



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**“USO DE UNA BENTONITA MEXICANA PARA LA PURIFICACIÓN DE
ACEITES DE FREÍDO. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DEL PRODUCTO
TERMINADO”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

QUÍMICA DE ALIMENTOS

PRESENTA

ALICIA TRUJILLO SÁNCHEZ

MÉXICO, D.F.

AÑO 2013





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: **Profesor: CORNEJO ROJAS ROSA LUZ**

VOCAL: **Profesor: LEAL LARA HERMILO**

SECRETARIO: **Profesor: SALMÓN SALAZAR MANUEL DE JESÚS**

1er. SUPLENTE: **Profesor: HIDALGO TORRES MIGUEL ANGEL**

2° SUPLENTE: **Profesor: RAMÍREZ CAHERO HIRAM FERNANDO**

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

Instituto de Química UNAM, edificio A Lab. 1/6 Circuito exterior Ciudad Universitaria. Del. Coyoacán C.P.04510

ASESOR DEL TEMA:

MANUEL DE JESÚS SALMÓN SALAZAR

SUPERVISOR TÉCNICO (Si lo hay):

SUSTENTANTE:

ALICIA TRUJILLO SÁNCHEZ

INDICE

1. RESUMEN.....	1
2. INTRODUCCIÓN.....	3
3. ANTECEDENTES.....	6
3.1. Definición y clasificación de los lípidos.....	6
3.2. Importancia de las grasas.....	7
3.3. Tipos de grasas.....	7
3.4. Cambios ocurridos durante el proceso y almacenamiento de las grasas.....	10
3.5. Tipos de deterioro de las grasas.....	11
3.5.1. Lipólisis.....	12
3.5.2. Autoxidación.....	12
3.6. Oxidación térmica.....	14
3.7. Proceso de refinación de las grasas y los aceites.....	15
3.7.1. Desgomado.....	16
3.7.2. Neutralización.....	16
3.7.3. Decoloración.....	16
3.7.4. Desodorización.....	17
3.7.5. Hibernación.....	17
3.8. Las bentonitas.....	17
3.9. El Quitosán.....	19
3.9.1. Características de la estructura.....	20
3.9.2. Aplicaciones de la quitina y el quitosán.....	20
3.9.3. Estructura de la Bentonita.....	22
3.9.4. Estructura del Quitosán.....	24

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	26
4.1. HIPOTESIS.....	26
4.2. OBJETIVOS.....	27
5. ANÁLISIS Y REACTIVOS.....	28
5.1. <u>Deterioro</u>	
5.1.1. Índice de peróxidos por el método volumétrico-micrométodo...28	
5.1.2. Acidez Titulable.....28	
5.1.3. Índice de kreis.....28	
5.1.4. Índice de p-Anisidina.....29	
5.2. <u>Caracterización</u>	
5.2.1. Índice de yodo.....30	
5.2.2. Índice de saponificación.....30	
5.2.3. Materia insaponificable.....31	
5.3. <u>Composición</u>	
5.3.1. Cromatografía de gases.....31	
6. RESULTADOS.....	33
6.1. Decoloración.....	33
6.2. DETERIORO DE ACEITES.....	34
6.2.1. Índice de Peróxidos.....34	
6.2.2. Acidez.....34	
6.2.3. Índice de Kreis.....35	
6.2.4. Índice de p-Anisidina.....36	
6.3. CARACTERIZACIÓN DE ACEITES.....	37
6.3.1. Índice de yodo.....37	
6.3.2. Índice de saponificación.....38	

6.3.3. Materia Insaponificable.....	39
6.4. COMPOSICIÓN DE ACEITES.....	41
6.4.1. Cromatografía de gases.....	41
7. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS APLICADOS AL ACEITE.....	45
7.1. CROMATOGRAFIA DE GASES.....	46
8. ANALISIS DE RESULTADOS.....	49
9. CONCLUSIONES.....	51
10. BIBLIOGRAFÍA.....	52

1. RESUMEN

Las grasas y los aceites constituyen un papel importante en la alimentación, los cuales aportan energía para las actividades diarias.

Están constituidos por triglicéridos, que pueden tener unidos diferentes ácidos grasos de estructura saturada o insaturada.

Los aceites se extraen principalmente de semillas y las grasas de tejido adiposo animal. Estas grasas al ser sometidas a diversos procesos, suelen presentar deterioro formando compuestos que son potencialmente tóxicos para la salud humana. El deterioro producido por la descomposición de las grasas genera compuestos que son detectados por el paladar produciéndose sabores indeseables en los alimentos por lo que al presentar este deterioro, la mayor parte de estas grasas o aceites son desechados.

En el presente trabajo se propuso recolectar aceite de un puesto de frituras para someterlo a un tratamiento con una mezcla de una bentonita mexicana con quitosán.

Se realizaron las principales pruebas fisicoquímicas, con el objetivo de determinar la calidad del aceite.

Con los resultados obtenidos comparados antes y después del tratamiento con la mezcla bentonita/quitosán, se observó la disminución de los compuestos generados en la oxidación hasta un valor que se acepta en las normas oficiales vigentes.

Por lo anterior se propuso la reutilización del aceite para diferentes aspectos industriales, tales como la alimentaria, la farmacéutica y en la producción de Biocombustible.

2. INTRODUCCIÓN

Los lípidos son grasas y aceites se encuentran en los alimentos, los cuales contribuyen a la textura y propiedades sensoriales del producto. Las principales fuentes de lípidos son las semillas oleaginosas y los tejidos animales provenientes principalmente del cerdo.

Las grasas alimentarias incluyen todos los lípidos de los tejidos vegetales y animales que se ingieren como alimentos. Las fuentes más importantes de aceites vegetales son las semillas de soya, algodón, cacahuate, además de árboles como la palma y encontrándose también en la oliva y el coco. En cuanto a las fuentes de grasas se tienen las de origen animal principalmente de cerdo y las obtenidas por una hidrogenación que son de origen vegetal. Las grasas (sólidas) o aceites (líquidos) más frecuentes son una mezcla de triglicéridos .¹

Diversos alimentos como la leche, quesos, yema de huevo, carnes, leguminosas, cereales entre otros aportan grasas y aceites necesarios para las actividades del organismo.

Estos triglicéridos están formados por un grupo de compuestos por lo general, son solubles en disolventes orgánicos y parcialmente solubles en agua.

La composición de ácidos grasos de los aceites comestibles no obedece a un estándar, debido a que la composición se modifica por la cantidad de saturados, monoinsaturados, ácidos grasos poliinsaturados y particularmente en el aporte de ácidos grasos omega-6 (Ω -6) y ácidos grasos omega-3 (Ω -3).

Los aceites y grasas son nutrientes esenciales para la dieta humana. Constituyen la mayor fuente de energía aportando ácidos grasos esenciales (que

son precursores importantes de hormonas y prostaglandinas), influyen sobre la sensación de saciedad.

Estos compuestos desempeñan múltiples funciones en los tejidos, además son una fuente energética muy importante (cada gramo de lípidos proporciona 9 Kcal) muchos de ellos cumplen una actividad biológica, por ejemplo, algunos son parte estructural de las membranas celulares y de los sistemas de transporte de diversos nutrientes, otros son precursores de vitaminas y hormonas; algunos otros son pigmentos.

Sin embargo el consumo excesivo de grasas en la alimentación se ha relacionado con el aumento del riesgo de obesidad, de enfermedades del corazón y de ciertos tipos de cáncer.

Estos son los mayores componentes del tejido adiposo y junto con las proteínas y los carbohidratos, constituyen la principal estructura de los componentes de todas las células vivas. Los ésteres de glicerol de ácidos grasos (que constituyen el 99%) de los lípidos de origen animal o vegetal, son los llamados grasas o aceites; esta distinción se basa únicamente en si la materia es sólida o líquida a temperatura ambiente.

Los triglicéridos representan normalmente más del 95% en peso de la mayoría de las grasas y aceites alimentarios. Entre los constituyentes minoritarios están los monoglicéridos, los diglicéridos, los ácidos grasos libres, esteroides, alcoholes, grasas, vitaminas liposolubles y otras más.

Su extracción y uso representa un problema ya que después de ser usados como alimentos disminuye su valor y por tanto es desaprovechado porque es considerado como un desecho, sin embargo en el presente trabajo se recuperó el

aceite de un puesto de frituras, para hacerlo fluir a través de una columna con una mezcla de bentonita-quitosán, para su reutilización.

Por lo anterior se usaron metodologías de deterioro, composición y caracterización, para observar cual era el comportamiento del aceite después de darle un tratamiento con la mezcla de bentonita-quitosán.

3. ANTECEDENTES

3.1. Definición y clasificación de los lípidos

Los lípidos son un grupo de compuestos con estructura heterogénea muy abundantes en la naturaleza, las grasas y los aceites son los representantes más importantes, que están formados por carbono, oxígeno, hidrógeno y en ciertos casos, también pueden contener fósforo y nitrógeno.

Los lípidos son clasificados generalmente en dos grupos, los saponificables e insaponificables. Además estos presentan diversas propiedades físicas que los caracterizan, a temperatura ambiente (aceites son líquidos y grasas son sólidas), por su polaridad (lípidos polares y neutros), por su estructura (simple o compleja). Los lípidos neutros incluyen ácidos grasos, esteroides, mientras que los lípidos polares incluyen glicerofosfolípidos gliceroalcoholes. Su clasificación se basa también por la estructura química (ver tabla 1).

a) Clasificación de los lípidos (según la característica del “resto acilo”)	
I. Lípidos simples (insaponificables)	
Ácidos grasos libres, lípidos isoprenoides (esteroides, carotenoides, monoterpenos y otros), tocoferoles.	
II. Acil - lípidos (saponificables)	Componentes
Mono-, di- y triacil-gliceroles	Ácidos grasos, glicerol
Fosfolípidos (fosfátidos)	Ácidos grasos, glicerol o esfingosina, mono.,-di- u oligosacáridos
Diolípidos	Ácidos grasos, etano-, propano-, o butanodiol
Ceras	Ácidos grasos, alcoholes grasos
Ésteres de esteroides	Ácidos grasos, esteroides
b) Clasificación Según la característica “neutro-polar”	
Lípidos neutros	Lípidos polares (anfifílicos)
Ácidos grasos (>C ₁₂) Mono-, di-, triacil-gliceroles	Glicerofosfolípidos
Esteroides, ésteres de esteroides	Gliceroglicolípidos
Carotenoides	Esfingofosfolípidos
Ceras	Esfingoglicolípidos
Tocoferoles	

Tabla 1. Clasificación de los lípidos.

3.2. Importancia de las grasas.

Una de las más importantes aplicaciones de las grasas es el material energético más importante considerando, ya que aportan 9 Kcal/g a diferencia de las 4 kcal/g que proporcionan las proteínas y los carbohidratos.

En algunos alimentos las grasas son las responsables del aroma, sabor y color, contribuyendo a la palatabilidad de los mismos.

Son también ingredientes principales de muchos alimentos procesados tales como mayonesas, helados, entre otros.

