



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**ESTUDIO DEL ÍNDICE DE OXIDACIÓN TOTAL PARA EL
CONTROL DE CALIDAD DE ACEITE EMPLEADO EN LA
INDUSTRIA DE ALIMENTOS FRITOS**

**TESIS
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
QUÍMICO DE ALIMENTOS**

**PRESENTA
VÍCTOR SÁNCHEZ ACUÑA**



MÉXICO, D.F.

2013



Universidad Nacional
Autónoma de México



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: PROF. MARÍA DE LOURDES GÓMEZ RÍOS

VOCAL: PROF. JUAN MANUEL DÍAZ ÁLVAREZ

SECRETARIO: PROF. ARGELIA SÁNCHEZ CHINCHILLAS

1er. SUPLENTE: PROF. JUAN CARLOS RAMÍREZ OREJEL

2° SUPLENTE: PROF. BRENDA SÁNCHEZ SALAZAR

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

Laboratorio Central, Pepsico Foods & Beverages: Sabritas S. de R.L. de C.V.,
Planta Vallejo, México D.F.

ASESOR DEL TEMA

QFB María de Lourdes Gómez Ríos

SUPERVISOR TÉCNICO

I A Rut Alcántara Robles

SUSTENTANTE

Víctor Sánchez Acuña

Hay una leyenda sobre un pájaro que canta sólo una vez en su vida, y lo hace más dulcemente que cualquier otra criatura sobre la faz de la tierra. Desde el momento en que abandona el nido, busca un árbol espinoso y no descansa hasta encontrarlo. Entonces, cantando entre las crueles ramas, se clava él mismo en la espina más larga y afilada. Y, al morir, envuelve su agonía en un canto más bello que el de la alondra y el del ruiseñor. Un canto superlativo, al precio de la existencia. Pero todo el mundo enmudece para escuchar, y Dios sonríe en el cielo. Pues lo mejor sólo se compra con grandes dolores...

Al menos, así lo dice la leyenda.

Colleen McCullough, Amor entre espinas

Dedicado a las personas que creyeron sinceramente en mí:

mis padres, Alejandrina y Antonio

mis hermanos, José Luis y José Antonio

y mis tíos Enriqueta, Tere y Moisés

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi reconocimiento y mi gratitud a las siguientes personas por su extraordinario apoyo y sus contribuciones a lo largo de estos años.

A Dios, que ha escuchado quejarme, reír, llorar, o aun, algunas veces, callar.

A la familia Rayón Firó, que me abrió las puertas de su casa y permitir que perturbara su vida con mi estancia. Gracias a Mamá Teté y Don Pascual por darme una familia en esta gran ciudad.

A los grandes profesores del presente y del pasado, con cuya sabiduría encendieron el poderoso fuego del conocimiento en mi interior. He caminado a la sombra de su grandeza y honro a cada uno de ellos. Un agradecimiento a las Maestras Lulú Gómez, Lucía Cornejo, Argelia Sánchez, Liliana González, Verónica García, Karla Díaz, Silvia Bello y Ana Esther Aguilar.

A Mariana y Tonali González, y doña Susana Rangel, que me han inspirado, conmovido, ayudado e iluminado con su presencia.

A mis amigos Jorge Altamirano, Alberto López, Anabel Gasca, Issac Arriaga, Monse López, Alejandro Meneses, Ivonne Tinoco, Diana Reyna, Sandra Rodríguez, Marlene Joaquín, Marco Navarrete, Pablo Ortiz, Ruth Barrera, Iliana Ramos, Toño Sanjuan, Edna Sánchez, Josele Rosas, Ana Acuña, Eliane Terán, Guillermo Moreno, Mayra Escribano, Fabiola Castañeda, Kike Ramírez y Javier Dávila, cuya amistad y ayuda no tienen límites.

