos insaturados influye en la susceptibilidad de un aceite para autooxidarse y es posible el incremento de los valores de TC. Además, los bajos niveles de trienos conjugados sugieren la ausencia de linoleato el cual es un producto de oxidación de ácidos grasos insaturados y precursor de manoaldehído (Gavarró, Bringas, & Pacheco, 2004).

En el caso de los trienos que no muestran una tendencia predecible, es la determinación cuantitativa e individualizada de los compuestos volátiles de la oxidación secundaria. Los compuestos volátiles proceden de la destrucción de los peróxidos lipídicos. En la actualidad el método más indicado para el seguimiento de los TC es la cromatografía de gases (Codony et al., 2010).

En seguida se exponen dos figuras comparativas del incremento en el índice de peróxidos respecto a la tendencia de los DC y TC en el grupo de aceite problema (frutos secos).

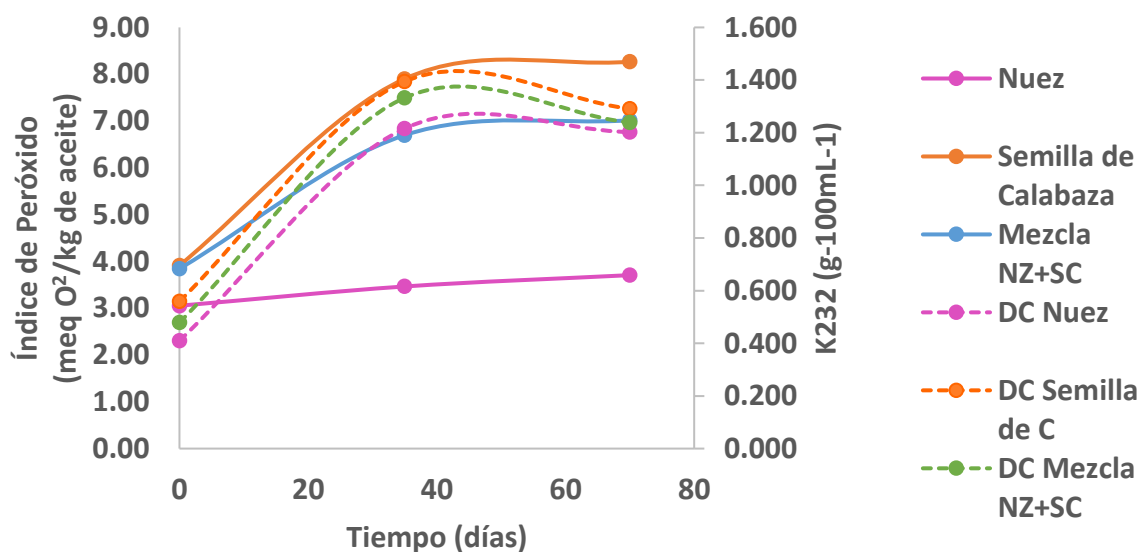


Figura 30. Índice de peróxidos respecto a K232 en los aceites del grupo problema.

Los aceites vegetales indican los valores para DC de ácidos grasos con tendencia semejante para el índice de peróxidos, dado que cuando aumenta la velocidad de destrucción de peróxidos, el nivel de dienos conjugados llega a estabilizarse e incluso a disminuir con el tiempo, independientemente del tipo de aceite como se ilustra en la Figura 31. Además, determinados compuestos secundarios de oxidación, procedentes de la destrucción de los peróxidos pueden también tener estructuras de dienos conjugados (aldehídos monoinsaturados).