3.3. Tipos de grasas

Las grasas provienen de animales y vegetales. Las de origen vegetal se obtienen de semillas y se caracterizan por un estrecho límite del punto de fusión,

esto debido principalmente al ordenamiento de los ácidos grasos entre las moléculas del triglicérido. Presentan gran proporción de ácidos grasos saturados (figura 1) con respecto al de insaturados (figura 2) y son utilizados principalmente en repostería.

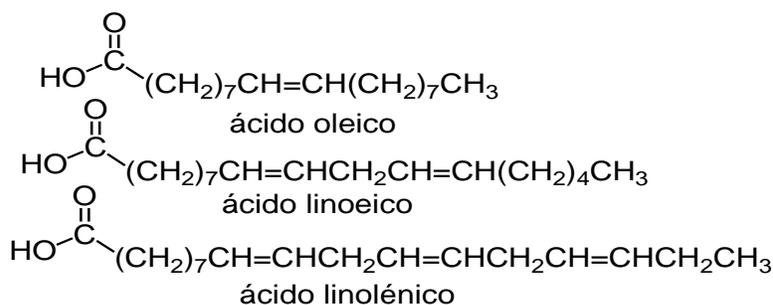


Figura 1. Ácidos grasos insaturados presentes en alimentos.

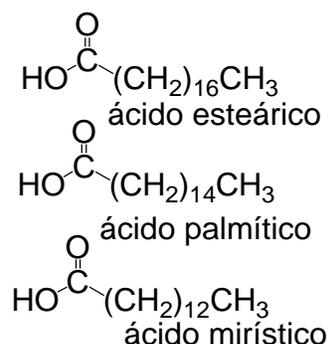


Figura 2. Ácidos grasos saturados presentes en alimentos.

En la leche proveniente de rumiantes particularmente de las vacas, los principales ácidos grasos presentes son el palmítico, oleico y esteárico, la leche es la única grasa animal que contiene cantidades apreciables de ácidos grasos de cadena corta C₄-C₁₂ (figura 3) y en cantidades menores de ácidos grasos ramificados (figura 4) e impares (figura 5).

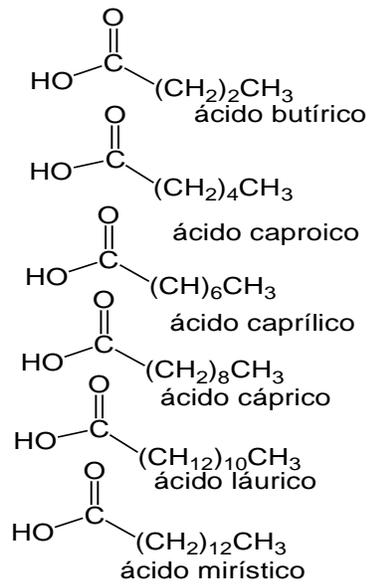


Figura 3. Ácidos grasos presentes en leche de vaca

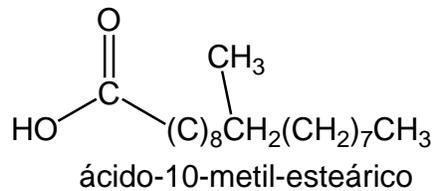


Figura 4. Ácido graso ramificado

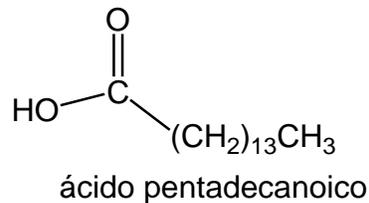


Figura 5. Ácido graso de cadena impar

La grasa (manteca y sebo) de origen animal está formada por las reservas lipídicas de animales domésticos, las cuales contienen grandes cantidades de ácidos grasos C₁₆ y C₁₈, cantidades intermedias de ácidos grasos insaturados, la mayor parte de ácido oleico, linoléico y pequeñas cantidades de ácidos grasos de

cadena impar; también contienen cantidades apreciables de triglicérido totalmente saturados con puntos de fusión relativamente altos.

3.4. Cambios ocurridos durante el proceso y almacenamiento de las grasas.

El deterioro de los lípidos en los alimentos se atribuye principalmente a la oxidación de los mismos. La intensidad de notas sensoriales indeseables han sido directamente relacionadas con el contenido de compuestos carbonílicos formados a través de las reacciones de descomposición que se presentan al ser almacenados o procesados.²

La oxidación de los lípidos es de gran importancia económica en la producción de alimentos que contienen lípidos. La oxidación de los lípidos insaturados no solo produce malos olores y sabores, sino también pueden degradar la calidad nutricional y la seguridad de los mismos, esto por las reacciones de formación de productos secundarios en los alimentos después de cocinarlos y procesarlos.³

El deterioro oxidativo de los lípidos contenidos en los alimentos es el responsable de la rancidez, de olores y sabores extraños producidos durante el procesamiento y almacenamiento. Por consiguiente la calidad nutricional disminuye debido a la formación de compuestos secundarios potencialmente tóxicos para la salud.

Este deterioro puede producir compuestos tóxicos, los cuales hacen que los alimentos sean menos aceptables o incluso inaceptables para los consumidores. Los productos de oxidación incluyen compuestos de bajo peso molecular, así como compuestos volátiles que dan sabores indeseables.⁴

El tipo de oxidación depende de varios factores incluyendo la temperatura, presencia de inhibidores o catalizadores, y la naturaleza de los sustratos.

Los ácidos grasos insaturados son más susceptibles a la oxidación que los ácidos grasos saturados, esta propiedad se debe principalmente a la baja energía de activación en la iniciación de formación de radicales libres alquilo y acilo.

Los cambios ocurridos por el deterioro son el resultado de la reacción con oxígeno atmosférico, que es la llamada rancidez oxidativa, o por reacciones hidrolíticas catalizadas por lipasas de los alimentos o de microorganismos.

La oxidación es también influenciada por los antioxidantes y los ácidos grasos que componen a las grasas y los aceites.

Las grasas animales en comparación con los aceites vegetales poseen ácidos grasos predominantemente saturados, lo cual hace que reaccionen más difícilmente con agentes químicos especialmente con el oxígeno.

La exposición al aire, luz y metales (especialmente hierro cobre y bronce) inducen a la autooxidación, la humedad contribuye a la hidrólisis de los triglicéridos, en conjunto todas estas condiciones aumentan su reactividad química.⁵

3.5. Tipos de deterioro de las grasas

La oxidación de los lípidos es una de las principales reacciones químicas ocurridas durante el procesamiento o almacenamiento de los alimentos, que tienen un gran impacto en la calidad final de los mismos.⁶

Existen dos vías de deterioro de las grasas y lípidos las cuales son la lipólisis (rancidez hidrolítica) y autooxidación (rancidez oxidativa). La primera se debe básicamente a la acción de las lipasas que liberan ácidos grasos de los

triacilgliceridos, mientras que la segunda se refiere a la acción del oxígeno y de las lipoxigenasas sobre las insaturaciones de los ácidos grasos.

3.5.1. Lipólisis

Esta reacción es catalizada por las enzimas lipolíticas llamadas lipasas y en ciertas condiciones, por efecto de las altas temperaturas se liberan ácidos grasos de los triglicéridos y de los fosfolípidos (en semillas existe una alta actividad lipásica).

3.5.2. Autoxidación

La oxidación de los lípidos es una de las causas principales del deterioro de los alimentos. Este proceso trae como resultado el deterioro del sabor, por lo tanto, la calidad del producto disminuye, la cual es llamada “rancidez”, y esta se ve afectada por la presencia de metales como el cobre o el hierro.

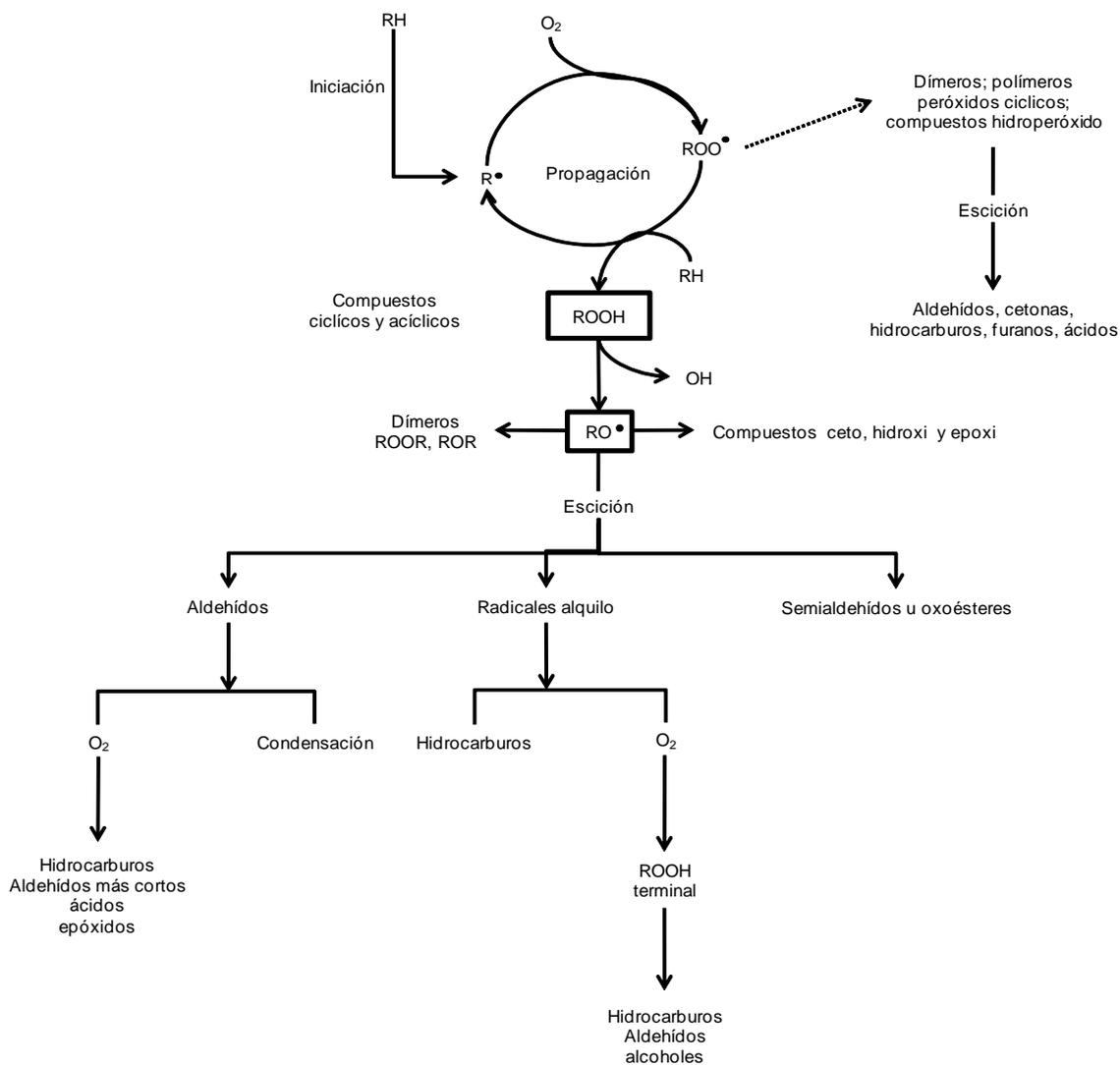
Esta transformación es una de las más comunes de los alimentos que tienen grasas y otras sustancias insaturadas; consiste principalmente en la oxidación de los ácidos grasos con dobles ligaduras, pero se llega a efectuar con otras sustancias de interés biológico como la vitamina A.

La autooxidación es un mecanismo que genera compuestos que la mantiene y aceleran la reacción, esta se favorece a medida que se incrementa la concentración de ácidos grasos insaturados, la cual ocurre a través de una serie de reacciones concatenadas. La velocidad de autooxidación depende de la composición en ácidos grasos, de la concentración y actividad de los pro y antioxidantes, la presión parcial de oxígeno, de la superficie que entra en contacto con el oxígeno y las condiciones en las que se almacena el alimento. El proceso

de autoxidación, se describe en términos generales como: Iniciación, propagación y terminación, la cual se muestra en la tabla 2 y en el esquema 1.

Iniciación	$RH \longrightarrow R^\bullet \quad H^\bullet$ Radical libre
Propagación	$R^\bullet + O_2 \longrightarrow ROO^\bullet$ Radical Hidroperóxido $ROO^\bullet + RH \longrightarrow R^\bullet + ROOH$ Hidroperóxido
Terminación	$R^\bullet + R^\bullet \longrightarrow RR$ $R^\bullet + ROO^\bullet \longrightarrow ROOR$ $ROO^\bullet + ROOR \longrightarrow ROOR + O_2$ $RO^\bullet + R^\bullet \longrightarrow ROR$ $2RO + 2ROO^\bullet \longrightarrow 2ROOR + O_2$

Tabla 2. Términos generales de la oxidación.



Esquema 1. Esquema general de la autooxidación de los lípidos.

3.6. Oxidación térmica

Es la oxidación de las grasas y aceites provocado por las altas temperatura, por lo general sucede cuando los alimentos son cocinados freídos horneados y sometidos a otros tratamientos.

El deterioro de los triglicéridos durante el freído es causado por la oxidación térmica de las cadenas de ácido grasos y una variedad de compuestos

indeseables se generan, así como compuestos polares, glicéridos polimerizados y ácidos grasos oxidados. Por el contrario cuando las grasas o aceites son utilizados adecuadamente estos componentes indeseables son generados solo en pequeñas cantidades y la seguridad del alimento se mantiene. Sin embargo bajo severas condiciones de freído las grasas pueden desarrollar toxicidad debido a la acumulación de estos compuestos indeseables.¹²

3.7. Proceso de refinación de las grasas y los aceites

Los aceites y las grasas provienen de diversas materias primas tales como tejido animal para el caso de las grasas y para el caso de los aceites de las semillas; las grasas proviene de animales sacrificados cuyo tejido adiposo es sometido a un proceso térmico para romper las células para liberar su contenido, los aceites vegetales se obtienen a partir de diversas semillas oleaginosas, por prensado o por una extracción con disolventes orgánicos como el hexano o por combinación de ambos.

En la extracción inicial se obtienen grasas y aceites crudos, es decir, que contiene una cierta cantidad de impurezas tales como ácidos grasos libres, proteínas, carbohidratos, agua, fosfátidos y otros, que contribuye a características indeseables tales como el color, sabor, olor e inestabilidad. Pero algunos otros son deseables como los tocoferoles que son antioxidantes.

Cuando el aceite se extrae de las semillas, se limpian, se descascarilla y se tritura, se calienta para llevar a cabo la extracción. La mezcla del aceite con el disolvente es sometida a una destilación a temperaturas menores a 110°C para separar el disolvente no polar que se vuelve a emplear en el proceso de extracción.

El aceite crudo contiene una gran cantidad de impurezas que se eliminan en los pasos descritos a continuación que en general son el proceso de refinación.¹³

3.7.1. Desgomado

El desgomado consiste en la extracción acuosa de diversos compuestos hidrosolubles como carbohidratos, proteínas, fosfátidos y agua.

Durante el proceso de desgomado de aceites los fosfolípidos son eliminados por medio de tratamiento térmico con agua (fosfolípidos hidratables) y otros agentes desgomantes, así como ácido fosfórico, ácido cítrico y otras mezclas ácidas (fosfolípidos no hidratables). La presencia de estos fosfolípidos no hidratables en el aceite puede reducir la eficacia del desgomado y la pérdida de aceite neutro. Los fosfolípidos del aceite residual pueden contribuir a sabores y colores indeseados en la refinación del aceite. A pesar de esto las consecuencias son evitadas por el correcto procesamiento del aceite.^{13, 14}

3.7.2. Neutralización

Esta etapa se realiza para eliminar los ácidos grasos libres presentes en el aceite; además de disminuir los monoacilgliceridos y los fosfolípidos. El método tradicional es una reacción simple de saponificación que se lleva a cabo con la adición de hidróxido de sodio.¹³

3.7.3. Decoloración

Es un tratamiento que consiste en eliminar las sustancias que le imparten al aceite una coloración indeseada. Se basa en un proceso de adsorción que utiliza diversos agentes adsorbentes principalmente arcillas neutras, arcillas ácidas y carbón activado. Las arcillas neutras son derivadas de las bentonitas y cuando son

tratadas con ácido sulfúrico o clorhídrico se producen las ácidas; el carbón activado es el que presenta mejores resultados pero tiene la desventaja de ser costoso, además de que las arcillas retiene una gran cantidad de aceite; por lo que para obtener mejores resultados en esta etapa, se mezclan arcillas neutras con carbón activado.¹³

3.7.4. Desodorización

En esta etapa se eliminan sustancias volátiles que dan al aceite olores indeseados que generalmente provienen de la oxidación de los lípidos. Estos productos por lo general son cetonas y aldehídos de bajo peso molecular además de ácidos grasos menores de 12 carbonos. El proceso consiste en calentar el aceite a 150-160°C y hacerle circular una corriente de vapor de agua desairado que arrastra los compuestos indeseables; esto es posible ya que existe una gran diferencia de volatilidad entre los compuestos generados por la oxidación y los ácidos grasos. En general esta etapa se realiza a presión reducida.¹³

3.7.5. Hibernación

Proceso conocido como enfriamiento y es opcional, este consiste en realizar una cristalización fraccionada la cual tiene como objetivo eliminar los triglicéridos saturados de punto de fusión alto para evitar que el lípido se enturbie al enfriarse.¹³

3.8. Las bentonitas

Las Bentonitas han sido utilizadas por el hombre desde la antigüedad para la manufactura de objetos de cerámica. Y más recientemente para diversas aplicaciones tecnológicas.¹⁵ La bentonita, es el nombre comercial de una arcilla perteneciente a la familia de las esmécticas con un alto contenido en

montmorillonita y es utilizada principalmente en el blanqueamiento de aceites, pinturas y en algunos productos farmacéuticos. La abundancia de la bentonita en muchas partes del mundo, su bajo costo y sus propiedades de hidratación e intercambio iónico la convierten en un fuerte candidato para ser empleada como adsorbente en la eliminación de contaminantes. Las bentonitas poseen una naturaleza hidrofílica, por lo que necesitan ser pre-tratadas para incrementar su afinidad por adsorbatos hidrofóbicos. Para ello, se intercala la superficie laminar de la bentonita con moléculas orgánicas (sales de amonio cuaternario) a manera de una película superficial delgada, para incrementar las interacciones hidrofóbicas con moléculas poco polares en medio acuoso.¹⁶

Las propiedades de las arcillas tienen un amplio valor en las aplicaciones industriales. El bajo costo, la disponibilidad y la efectividad son los prevalentes que han hecho de las arcillas y arcillas minerales para ser usadas extensivamente como adsorbentes en la purificación de aceites vegetales. Las características de textura y superficie química juegan roles importantes en el blanqueamiento de los aceites.¹⁷

Tanto la textura como la superficie química pueden ser modificadas por varias técnicas ya sea por acidificación, por alcalinidad, temperatura o activación en columna.¹⁸ Las tierras de blanqueo mejoran la calidad del aceite y reducen el tono del color del aceite para darle un matiz más ligero sin alterar las propiedades químicas del aceite.¹⁷ Las bentonitas son muy valoradas por sus propiedades de adsorción las cuales provienen de su área superficial y su tendencia para adsorber moléculas en sus espacios interlaminares.

En el año de 2003 *Christidis E.*, menciona que la activación ácida de las bentonitas puede ser usada para purificación decoloración y estabilización de los aceites vegetales. Ellas remueven fosfolípidos, jabones, trazas metálicas, compuestos orgánicos (carotenoides, así como β - caroteno y sus derivados xantofilas, clorofila feofitina, tocoferoles y gosipol) y sus productos de degradación los cuales imparten colores indeseables a los aceites comestibles. Además durante el blanqueamiento remueven productos indeseables así como hidroperóxidos formados durante la oxidación.¹⁸

El proceso de refinación del aceite es un paso esencial para la producción de aceites vegetales y grasas. El proceso de refinación comprende de varias etapas el desgomado, la neutralización, el blanqueamiento y la desodorización. Entre las cuatro etapas, el blanqueamiento es la etapa más crítica, ya que ayuda a mejorar la apariencia, sabor, aroma y estabilidad del producto.

Durante el proceso de blanqueo el aceite se pone en contacto con la superficie activa que es una sustancia que adsorbe partículas indeseables.¹⁷

3.9. El Quitosán

El quitosán es un polisacárido cercanamente relacionado a la celulosa. El quitosán es obtenido por la desacetilación de la quitina, el mayor componente de exoesqueletos en los crustáceos. La desacetilación de la quitina es realizada hirviendo las conchas de cangrejos y camarones en hidróxido de sodio para después decolorarlo con permanganato de potasio.

Las quitinasas son secretadas por microorganismos intestinales los cuales se encuentran en plantas comestibles o por lisozimas. El bajo costo de

producción, biodegradabilidad, biocompatibilidad han contribuido al aprovechamiento del Quitosán por la FDA, tanto en la aplicación farmacéutica como en la alimenticia.

3.9.1. Características de la estructura del quitosán

Cuando el número de unidades de *N*-acetil-glucosamina exceden el 50% el biopolímero es denominado quitina, mientras que el término quitosán es usado para describir un contenido menor al 50% de *N*- acetil-glucosamina.

La única característica estructural del quitosán es la presencia de la amina primaria en la posición del C-2 de los residuos de glucosamina.

Pocos polímeros biológicos tienen alto contenido de aminas primarias. Estas aminas confieren propiedades importantes funcionales al quitosán.

3.9.2. Aplicaciones de la quitina y el quitosán

Aplicación	Ejemplo
Tratamiento de aguas	Remueve metales pesados, o remoción de aceite, coagulante floculante
Papel	Tratamiento de superficie, papel fotográfico, papel carbón para copias, aditivo procesador
Agricultura	<ul style="list-style-type: none"> • Recubrimiento de semillas con películas de quitosán para su conservación durante el almacenamiento. • Sistemas liberadores de fertilizantes. • Agente bactericida y fungicida para la protección de plántulas (inicio de las plantaciones).
Medicina	<ul style="list-style-type: none"> • Producción de suturas quirúrgicas a partir de quitina.