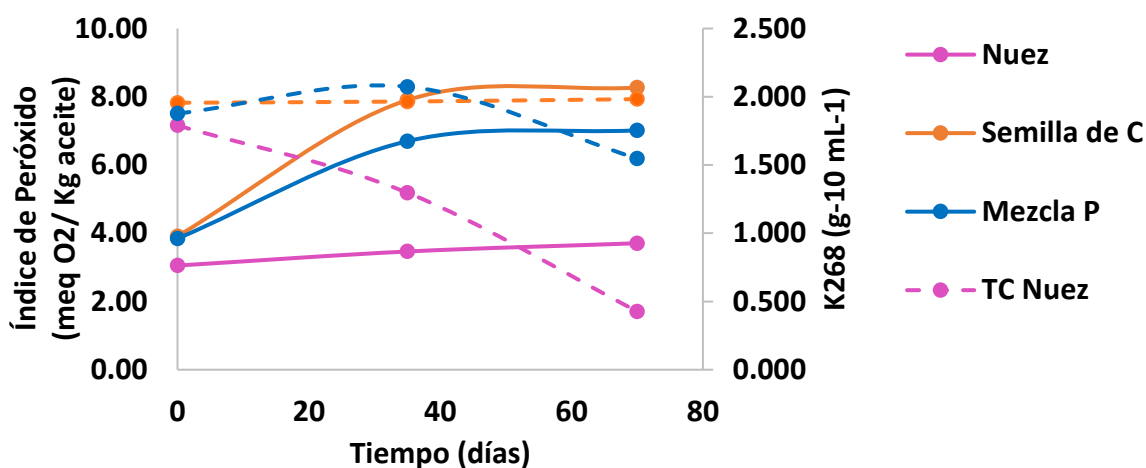


Figura 31. Índice de peróxidos respecto a K268 en los aceites del grupo problema

Por otra parte, los valores de TC aumentan en relación al IP y es posible mencionar que después del punto de equilibrio a los 35 días, conforme el aceite se comienza a comportar de manera estable respecto al IP, el coeficiente de extinción K268 tiende a incrementar como se muestra en el caso del aceite de nuez y en una tendencia de incremento continuo de IP, los TC al punto medio del tiempo de almacenamiento comienzan a disminuir o estabilizarse como se muestra para la semilla de calabaza y la mezcla NZ+SC. Tal comportamiento se relaciona con el perfil de ácidos grasos que caracteriza a cada aceite.

Cabe mencionar que características fisicoquímicas como la viscosidad no se encuentran directamente relacionadas con la oxidación primaria de los aceites, en una investigación Lázaro (2018) menciona que la viscosidad solo se ve aumentada por los compuestos poliméricos que se forman durante la fritura y por tanto es indicativo del grado de alteración y deterioro del aceite.

En cuanto a las oleaginosas, son nombradas aquellas semillas o granos que son empleados para la obtención de grasas para el consumo humano (Ansorena, 2000). Los cultivos de mayor producción y cotización en los mercados mundiales son: soya, canola, cártamo, algodón, girasol, olivo, maíz, lino, cacahuate y ajonjolí. En México el resto se posiciona en los cultivos de: soya, canola cártamo y girasol (SADER, 2017).

El sector oleaginoso consta de dos actividades: la actividad agropecuaria caracterizada por la producción de los granos oleaginosos y el proceso de industrialización donde se elaboran aceites y subproductos. Sin embargo, la mayoría de las oleaginosas son destinadas para la extracción de aceites, recomendados para cocinar, elaborar pan, aderezos, frituras y nutraceuticos. Una vez finalizado el proceso de extracción de aceite se prepara la pasta restante para la alimentación de animales de establo, también conocido como forraje.

8. CONCLUSIONES

- Los aceites de frutos secos presentaron valores más altos en índice de peróxidos, DC y TC, principalmente en comparación con los aceites de soya y maíz, indicando que estos aceites problema están más propensos a las siguientes etapas de oxidación. Sin embargo, el aceite de nuez se mostró más estable entre las 9 muestras evaluadas (maíz, soya, MZ+SY, nuez, semilla de calabaza, NZ+SC, ajonjolí, cacahuate y AJ+CT) lo que indica que su deterioro es más tardío aun cuando el producto ha tenido contacto con el oxígeno.
- La formación de peróxidos para el aceite de nuez durante un periodo de 70 días es menor que en los aceites exploratorios (ajonjolí y cacahuate) que se encuentran ya establecidos en supermercado. Por otro lado, el aceite de semilla de calabaza mostró valores superiores al resto, en la creación de compuestos característicos del deterioro.
- Se consideran como oleaginosas a la nuez y la semilla de calabaza, al ser empleadas para la obtención de grasas para el consumo humano.