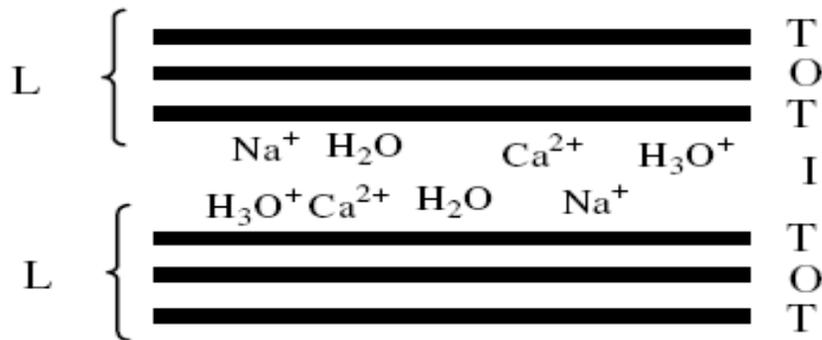
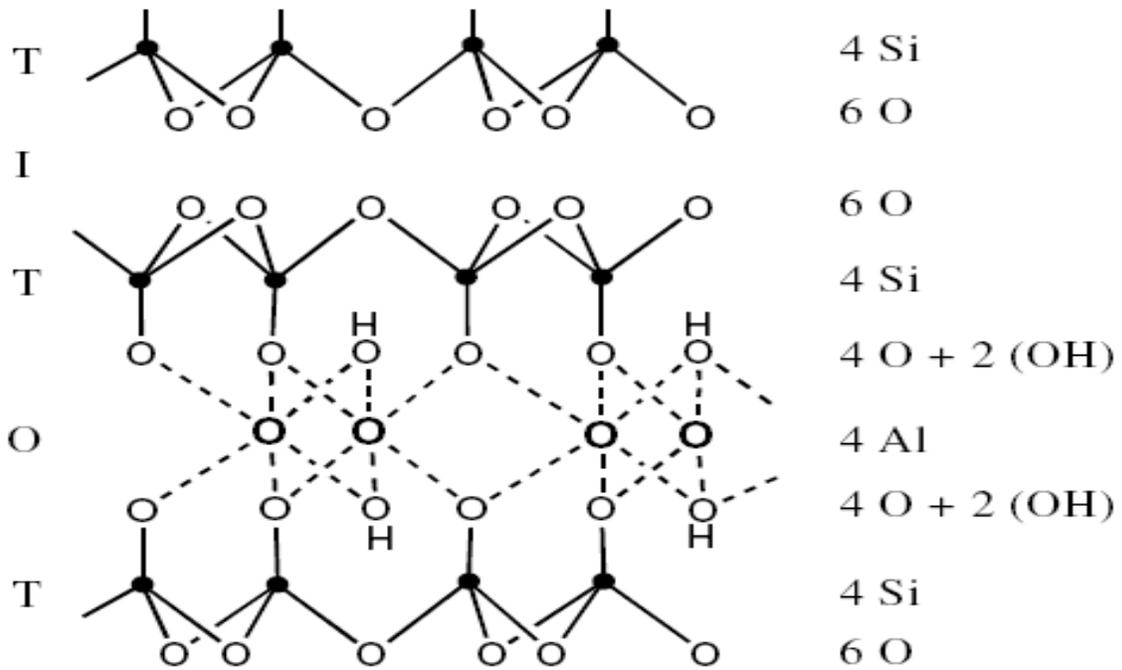
	<ul style="list-style-type: none"> • Producción de gasas y vendajes tratados con quitosán. • Cremas bactericidas para el tratamiento de quemaduras.
Cosméticos	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricación de cápsulas para adelgazar, denominadas “atrapa grasas”. • Aditivo bactericida en jabones, champoos, cremas de afeitar, cremas para la piel, pasta dental, etc. • Agente hidratante para la piel, debido a que sus geles pueden suministrar agua y evitar la sequedad. Además, el quitosán forma una película que ayuda a dosificar otros principios activos.
Biosensores	Soporte para la inmovilización de enzimas sensibles a un sustrato específico.
Textiles	Remoción de tintes y materiales de desecho, iones metálicos
Alimentos	Estabilizante de color, remoción en la turbidez de líquidos
Producción química	Glucosamina, sulfato de glucosamina

3.9.3. Estructura de la Bentonita

La bentonita se compone de una lámina octaédrica, $[(Al_2(OH)_6)]$ intercalada entre dos hojas tetraédricamente coordinadas de silicato $[SiO_4]^{4-}$. Esta capa de tres hojas se repite y la capa intermedia es la clave química para las propiedades físicas de la arcilla. Una propiedad importante de la bentonita deriva del grado de eficacia para el intercambio catiónico M^+ (figura 6).

En general las bentonitas se comportan como catalizadores ácidos. La acidez es del tipo de Bronsted, que es cuando los iones hidrógeno se intercambian por cationes (Na^+) mediante un lavado ácido.

Al calentarse la bentonita, se puede eliminar el agua de los sitios de Bronsted dejando átomos de aluminio coordinados solamente con 3 átomos de oxígeno. Estos actúan como ácidos de Lewis, los sitios catalíticos se encuentran a mayor densidad y tienen actividad uniforme (figura 7).



T = Tetrahedral $[\text{SiO}_4]^{4-}$ sheet
 O = Octahedral $[\text{Al}_2(\text{OH})_6]$ sheet
 I = Interstitial space
 L = Layered sheets

Figura 6. Estructura laminar de la bentonita. Nagendrappa, G. *Resonance*, 2002, 7, 64-77

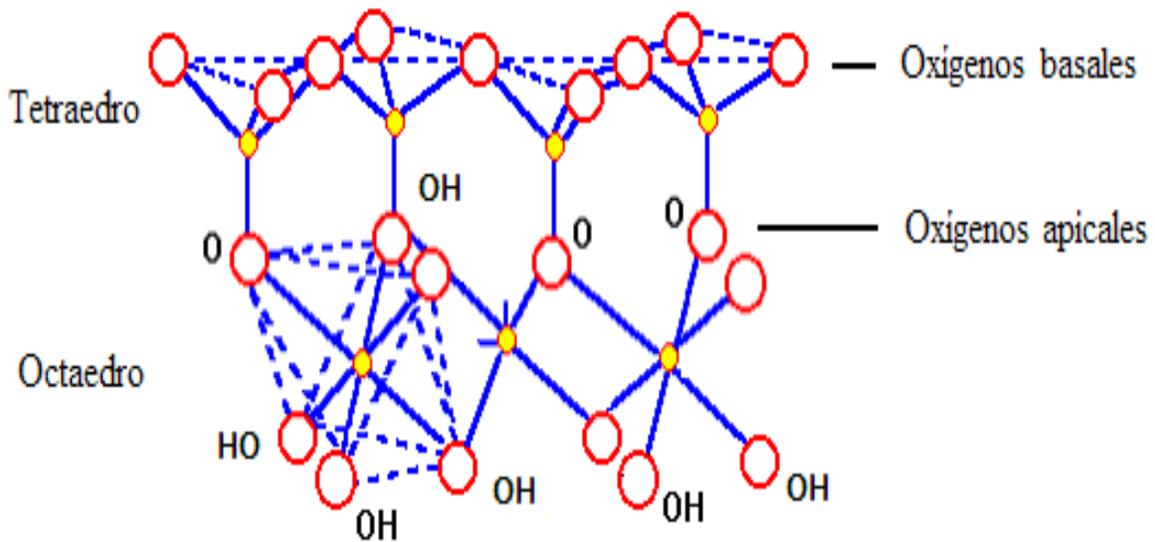
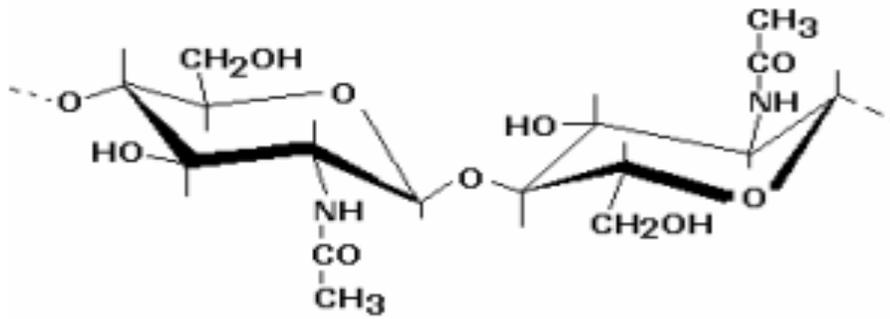


Figura 7.- Unión entre tetraedro y octaedro a través de oxígenos comunes. Los octaedros contienen oxígeno y iones hidroxilo mientras que los tetraedros contienen sólo oxígeno. ● Átomo de aluminio, magnesio, hierro, etc. ○ Átomo de oxígeno y/o grupo -OH.

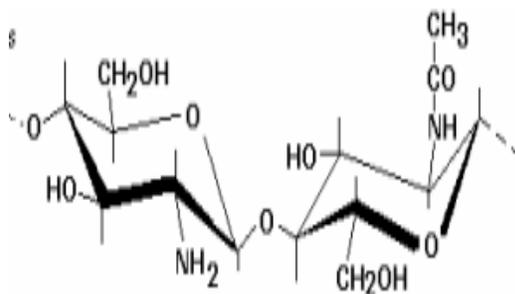
3.9.4. Estructura del Quitosán.

Entre los materiales naturales más usados en la actualidad es una pareja de polisacáridos que está constituido por la quitina y el quitosán. Ambos biopolímeros la quitina, por su parte, es una poli (β -Nacetil-glucosamina) la cual, mediante una reacción de desacetilación que elimine al menos un 50% de sus grupos acetilo, se convierte en quitosán (poli (β -N-acetil-glucosamina-co- β -glucosamina)). Cuando el grado de desacetilación alcanza el 100 % el polímero se conoce como quitano (figura 8).



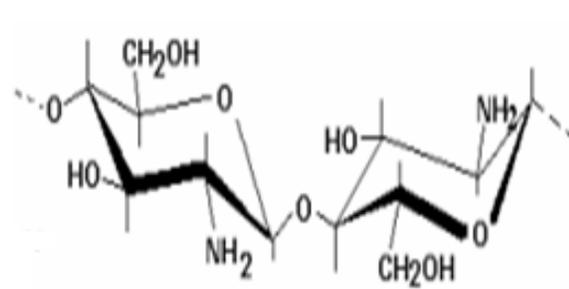
Quitina

Desacetilación



Quitosano

50% grupos acetilo



Quitano

100% grupos acetilo

Figura 8. Estructura química del quitosano y el quitano. Velásquez C. Avances en Química, 1(2), 15-21 (2006).

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El consumo de aceite vegetal va en aumento, por lo que los desechos generados también van en aumento, provocando serios problemas de contaminación de agua y suelo por el su manejo inadecuado al ser desechados.

En el presente trabajo se recolectó aceite de desecho de un puesto de frituras para realizar una purificación y observar cuales son los cambios obtenidos al hacer fluir este aceite por una columna empacada.

4.1. HIPOTESIS

Con la mezcla Bentonita/Quitósán se logrará retener compuestos indeseables de un aceite de freído (ácidos grasos libres e hidroperóxidos) debido a la adsorción de estos con los grupos funcionales hidroxilo y amina que conforman a la bentonita y al quitósán.