9. RECOMENDACIONES Y PROSPECTIVAS

1. Evaluar los aceites, previo a la adición de antioxidantes.
2. Comparar aceites crudos con los comerciales que contienen antioxidantes.
3. Ampliar el tiempo de evaluación mayor a 70 días para conocer la tendencia en un lapso de tiempo mayor.
4. Realizar la evaluación del deterioro por otros métodos analíticos.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- A, W. A. (2004). ¿Por qué se enrancian las grasas y aceites? *PALMAS*, 9.
- Almonor, G. O., Fenner, G. P., & Wilson, R. F. (1998). Temperature effect on tocopherol composition in soybeans with genetically improved quality. *Oil Chem: J. Am.*
- Ansorena, D. (2000). Frutas y Frutos Secos. En I. Astiasarán, & J. A. Martínez, *Alimentos Composición y Propiedades* (pág. 370). Getafe (Madrid): McGraw-Hill INTERAMERICANA DE ESPAÑA S.A.U.
- Badui, D. S. (2013). *Química de los Alimentos*. Ciudad de México: Pearson.
- Bernardini, E. (1981). TECNOLOGIA DE GRASAS Y ACEITES. En E. Bernardini, *TECNOLOGIA DE GRASAS Y ACEITES*. Alhambra.
- Cabezas Zábala, C. C., Hernández Torres, B. C., & Vargas Zárate, M. (2016). Aceites y grasas: efectos en la salud y reguación mundial. *Fat and oils: Effects on health and global regulation*, 8.
- Cárdenas, A. A., Camacho, H. L., & Mondragón, J. E. (2017). *Extracción de Aceite de Cacahuete*. México, D.F.: Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapala.

- Cereales, B. d. (Mayo de 2022). *Bol de Cereales*. Obtenido de ¿Qué son las semillas de calabaza?: <https://bolcereales.com.ar/alimentacion/semillas-de-calabaza/>
- Codony, R., Guardiola, F., Bou, R., & Tres, A. (2010). *Valoración analítica y nutricional de las grasas*. Departamento de Nutrición y Bromatología. España: Universidad de Barcelona.
- Damodaran, S., Parkin, K. L., & Fennema, O. R. (2010). *Química de los alimentos*. Zaragoza (España): ACRIBA S.A.
- Dianzani, M., & Barrera, G. (2008). Free Radical Pathophysiology . En *Pathology and physiology of lipid peroxidation and its carbonyl products* (págs. 19-38). Kerala, India: Transworld Research Network.
- Duffus, C., & Slaughter, C. (1985). *Las Semillas y sus Usos*. México, D.F.: AGT Editor.
- FAO. (2022). Obtenido de Capítulo 5 - Elaboración y refinado de aceites comestibles: <https://www.fao.org/3/V4700S/v4700s09.htm>
- FAO. (Mayo de 2022). *Capítulo 5 - Elaboración y refinado de aceites comestibles*. Obtenido de <https://www.fao.org/3/V4700S/v4700s09.htm>
- FAO. (s.f.). *FAO*. Obtenido de <http://www.fao.org/inphoo/content/documents/vlibrar/ac307s/ac307s06.htm>
- FEDERACION, D. O. (30 de 10 de 2017). *DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION* . Obtenido de https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5502882&fecha=30/10/2017
- Fernández, H. E., Quispe, C., & Alencastre, M. A. (1999). Composición de Ácidos Grasos en Aceites de Mayor consumo en el Perú. *Cátedra de Bromatología Avanzada y de Nutrición Aplicada, Instituto de Investigación de Bioquímica. Facultad de Farmacia y Bioquímica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos*.
- Franco, V. E. (2016). *Análisis de la actividad antioxidante del huitlacoche (Ustilago maydis-Zea mays) en un sistema alimentario de oxidación lipídica*. Aguascalientes, Ags: Universidad Autonoma de Aguascalientes.
- Gavarró, G. G., Bringas, A. L., & Pacheco, A. R. (2004). *Nueva herramienta para el estudio de oxidación de los ácidos grasos, una de las Causas Fundamentales para la Pérdida de la Calidad de los Alimentos para la Acuicultura. Avances en Nutrición Acuícola*. VII. 408-487p.
- Halliwell, B., & Gutteridge, J. (1984). Oxygen toxicity, oxygen radicals, transition metals and disease. *Biochemical Journal* , 1-14.