4.2. OBJETIVOS

Objetivo General.

- Diseñar y evaluar una metodología basada en la adsorción para purificar los aceites de freído.

Objetivos Particulares.

-Identificar el tipo de ácidos grasos que componen al aceite alimentario de desecho mediante cromatografía de gases.

-Comparar mediante análisis fisicoquímicos un aceite de anaquel y un aceite de desecho antes y después del proceso de purificación a través de columnas empacadas con Bentonita/Quitosán.

-Verificar si el aceite purificado cumple con lo establecido en las normas mexicanas vigentes.

5. ANÁLISIS Y REACTIVOS

5.1. Deterioro

5.1.1. Índice de peróxidos por el método volumétrico-micrométodo.²⁰

Se pesaron aproximadamente 0.5 de grasa en un matraz Erlenmeyer de 250ml y se adicionaron 2.5ml de una solución de ácido acético/diclorometano (3:2) disuelto perfectamente. Se adicionó 0.05ml de una solución saturada de yoduro de potasio y dejar reposar en la oscuridad 60 seg.

Se añadieron 7.5ml de agua desionizada hervida y fría, se adicionaron 0.1ml de solución de almidón indicador (almidón al 0.1% que se disolvió en agua). Se tituló con tiosulfato de sodio 0.001N, solo se realizó para la muestra sucia por haber presentado una coloración azul en la solución en forma de puntos.

5.1.2. Acidez Titulable.²⁰

En un matraz Erlenmeyer de 250 ml se colocaron aproximadamente 0.5 g de lípidos y se adicionaron 25ml de alcohol neutralizado. Posteriormente se calentó en un baño de agua en ebullición suave y se tituló caliente con KOH 0.0025 N con una agitación constante.

5.1.3. Índice de kreis²⁰

Se disolvieron aproximadamente 0.058 mg de grasa en 5 ml de diclorometano. Se añadieron 10ml de una solución de ácido tricloacético al 30% en ácido acético glacial y 1ml de floroglucinol al 1% en ácido acético. Se agitó e incubó por 15 min, en un baño maría a 45°C, se dejó enfriar y se agregaron 4 ml de etanol. Se midió la absorbencia de la muestra a 540nm frente a un blanco de reactivos.

5.1.4. Índice de p-Anisidina.²¹

Se pesó aproximadamente 1g de la muestra, dentro de un matraz volumétrico de 25 ml. Se disolvió y diluyó al volumen con hexano.

Se midió la absorbencia (A_b) de la solución a 350 nm en una celda con el espectrofotómetro usando la celda de referencia llena con solvente, como blanco.

Posteriormente se pipetearon 5 ml de la solución de aceite o grasa dentro de un tubo de ensayo y exactamente 5 ml de él solvente dentro de un segundo tubo de ensayo. Por medio de una pipeta automática se agregaron exactamente 1 ml del reactivo de p-anisidina a cada tubo, los cuales se taparon y agitaron perfectamente.

Después de exactamente 10 minutos se midió la absorbencia (A_s) del solvente en el primer tubo de ensayo en una celda a 350 nm, usando la solución del segundo tubo de ensayo como el blanco o testigo en la celda de referencia.

El índice o valor de anisidina (IAN) se calcula por la fórmula:

$$IAN = \frac{25 \times (1,2A_s - A_b)}{m}$$

Dónde:

A_s : es la absorbencia de la solución de grasa después de la reacción con el reactivo p-anisidina;

A_b : es la absorbencia de la solución de grasa, y

m : es la masa en g de la muestra de aceite o grasa.

5.2. Caracterización

5.2.1 Índice de yodo^{20, 22}

Se pesaron aproximadamente 0.15 g de muestra en matraces erlenmeyer. Se adicionaron 10 ml de diclorometano.

Se preparó un blanco con 10ml de diclorometano.

Se pipetearon 25 ml del reactivo de Hanus en el matraz. Se dejó reposar por 30 minutos en la oscuridad y se agitó ocasionalmente (la reacción se llevó a cabo en la oscuridad para evitar la producción de radicales libres inducidos por la luz lo que pudo haber provocado un gasto aparente mayor del halógeno arrojando falsos resultados).

Se adicionaron 10 ml de KI al 15% y se agito. Se agregaron 100 ml de agua recién hervida y fría.

Se tituló el yodo con una solución estandarizada de tiosulfato de sodio 0.1 N, la cual se fue adicionando gradualmente y con una agitación vigorosa hasta que la coloración amarilla desapareció. Se adicionó 1ml de solución indicadora de almidón y se continuó titulando hasta que desapareció el color azul.

5.2.2. Índice de saponificación.^{20, 23}

Se colocó en un matraz de bola con boca esmerilada 2g de lípidos y se agregaron 25 ml de una solución alcohólica de hidróxido de potasio (0.5M en etanol al 95%).

A ese mismo matraz se le adaptó un refrigerante de reflujo y se colocó a ebullición suave por 30 minutos, se agitó frecuentemente. La saponificación se prolonga de 30 a 60 minutos para que sea completa (según la altura sobre el nivel

del mar). Una vez terminada la saponificación de 60 minutos se le agregó 1ml de solución indicadora de fenolftaleína al 1.0 % titulándolo caliente, con ácido clorhídrico 0.5 N; para observar con claridad y precisión el punto final, considerándose como tal cuando después de transcurrir medio minuto de que se agrega la última gota del ácido clorhídrico 0.5 N se produce la decoloración.

Se hizo una prueba testigo usando la misma cantidad de reactivo, procurando que el tiempo de descartar de las pipetas sea semejante al de la muestra.

5.2.3. *Materia insaponificable.*²⁰

Se transfirió el líquido titulado del índice de saponificación a un embudo de separación, se usaron tres veces 50 ml de agua para lavar el matraz. Se extrajo la solución con 50 ml de éter etílico, tres veces, finalmente se juntaron los extractos etéreos. Se lavaron 2 veces con 20 ml de agua en un embudo de separación los extractos etéreos.

Se deshidrató el extracto etéreo, pasándolo por un filtro con sulfato de sodio anhidro. Se recuperó el extracto en un matraz y se evaporó el disolvente a presión reducida hasta que se eliminó con ayuda de un rotavapor.

5.3. Composición

5.3.1. *Cromatografía de gases.*²⁴

Se pesaron 240mg de grasa en un matraz Erlenmeyer de 25 ml, se agregaron 4 ml de NaOH 0.5 N en etanol; posteriormente se calentó a temperatura moderada hasta que los glóbulos de grasa entraron en solución.

Se agregaron 5 ml de BF_3/EtOH y llevo nuevamente a ebullición suave por 2 min.

Se agregaron 2 ml de hexano y posteriormente se adicionaron 15 ml de una solución saturada de NaCl.

Se adicionó a esa solución sulfato de sodio anhidro y se vertió la solución en un matraz aforado de 10 ml y se llevó al aforo con hexano.

Finalmente esta solución se inyectó en el cromatografo de gases.

6. RESULTADOS

6.1. Decoloración

El aceite recolectado fue sometido al tratamiento por la misma columna, esto para obtener resultados óptimos.

En la industria aceitera se usan las bentonitas en una etapa del proceso de refinación llamada decoloración, la cual es aplicada para clarificar un aceite. De esta manera se eliminan los pigmentos como xantofilas, carotenoides y las clorofilas, los cuales transfieren cierta pigmentación al aceite.

Se observó que al fluir un aceite recolectado de un puesto de frituras, a través de una columna de bentonita quitosan, este se clarifique debido a que en el material arcilloso se absorban los pigmentos que le transfieren a este aceite una coloración oscura (ver imagen 1 y 2).

	
Imagen 1.- Aceite recolectado de una empresa de fritura.	Imagen 2.- Aceite tratado con una bentonita de Durango.

6.2. DETERIORO DE ACEITES

6.2.1. Índice de Peróxidos

Este índice, nos indica la cantidad expresada en microgramos de oxígeno activo en un gramo de muestra, es decir, el grado de oxidación de los aceites.

La reacción realizada para cuantificar estos compuestos se basa en la reducción del grupo hidroperóxido (ROOH) con un ion yoduro (I⁻). Donde la cantidad de yodo liberada es proporcional a la concentración de peróxidos presentes²⁹ (Fig. 9).

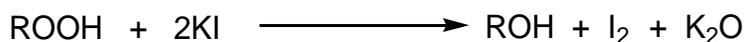


Figura 9.- Reacción de un hidroperóxido con yoduro de potasio

Como se muestra en la tabla 3 de resultados se comparan los tres aceites tomando como referencia el aceite de anaquel, el cual no presenta peróxidos.

Comparando el aceite sucio (que tiene un valor de índice de peróxidos muy alto) con el purificado se puede observar que este parámetro disminuye considerablemente hasta cumplir con lo establecido en la normatividad^{24,25,26,27}, el cual es como máximo para este parámetro de 2 meq/kg.

6.2.2. Acidez

La acidez que se determinó nos indica la cantidad de ácidos grasos libres presentes en una muestra, formados por una reacción de hidrólisis de los enlaces ester de los triglicéridos.

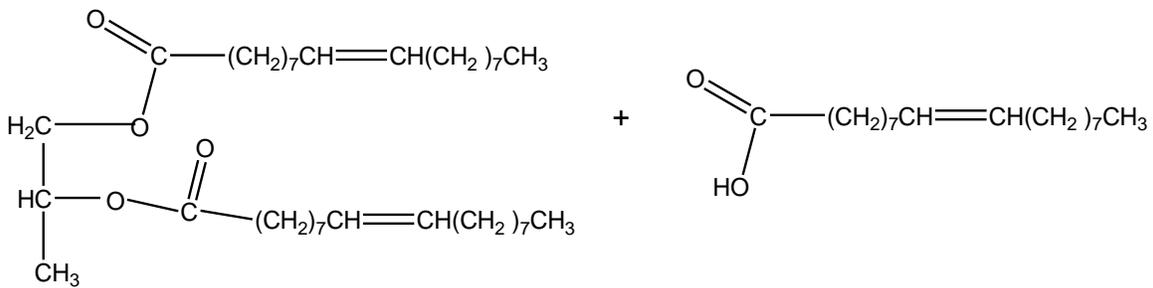


Figura 10.- Extracción de los ácidos grasos libres presentes en una muestra.

El protocolo para cuantificar la cantidad de ácidos grasos libres se basa en la extracción de estos con alcohol para posteriormente ser cuantificados con una titulación en medio básico (Fig. 10).

Como se observa, la acidez del aceite purificado muestra una disminución muy significativa en comparación con el aceite de desecho, el cual muestra una acidez muy alta. La NMX-F-223-1985 indica que el valor máximo de acidez es de 0.06% (ácido oleico), comparando ambos aceites (purificado y sucio) con el de anaquel podemos observar que este aceite al igual que el de desecho no entra en el límite marcado por la norma por lo que el aceite de anaquel comienza un estado de descomposición.

6.2.3. Índice de Kreis

El índice de Kreis indica el deterioro oxidativo de las grasas el cual, es el proceso del deterioro del aceite como consecuencia de la oxidación que continua con la formación de los peróxidos; produciéndose compuestos tales como malonaldehído o aldehídos epidrónicos.

La reacción para determinar estos compuestos se basa en la producción de color rojo debido a la reacción extremadamente sensible entre la floroglucina

reaccionando en medio ácido con los compuestos presentes en las grasas o aceites rancios: el aldehído epidrínico y malonaldehído, los cuales son parte de los compuestos secundarios, los cuales suelen ser muy tóxicos para los seres humanos.

Como podemos observar y al igual que los anteriores parámetros determinados existe una disminución de este parámetro (tabla 3), una vez que el aceite ha sido tratado con la bentonita, este disminuyó hasta un valor normal como lo indica la legislación²⁵. El aceite de anaquel presenta un valor negativo, lo cual es un valor lógico para un aceite de este tipo, ya que al ser un aceite nuevo no debe presentar compuestos de oxidación.

6.2.4. Índice de p-Anisidina

El índice de p-anisidina es complementario con el índice de Kreis ya que este índice sirve para detectar compuestos formados a partir del hidroperóxido, tales como aldehídos (principalmente los 2-alkenales y 2,4-dienales).

La reacción para determinar estos compuestos se basa en la reacción ocurrida entre la p-anisidina con los aldehídos, dando lugar a productos que absorben fuertemente a 350nm (Fig. 11). Esta reacción es una forma de comprobar la presencia de compuestos de oxidación secundarios.

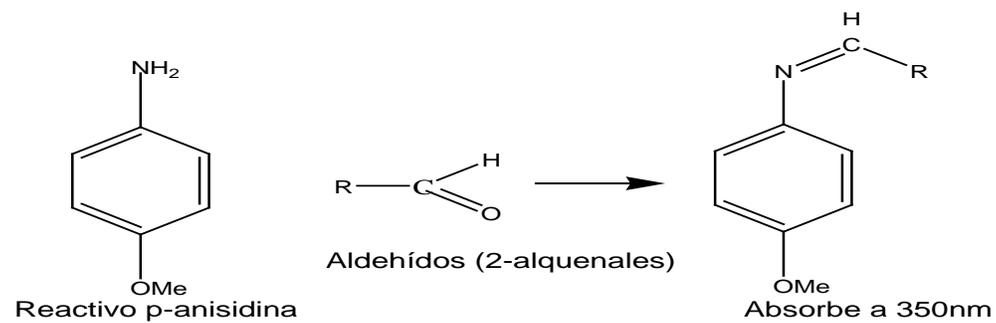


Figura 11.- Reacción de p-Anisidina con los alquenes.

Aunque este parámetro no tenga un valor definido en ninguna norma, comparando el aceite tratado con la bentonita con el aceite sucio se observa una disminución de este valor, la disminución de este parámetro indica que el aceite purificado está casi libre de compuestos tóxicos producto de las reacciones de oxidación de los ácidos grasos.

6.3. CARACTERIZACIÓN DE ACEITES

6.3.1. Índice de yodo

El índice de yodo es una medida del grado de insaturación de una grasa y se determina haciendo reacción entre la grasas con bromuro de yodo.

La reacción para determinar este parámetro se basa en una reacción de reducción del bromuro de yoduro a yodo, el cual es consecuencia de la adición del halógeno a las insaturaciones del ácido graso. Entre mayor sea el índice de yodo mayores insaturaciones tiene la grasa en estudio.

El proceso involucra tres reacciones:

1.- El bromuro de yodo reacciona con los dobles enlaces presentes en los lípidos de la grasa:



2.- El bromuro de yodo en exceso reacciona con yoduro de potasio (KI) y se convierte a yodo (I₂):



3.- La cantidad de yodo liberado es medida por liberación con tiosulfato de sodio.



Tanto en el aceite tratado como el aceite de anaquel se puede observar un valor relativamente bajo, esto en comparación con el aceite sucio. El aceite sucio no entra en los parámetros establecidos en la norma²⁷ los cuales son de **118-145 cgl₂/g**. El aumento del parámetro es debido al aumento de compuestos insaturados tales como ácidos carboxílicos, aldehídos etc., los cuales contribuyen a la reducción del bromuro de yoduro y por ende este parámetro aumente.

6.3.2. Índice de saponificación

El índice de saponificación consiste en una hidrólisis alcalina de un lípido (con hidróxido de potasio KOH), los lípidos derivados de ácidos grasos (ácidos monocarboxílicos de cadena larga) dan lugar a sales alcalinas (jabones) y alcohol, que son solubles en medio acuoso (Fig. 12).

El número de saponificación son los miligramos de KOH necesarios para saponificar 1g de grasa.

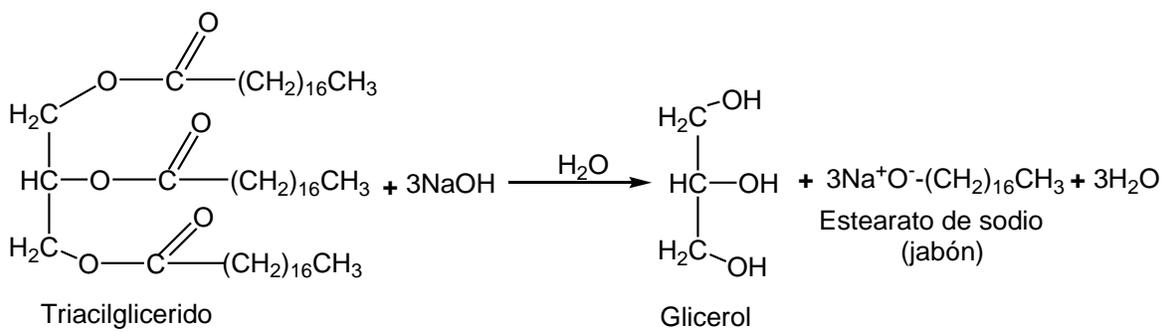


Figura 12.- Reacción de saponificación de los triglicéridos

Como se observa tanto en el aceite tratado con bentonita, el aceite sucio, así como el de anaquel tienen valores de saponificación muy parecidos entre sí. Sin embargo ambos aceites no entran en el rango establecido en la norma²⁶ que es de **182-193 mg KOH/g.**

6.3.3. Materia Insaponificable

La materia insaponificable se refiere a todo aquello diferente a un triglicérido (figura 13 y 14), es decir, esta materia incluye aquellas sustancias que se encuentran frecuentemente disueltas en grasas y aceites; las cuales no pueden ser saponificadas por el tratamiento cáustico normal, pero que son solubles en solventes de aceites y grasas. Incluidas en este grupo de compuestos están los alcoholes alifáticos de cadena larga, esteroides, pigmentos e hidrocarburos.

En este caso se observa tanto en el aceite tratado como en el aceite sucio, y el aceite de anaquel no cumplen con lo establecido en la normatividad^{26, 27,28} para un aceite de extraído de una sola semilla que es de máximo 1%; sin embargo al tratarse de una mezcla de aceites (canola, girasol, maíz etc.) la normatividad²⁵ no cuenta con ninguna especificación para este parámetro.

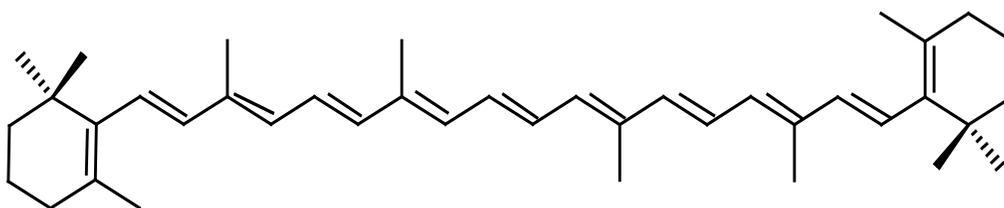
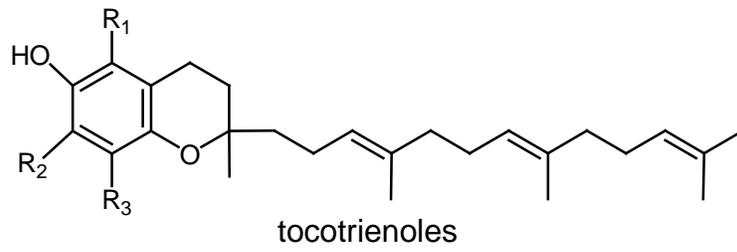
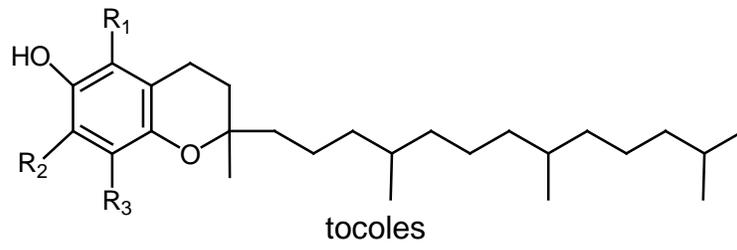


Figura 13.- β -Caroteno



Materia insaponificable

Figura 14.-Tocoferoles

6.4. COMPOSICIÓN DE ACEITES

6.4.1. Cromatografía de gases

Tabla 4.- Resultados de una cromatografía de gases aplicada a un aceite tratado con una bentonita extraída de Durango.

Ácido Graso	Concentración	% De ácido graso
Palmitato	0.000319531	6.68
Esteárico	0.000615468	12.82
Oleico	0.002079601	43.37
Linoléico	0.000132733	2.79
Linolénico	0.001407857	29.36
No identificados	0.000238555	4.97
Total	0.004793745	100

Tabla 4.- Resultados de una cromatografía de gases aplicada a un aceite sin tratamiento recolectado de una empresa donde se fríen diversas semillas.

Ácido Graso	Concentración	% De ácido graso
Palmitato	0.000158656	6.36
Estearico	0.000525842	20.93
Oleico	0.000989572	39.44
Linoléico	5.48767E-05	2.19
Linolénico	0.000663596	26.46
No identificados	0.000115863	4.61
Total	0.000223853	100

Tabla 6.- Resultados de una cromatografía de gases aplicada un aceite de anaquel.

Ácido Graso	Concentración	% De ácido graso
Palmitato	0.000254469	4.07
Esteárico	0.000635273	10.16
Oleico	0.003554909	56.87
Linoléico	0.000199993	3.20
Linolénico	0.00128055	20.48
No identificados	0.000326102	5.22
Total	0.006251295	100

Los esteres metílicos de ácidos grasos se preparan a partir de las grasas y aceites por analizar se separan y determinan cuantitativamente por Cromatografía de gases usando columnas empacadas o capilares.

La cromatografía de gases se realizó con el objetivo de determinar cuál era la composición del aceite tratado con bentonita (tabla 22) de un aceite sucio (tabla 23) y el aceite de anaquel (tabla 24). El ácido graso presente en mayor proporción en este aceite es el ácido oleico, sin embargo la concentración de este ácido no es la misma en las tres muestras, en el aceite sucio se nota que la concentración es menor, esto debido a todo el proceso al cual se ha sometido este aceite, es decir a las altas temperaturas, que favorecen su descomposición. Cabe señalar que los

ácidos grasos insaturados son más susceptibles a la oxidación y por lo tanto esto se ve reflejado en los resultados; además los compuestos no identificados fueron más altos en el aceite sucio que en el aceite de anaquel y en el aceite tratado lo que probablemente sean compuestos de oxidación y ácidos grasos no identificados además de alguna materia insaponificable.

7. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS APLICADOS AL ACEITE

Análisis fisicoquímico	Aceite de referencia	Aceite sucio	Aceite tratado con bentonita	% de eficiencia de la purificación	Observaciones
Deterioro de aceites					
Índice de Peróxidos (meq/kg)	Sin peróxidos	15.7 meq/kg ±2.61	Sin peróxidos	100	Estos compuestos son adsorbidos en la mezcla interactuando con los compuestos no polares del quitosán.
Acidez (% ácido oleico)	0.34% ±0.015	0.57% ±0.025	0.056% ±0.011	90.2	estos compuestos son adsorbidos en la mezcla interactuando con los compuestos cationicos tanto de la bentonita como del quitosán.
Índice de Kreis	ausente	1.38 ±0.087	ausente	100	estos compuestos son adsorbidos en la mezcla interactuando con los compuestos cationicos de la bentonita.
Índice de p-Anisidina	1.75 ± 0.03	47.72 ±0.28	1.79 ±0.020	96.2	estos compuestos son adsorbidos en la mezcla interactuando con los compuestos cationicos de la bentonita.
CARACTERIZACIÓN DE ACEITES					
Índice de yodo	132.3 ±0.36	382.07 ±3.58	123.2 ±4.26	67.8	la bentonita tiene un efecto redox ya que oxida a las cadenas de ácidos grasos.
Índice de saponificación	197.5 ±0.035	202.81 ±1.99	198.9 ±0.98	98.1	La bentonita adsorbe todo aquello que no es un Triacilglicerol, además del efecto redox
Materia Insaponificable	9.70 ±0.122	8.93 ±0.091	0.9 ±0.105	90	Estos compuestos son adsorbidos en la mezcla interactuando con los compuestos anionicos de la bentonita como son los GRUPOS OH.

7.1. CROMATOGRAFIA DE GASES

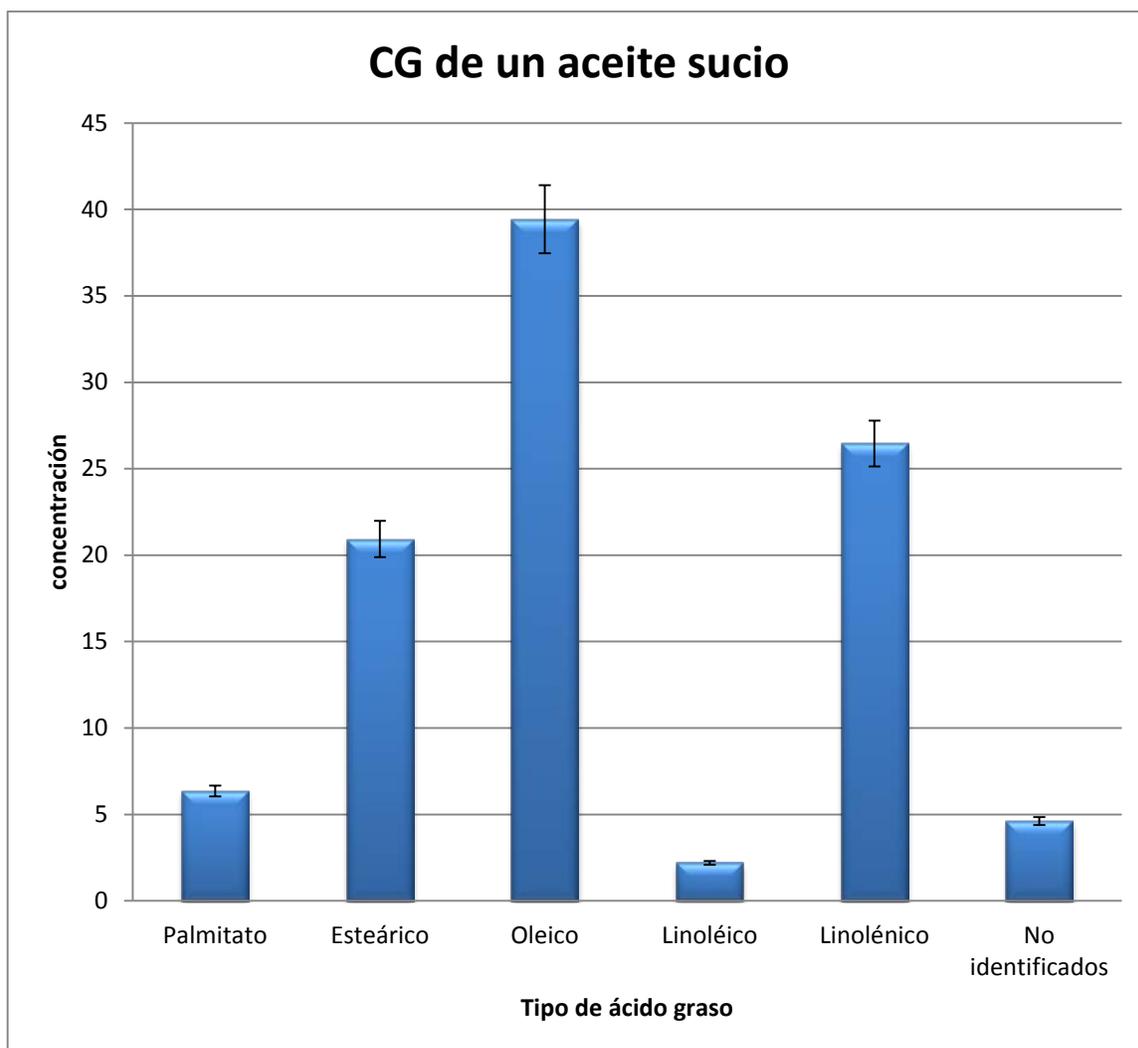


Grafico 1. Análisis Cromatógrafico aplicado a un aceite utilizado en la fritura.

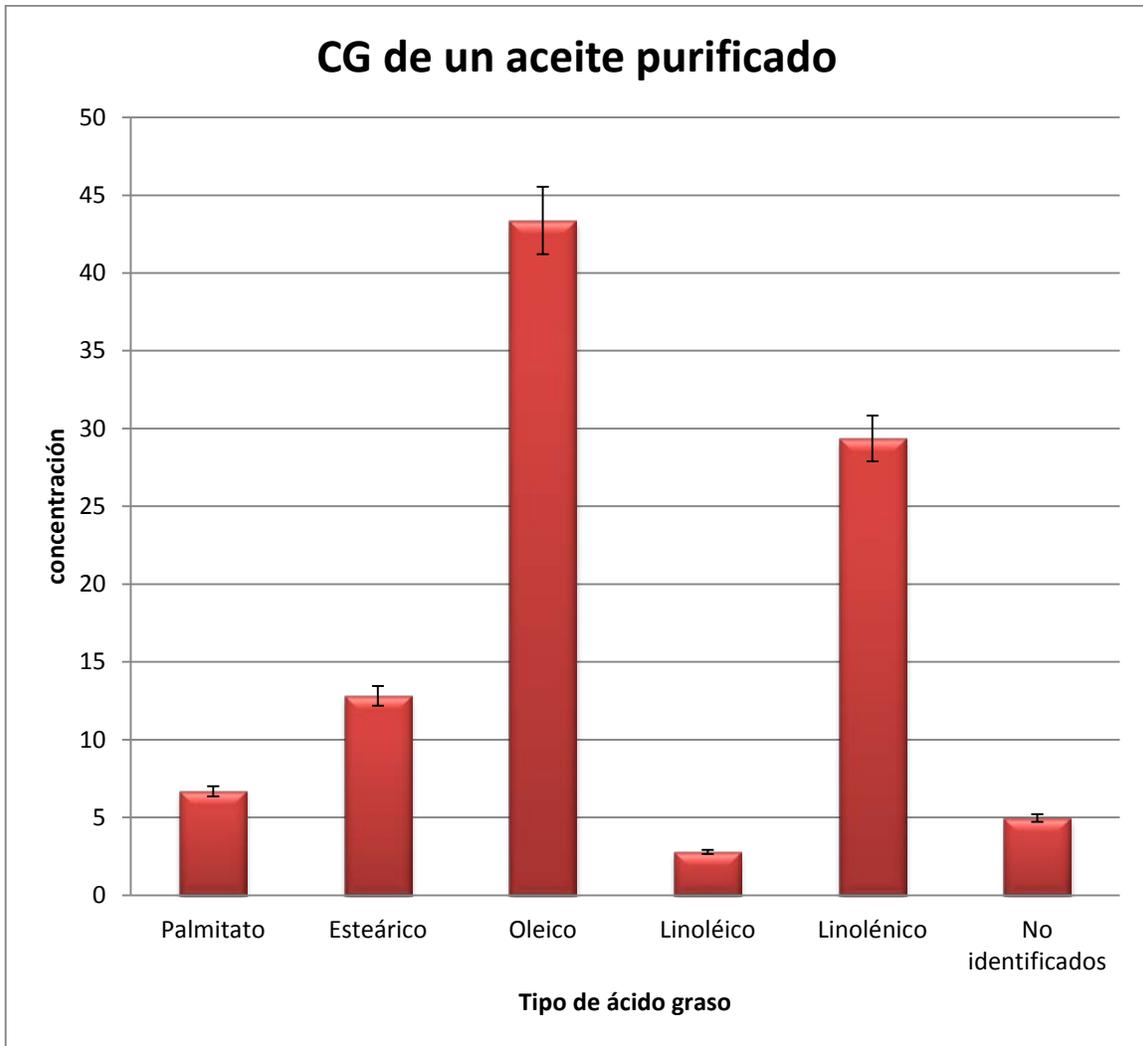


Grafico 2. Análisis Cromatógrafico aplicado a un aceite de fritura y al cual se le aplico el tratamiento Bentonita/Quitosán.