- Irigary, B., Callejas, N., Estradé, D., & Veitez, I. (2020). *Determinación del contenido de antioxidantes naturales en frutos secos*. Laboratorio Tecnológico de Uruguay: INNOTEC, núm 21,2021.
- Lázaro, V. M. (2018). *Alteraciones de los aceites vegetales durante la fritura*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Liégeois, V. (2012). Las Legumbres y los frutos secos Una alternativa para comer sano. En V. Liégeois, *Las Legumbres y los frutos secos Una alternativa para comer sano* (pág. 338). Barcelona: De Vecchi Ediciones.
- Longoria, A. (2016). *El aumento en los valores del coeficiente de extinción específica K268 equivalente a los valores de TC, se atribuye a el incremento en la presencia de compuestos secundarios que son formados por la destrucción de los peróxido*. Guasave, Sinaloa, México: Instituto Politécnico Nacional. Secretaria de investigación y posgrado.
- Marisel, A. B. (2014). *Producción de maíz para bioetanol en la zona de Las Juntúras*. Córdoba: Facultad de Ciencias Agropecuarias.
- Martínez, H., Molina, J., Vanegas, P. (2016). Comparación entre Métodos de Extracción de Aceite de Semilla de Zapallo (Curcubita mochata). *Agronomía Colombiana*.
- Mendoza , E., & Calvo, C. (2010). *Bromatología. Composición y propiedades de los alimentos*. México: Mc Graw Hill.
- Nawar, W. F. (1996). En *Food chemistry* (págs. 225-320). New York: Marcel Dekker, Inc: In: Fennema O.
- NMX-F-030-SCFI-2011. (s.f.). *ALIMENTOS – ACEITE COMESTIBLE PURO DE MAIZ- ESPECIFICACIONES* .
- NMX-F-223-SCFI-2011. (2011). *NMX-F-223-SCFI-2011 ALIMENTOS – ACEITE VEGETAL COMESTIBLE – ESPECIFICACIONES*. México: NMX.
- NMX-F-252-SCFI-2005. (s.f.). *ALIMENTOS – ACEITE COMESTIBLE PURO DE SOYA – ESPECIFICACIONES*.
- NMX-F-808-2018. (s.f.). *Alimentos- Aceite Comestible-Especificaciones*.
- Norman N Potter., Joseph H Hotchkiss. (1999). *Ciencia de los alimentos*. Zaragoza, España: Acriba SA.
- PROFECO. (2019). Todo Sobre Los Aceites Comestibles. *Revista del Consumidor*, 6-51.
- PROFECO. (2010). Estudio de calidad: aceites vegetales comestibles. *Revista Del Consumidor*, 13.