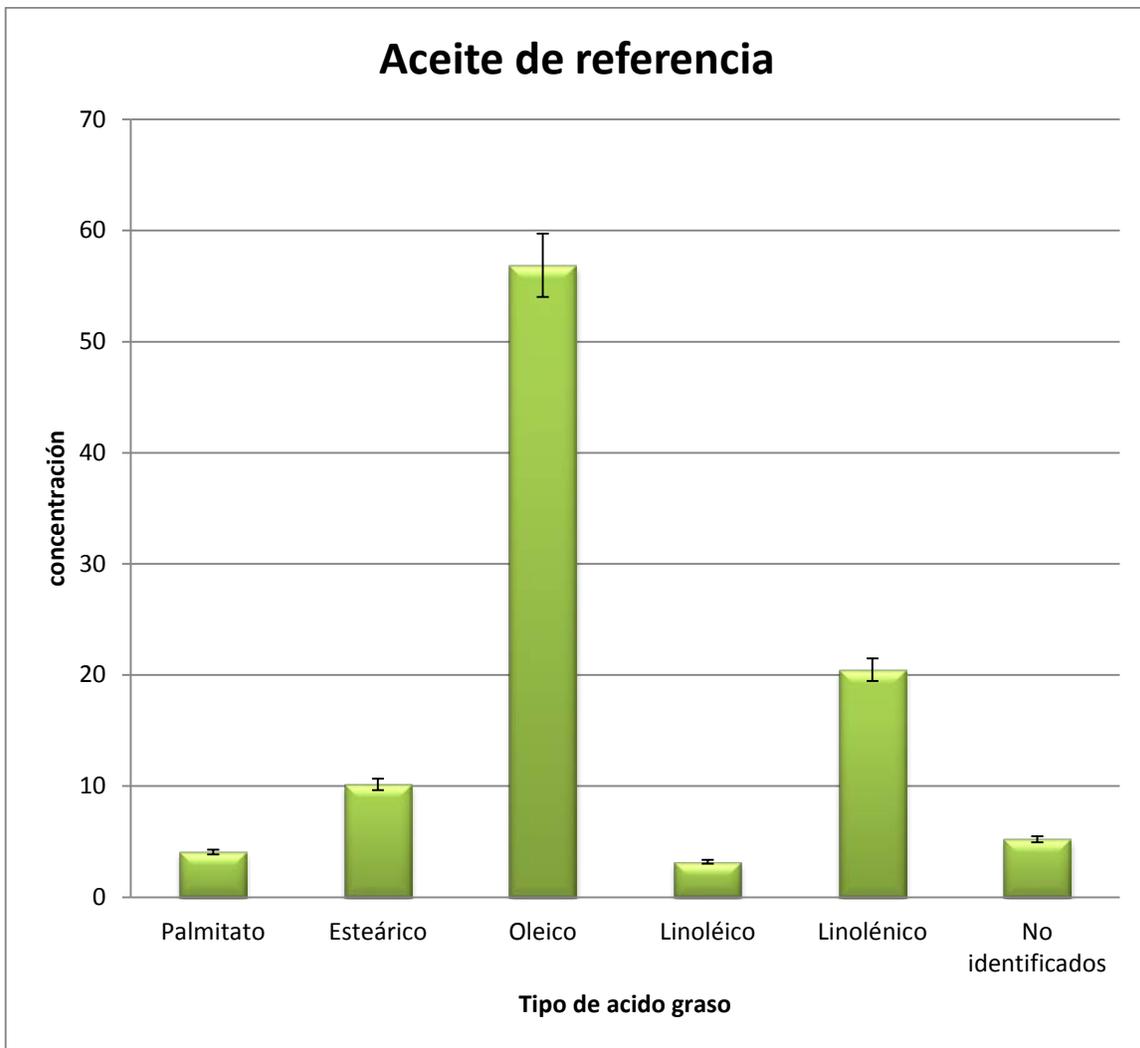


Grafico 2. Análisis Cromatógrafico aplicado a un aceite sin freír marca 1, 2,3.

8. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

INTERACCIÓN DE LA MEZCLA BENTONITA Y EL QUITOSAN CON LOS COMPUESTOS DE OXIDACIÓN GENERADOS EN EL ACEITE.

Una posible explicación al fenómeno de adsorción de las impurezas presentes, es que las moléculas que se comporten como base de Lewis interaccionaran con los sitios catiónicos de la arcilla que se comportan como ácidos de Lewis.

Por ejemplo, las moléculas como los ácidos grasos libres se quedan retenidas interactuando con los cationes presentes en la bentonita como metales (Fe, Mg, etc.), los cuales funcionan como ácidos o bases de Lewis.

Para el caso de un ácido de cadena corta o un aldehído, este tipo de compuestos se desprotonan, interactuando estos compuestos con los metales presentes en la bentonita, mientras que los protones quedan retenidos en el espacio interlaminar de la bentonita.

Las moléculas pequeñas que no se comporten como ácidos o bases de Lewis son retenidas en la bentonita, al no existir una fase móvil que permita su elución a través de la columna.

La disminución en el índice de yodo, según es que al momento de hacer fluir el aceite por la columna, los compuestos formados a través de la ruptura de los dobles enlaces (oxidación) y al formarse compuestos carbonílicos de cadenas cortas, estos compuestos se desprotonan quedando un radical libre el cual interacciona con los compuestos aniónicos de la bentonita, siendo adsorbidos en el espacio interlaminar de la bentonita en cuestión.

Para el caso del Quitosán la amina primaria en el Carbono 2 de los residuos de la glucosamina, es lo que le da la propiedad junto con la bentonita de retener compuestos de oxidación, en este caso el grupo amino al igual que la bentonita actúa como una base o un ácido de Lewis, es decir, interactúan aniones con los ácidos grasos libres, cetonas, ácidos de cadena corta y aldehídos.

La única característica estructural del Quitosán es la presencia de la amina primaria en la posición del C-2 de los residuos de glucosamina.

9. CONCLUSIONES

- 1) En este trabajo se demostró que la bentonita procedente del estado de Durango puede ser utilizada en la purificación de aceites.
- 2) Una vez realizado en análisis del aceite para determinar su nivel de deterioro y degradación, se concluyo que se purifico a niveles aceptables para reintegrarse a un ciclo productivo.
- 3) De igual forma se ha demostrado que el uso de la bentonita no altera la composición del aceite de origen vegetal.
- 4) Se logró identificar a los ácidos grasos presentes en los tres aceites mediante técnicas analíticas como cromatografía de gases.

10. BIBLIOGRAFÍA

1.- www.fao.org

2.-Drumm* T. Changes in the Content of Lipid Autoxidation and Sulfur-Containing Compounds in Cooked Beef during Storage. Agriculture. Food Chemistry. 1991, 39, 336-343

3.- Frankel E. Lipid oxidation, Peoria, Illinois 61604, U.S.A.

4.- Chanwitheesuk A., Teerawutgulrag A., Rakariyatham N.* Screening of antioxidant activity and antioxidant compounds of some edible plants of Thailand.

5.-Naz S. *, Siddiqi R., Sheikh H., Asad S. Deterioration of olive, corn and soybean oils due to air, light, heat and deep-frying.

6.- Capuano^a E., Oliviero^a T., Özge Ç. Açar^b, Gökmen^b V. and Fogliano^a V. Lipid oxidation promotes acrylamide formation in fat-rich model systems

7. - Muika B.,Lendl B., Molina-Díaz A., Ayora-Cañada MDirect monitoring of lipid oxidation in edible oils by Fourier transform Raman spectroscopy Getreidemarkt 9/164, A-1060 Wien.

8. - Amonrat Thanonkaew A., Benjakul S.,* Visessanguan W., Decker E. The effect of metal ions on lipid oxidation, colour and physicochemical properties of cuttlefish (*Sepia pharaonis*) subjected to multiple freeze–thaw cycles.

9. - O'Brien N., O'Connor T., University, Lipid Oxidation Elsevier Science Ltd. All Rights Reserved

10.- , Kyungwon S. Sunnam C. Oxidative degradation kinetics of tocopheroles during heating 461-701 j. food Sci. Nutr vol.12, p 115-118 (2007).

11. - Robert R., Awbrey W. Evidence for the role of singlet oxygen and superoxide in the breakdown of pigments and endogenous antioxidants.

12. - Masao Shimizu M., Moriwaki J, Nishide T, and Nakajima Y. Thermal Deterioration of Diacylglycerol and Triacylglycerol Oils During Deep-Frying, Japan JAOCS, Vol. 81, no. 6 (2004).
- 13.-BADUI S. Química de los alimentos Edit. Alhambra Mexicana, S.A. de C.V., 1993 – Technology & Engineering
- 14.- Zamora R., Olmo C., Navarro J. and Hidalgo F.
FRANCISCO J. HIDALGO*Contribution of Phospholipid Pyrrolization to the Color Reversion Produced during Deodorization of Poorly Degummed Vegetable Oils. J. Agric. Food Chem. 2004, 52, 4166-4171
15. - Araújo E., Araújo E., Vinícius M., Versuca S., Ferreira D., Machado K. Analysis of Used Vegetable Oils Treated with Paraíba/Brazil Clays by Kinematic Viscosity Analysis of Used Vegetable Oils Treated with Paraíba/Brazil Clays by Kinematic Viscosity Materials Science Forum (Volumes 660 - 661).
- 16.- Lazo C., Navarro J. Abel E., María R. et al. Empleo de arcillas modificadas para la adsorción de fenol presente en soluciones acuosas. Rev. Soc. Quím. Perú.
17. - Hussin F., Kheireddine M., Ashri W. Textural characteristics, surface chemistry and activation of bleaching earth: A review. Chemical Engineering Journal 170 (2011) 90–106
18. - Christidis G., Kosiara S. Decolorization of vegetable oils: A study of the mechanism of Adsorption of b-carotene by an acid-activated bentonite from Cyprus, clays and clay minerals. Vol. 51, No. 3, 327–333, 2003.
19. - Sawa T., Akaike T., Kida K., Fukushima Y., Takagi K., Maeda H. Lipid Peroxyl Radicals from Oxidized Oils and Heme-Iron: Implication of a High-Fat Diet in Colon Carcinogenesis. Vol. 7, 1007-1012, November 1998.

20.- Fundamentos y técnicas de análisis de alimentos. Laboratorio de alimentos 1 departamento de alimentos y biotecnología facultad de química, UNAM 2007-2008.

21.- NMX-F-051-SCFI-2008. Alimentos-Aceites y grasas vegetales o animales - determinación del índice de anisidina- método de prueba foods-vegetable or animals fats and oils - Anisidine value determination-Test method.

22.- NMX-F-152-SCFI-2011. Alimentos aceites y grasas vegetales o animales- determinación del índice de yodo por el método ciclohexano - método de prueba (cancela a la NMX-F-152-SCFI-2005).

23.- NMX-F-174-S-1981. Alimentos para humanos. Determinación del índice de saponificación en aceites y grasas vegetales o animales. Foods for humans determination of the saponification index in oils and vegetal or animal fats. Normas mexicana. Dirección general de normas.

24.- NMX-F-017-SCFI-2005. Alimentos – aceites y grasa – Determinación de la composición de ácidos grasos por cromatografía de gases – método de prueba foods – fats and oils – fatty acid composition by gas chromatography.

25.- NMX-F-223-1985. Alimentos. Aceite vegetal comestible. Foods edible vegetable oil. Normas mexicanas. Dirección general de normas.

26.- NMX-F-475-SCFI-2005. Alimentos – Aceite comestible puro de canola – especificaciones (cancela a la NMX-F-475-1985) foods – edible pure canola oil- especifications.

27.- NMX-F-030-1985. Alimentos. Aceite comestible puro de maíz foods. Edible pure corn oil. Normas mexicanas. Dirección general de normas.

28.- NMX-F-265-SCFI-2005. Alimentos – Aceite comestible puro de girasol – especificaciones (cancela a la NMX-F-265-1985) foods – edible pure sunflower oil – specifications.

29. - Pokorny J., Antioxidantes de los Alimentos. Aplicaciones prácticas. Edit. Acribia, S.A. 1ª ed., 1ª imp. Pag 65. (11/2004)

30.- Vargas Y., Gómez-V., Vázquez E., García A., Aguilar G., Murrieta H., Salmón S. Caracterización espectroscópica, química y morfológica y propiedades superficiales de una montmorillonita mexicana.