- Ros, E. (2015). Consenso Sobre Las Grasas y Aceites en La Alimentación de La Población Española. *FESNAD*, 80.
- Sabor, T. d. (Mayo de 2022). *Tierra de Sabor*. Obtenido de El crujir de las buenas nueces: <http://www.tierradesabor.com/Cocinaysalud/crujirbuenasnueces>
- SADER. (Agosto de 2017). *Plantas oleaginosas, energía comestible e industrial*. Obtenido de <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/plantas-oleaginosas-energia-comestible-e-industrial>
- SAGARPA. (2017). *Planeación Agrícola Nacional 2017-2030*. México: SAGARPA.
- Shahidini, F., & Wanasundara, U. (2002). En *Food lipids: Chemistry, Nutrition and Biotechnology* (págs. 465-487). New York: Marcel Dekker.
- SIAP. (2018). *Atlas agroalimentario*. México: SADER.
- Soya, M. y. (2012). Soya: Costos y escaso rendimiento local, encarecen producción. *Revista Técnica Maíz y Soya*, 76.
- Tan, C., Che Man, Y., & Yusoff, M. (2011). *Effects of microwave heating on changes in chemical and thermal properties of vegetable oils*. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, : 78, 1227-1232.
- Turan, S., & Yalcuk, A. (2013). Regeneration of Used Frying Oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. . doi:10.1007/s11746-013-2325-x.
- Valenzuela, G. M., Cravzov, A. L., Soro, A. S., Tauguinias, A. L., Giménez, M. C., & Gruszycki, M. R. (2014). *Relación entre actividad antioxidante y contenido de fenoles y flavonoides totales en semillas de Cucúrbita spp. Dominguezia. Dominguezia*.
- Vega, T. A. (2004). Guía para la elaboración de Aceites Comestibles, Caracterización y Procesamiento de nueces. En T. A. Vega, *Guía para la elaboración de Aceites Comestibles, Caracterización y Procesamiento de nueces* (pág. 86). Bogotá D.C.: CAB.
- Vercellotti JR, S. A. (1992). *Lipid Oxidation in Food*. Washington, DC.: ACS Symposium, Series 500.
- Vermerris, W., & Nicholson, R. (2009). *Phenolic Compound Biochemistry*. USA: Springer Science+Bussines Media B.V.
- Villanueva, E., Rodríguez, G., Aguirre, E., & Castro, V. (2017). Influencia de antioxidantes en la estabilidad oxidativa del aceite de chia (*Salvia hispanica L.*) por rancimat. *Scientia Agropecuaria*, 1-9.

11. APÉNDICE

Apéndice 1. ANOVA para el IP en las mezclas de aceites.

Análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo

RESUMEN	MZ+SY	NZ+SC	AJ+CT	Total
Cuenta	3	3	3	9
Suma	2.8825	5.63	3.46	11.9725
Promedio	0.9608333	1.8766667	1.1533333	1.3302778
Varianza	0.0025583	0.0021896	0.0006583	0.1762288

35

Cuenta	3	3	3	9
Suma	3.005	6.22	1.715	10.94
Promedio	1.0016667	2.0733333	0.5716667	1.2155556
Varianza	2.083E-06	2.083E-06	2.083E-06	0.4485481

70

Cuenta	3	3	3	9
Suma	2.745	4.6425	3.2375	10.625
Promedio	0.915	1.5475	1.0791667	1.1805556
Varianza	0	7.396E-32	2.083E-06	0.0807934

Total

Cuenta	9	9	9
Suma	8.6325	16.4925	8.4125
Promedio	0.9591667	1.8325	0.9347222
Varianza	0.00205	0.0534891	0.0753398

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Muestra	17.0474901	2	8.52374504	141.876292	9.563E-12	3.55455715
Columnas	59.5314696	2	29.7657348	495.445613	1.8317E-16	3.55455715
Interacción	8.88002034	4	2.22000508	36.9516085	1.8897E-08	2.92774417
Dentro del grupo	1.08141683	18	0.06007871			
Total	86.5403969	26				

*F debe ser menor al valor crítico de F para aceptar la hipótesis nula.

Ho: La media de las evaluaciones es igual para las tres mezclas.

Hi: La media de las evaluaciones es diferente para las tres mezclas.

Apéndice 2. Procedimiento para la determinación de IP.

DETERMINACIÓN DE PRODUCTOS DE OXIDACIÓN PRIMARIA DE ACEITE DE MAÍZ, VALORACIÓN VOLUMÉTRICA. ÍNDICE DE PERÓXIDOS POR EL MÉTODO DE VALORACIÓN YODOMÉTRICA (IP).

NMX-F-154-1987. ALIMENTOS. ACEITES Y GRASAS VEGETALES O ANIMALES.
DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE PERÓXIDOS

INTRODUCCIÓN

El número de peróxidos es una medida de la concentración de grupos -O-O- en aceites comestibles. Esto es una medida de la descomposición de los productos y en muchos países los estándares especifican un número de peróxidos máximo más allá del no apto para consumo humano. El número de peróxidos es por lo tanto medido por productores de aceites durante la producción y después del almacenamiento para comprobar su preservación.

Como los peróxidos se degradan, el método está limitado a las primeras etapas de oxidación cuando alcanzan una concentración máxima.

Estándares internacionales utilizan una valoración óxido-reducción, los resultados son expresados generalmente en μg de peróxidos (u oxígeno activo) por gramo de producto, pero también se utilizan mmoles/kg o meq de O_2/kg .

DEFINICIÓN

VALOR O ÍNDICE DE PERÓXIDO. Indica los miliequivalentes de peróxidos por kilogramo de muestra, que oxidan al yoduro de potasio bajo las condiciones establecidas en el método, señalado en NMX-F-154-1987.

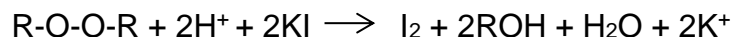
FUNDAMENTO

Este método determina todas las sustancias, en términos de peróxidos, existentes en la solución de la muestra en los solventes indicados en el método. El método es

altamente empírico y cualquier variación en el procedimiento de prueba puede dar resultados erráticos.

La determinación del número de peróxidos involucra la reacción de dos pasos oxido-reducción:

- 1) Reacción de los grupos peróxido con un exceso de ion yodo de acuerdo a:



- 2) Valoración del yodo con una solución de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (generalmente 0.1 N) de acuerdo a:



OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN. Esta norma establece el método para la determinación del índice de peróxidos en los aceites y grasas vegetales o animales.

APARATOS Y EQUIPO.

- Balanza analítica con sensibilidad de 0.0001 g.
- Placa eléctrica con regulador de temperatura.
- Pipetas volumétricas.
- Pipetas Morh terminal de 2 mL graduadas en 0.1 mL.
- Matraz Erlenmeyer de 250 mL con tapón esmerilado.
- Bureta de 50 mL graduada en 0.1 mL.

MATERIALES Y REACTIVOS. Los reactivos que a continuación se expresan serán grado analítico, a menos que se indique otra cosa; cuando se hable de agua, se entenderá por agua destilada.

- Papel filtro.
- Solución de ácido acético-cloroformo en la proporción de 3 volúmenes de ácido acético por dos de cloroformo.
- Solución valorada de tiosulfato de sodio 0.1 N (ver A.1).

- Solución valorada de tiosulfato de sodio 0.01 N.
- Solución saturada de yoduro de potasio recientemente preparada. Se disuelve yoduro de potasio (KI) en agua recientemente hervida durante 10 min, y enfriada a temperatura ambiente (18 a 20°C) en cantidad tal, que quede un exceso de potasio sin disolver (ver A.2).
- Solución indicadora de almidón al 1%. Se mezcla aproximadamente 1.0 g de almidón con agua fría hasta formar una pasta; se añade esta mezcla a 100 mL de agua hirviendo y se agita constantemente.

PROCEDIMIENTO. Para grasas y aceites.

Se determina una masa de $5.0 \text{ g} \pm 0.05 \text{ g}$ de muestra dentro de un matraz de 250 mL (ver A.3), se añaden 30 mL de solución de ácido acético-cloroformo (ver A.4) y se agita hasta que la muestra se disuelve totalmente.

Con una Pipeta Mohr, se agregan 0.5 mL de solución saturada de yoduro de potasio; se agita y se deja reposar durante 1 minuto, después del cual se adicionan 30 mL de agua. Se titula lenta y cuidadosamente con solución 0.1 N de tiosulfato de sodio; se agita vigorosamente después de cada adición, hasta tener una coloración ligeramente amarilla; se añaden 0.5 mL de solución indicadora de almidón y se continúa la titulación sin dejar de agitar hasta la desaparición del color azul. Si el gasto de solución 0.1 N de tiosulfato de sodio es menor de 0.5 mL, repetir la determinación utilizando solución 0.01 N de tiosulfato de sodio.

Se hace una prueba en blanco en las mismas condiciones en las que se efectuó la de la muestra. Se anota en cada caso los mililitros de solución de tiosulfato 0.1 N gastados en la titulación y no deberán exceder de 0.1 mL de tiosulfato.

Las determinaciones se efectúan por duplicado cuando menos.

EXPRESIÓN DE RESULTADOS.

Se calcula el índice de peróxidos expresando los miliequivalentes de peróxidos contenidos en un kilogramo de grasa o aceite mediante la siguiente fórmula:

$$I.P = (A - A_1) \times N \times 1000/M$$

En donde:

I.P = Índice de Peróxidos

A = Mililitros de solución de tiosulfato de sodio gastados en la titulación de la muestra.

A₁= mL de solución de tiosulfato de sodio gastados en la titulación del blanco.

N = Normalidad de la solución de tiosulfato de sodio.

M= Masa de la muestra en gramos.

REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD.

Repetibilidad.

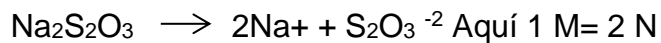
La diferencia entre las determinaciones efectuadas no debe ser mayor del 10% del valor promedio calculado en las determinaciones para cada muestra, o en su defecto se repiten las pruebas.

Reproducibilidad.

La diferencia del resultado obtenido por un analista y el promedio de una serie de determinaciones efectuadas a un mismo material de prueba, por diferentes analistas en diferentes laboratorios, no debe ser mayor de 20%.

Anexo.

A.1. Para tener 1L de solución 0.1N de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (PM = 158.11 g/mol):



Por lo que la $M = 0.05\text{M} = 0.05 \text{ mol/L}$

Se quiere es tener 0.05mol en 1 L los gramos de tiosulfato necesarios:

$$M = n \cdot \text{PM} = (0.05 \text{ mol}) (158.11 \text{ g/mol}) = 7.9\text{g de tiosulfato de sodio}$$

Esos 7.9g se llevan a volumen final de 1L con agua destilada.

Tener en cuenta si es pentahidratado, es lo que generalmente se compra el PM es de 248.2

Se pesa en un vaso de pp de 100 mL en una balanza analítica 1.975 g de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

Se disuelven en 70 mL de agua destilada y se depositan en un matraz de aforo de 250 mL. Se adicionan al matraz cerca de 0.2 g de carbonato de sodio (Na_2CO_3) como conservador o estabilizador, se lleva el volumen hasta la marca de aforo y se almacena en un frasco ámbar limpio y seco.

Esperar por un día antes de usar la solución, filtrar si es necesario, puede formarse un precipitado de azufre. Se recomienda no almacenar por más de una semana. En las soluciones de tiosulfato se acelera una descomposición iniciada, cuando son expuestas a la luz, por eso se recomienda almacenar en frascos oscuros.

A.2. La solubilidad del KI en agua es aproximadamente 150 g/100 mL de agua.

A.3. En el procedimiento para grasas se recomienda calentarlas de 10 a 15°C arriba de su punto de fusión.

A.4. El cloroformo CHCl_3 puede ser sustituido por isooctano C_8H_{18} , o diclorometano CH_2Cl_2 .

Rango de trabajo. Las siguientes tablas resumen datos para determinar la cantidad necesaria de muestra.

Índice de peróxidos que supone de O_2/kg	Peso de la muestra problema (g)
0-12	5.0-2.0
12-20	2.0-1.2
20-30	1.2-0.8
30-50	0.8-0.5
50-90	0.5-0.3

REFERENCIA

Franco, E. A. (2016). Análisis de la Actividad Antioxidante del Huitlacoche (*Ustilago maydis-Zea mays*) en un Sistema alimentario de Oxidación Lipídica. Universidad Autónoma de Aguascalientes Ags.