A Grupo Pepsico, por el apoyo para la realización del presente proyecto, en especial a Rut Alcántara, Ana Alicia Ramírez, Arnaldo Guerrero y Beatriz Guzmán y a mis compañeros del Laboratorio Central Mónica Cano, Laura Moreno y Rosa María Ramos.

Y a todos los que, de alguna forma y en mayor o menor medida, se han cruzado en mi vida y han contribuido a mi crecimiento personal.

ÍNDICE

Capítulo I. Introducción	1
1.1 Objetivos	2
1.2 Justificación	3
1.3 Planteamiento del problema	4
Capítulo II. Generalidades	5
2.1 Lípidos: grasas y aceites	6
2.1.1 Aspectos químicos de los lípidos	7
2.2 Absorción de aceite y pérdida de humedad durante el freído	12
2.3 Freído por inmersión	12
2.3.1 Mecanismo general de la fritura por inmersión	13
2.3.2 Cambios en el aceite y reacciones durante el freído	14
2.4 Papel del aceite	17
2.4.1 Cambios en las proteínas, péptidos y aminoácidos	17
2.4.2 Cambios en los hidratos de carbono	18
2.4.3 Cambios en vitaminas	19
2.4.4 Cambios en los nutrimentos inorgánicos	19
2.5 Grupo Pepsico México	20
Capítulo III. Metodología	21
3.1 Diagrama general	22
3.2 Muestras empleadas	23
3.3 Índice de Peróxidos	23
3.3.1 Fundamento de la técnica	23
3.3.2 Determinación del Índice de Peróxidos	23
3.4 Valor de Anisidina	24
3.4.1 Fundamento de la técnica	24
3.4.2 Determinación del Valor de anisidina	24
3.5 Índice de Oxidación Total	25
3.5.1 Determinación del Índice de Oxidación Total	25

Capítulo IV. Resultados y discusión	26
4.1 Valor de Anisidina	27
4.1.1 Variables que afectan el análisis químico del aceite	27
4.1.1.1 Temperatura de la muestra	27
4.1.1.2 Limpieza del material	28
4.1.1.3 Pureza de reactivos	29
4.1.1.4 Tiempo de reacción	30
4.1.1.5 Estabilidad de la muestra de referencia	31
4.2 Índice de Peróxidos	33
4.2.1 Variables que afectan el análisis químico del aceite	33
4.2.1.1 Temperatura de la muestra	33
4.2.1.2 Limpieza de material	34
4.2.1.3. Pureza de reactivos	35
4.2.1.4 Tiempo de freído	36
4.3 Índice de oxidación total	38
4.3.1 Evaluación del Índice de Oxidación Total	38
Capítulo V. Conclusiones	40
Referencias bibliográficas	42
Anexos	45
Anexo I. Procedimiento analítico AOCS Cd 8b-90	46
Anexo II. Procedimiento analítico AOCS Cd 18-90	47
Anexo III. Procedimiento para el lavado de material utilizado en las determinaciones de control de calidad de aceite	48

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

1.1 Objetivos

General

Determinar la calidad química del aceite empleado en la elaboración de botanas fritas mediante el Índice de Oxidación Total para garantizar la calidad de los productos elaborados.

Particulares

- Identificar algunas variables que afectan el análisis químico del aceite empleado en el freído de botanas.
- Proponer la técnica del Índice de Oxidación Total a través de la determinación de las variables implicadas, para la eliminación o reducción de errores durante el análisis.
- Establecer el impacto que tiene la calidad química del aceite en el Índice de Peróxidos y el Valor de Anisidina.

1.2 Justificación

El desarrollo de metodologías para la determinación de compuestos de primera y segunda generación en el aceite empleado en la elaboración de frituras requieren de equipos con una sensibilidad adecuada para su detección, así como la estandarización de la técnica y su posterior validación, para que refleje datos veraces y confiables.

En el control de calidad de aceites es muy común la determinación del Índice de Peróxido (IP) y el Valor de Anisidina (AV) y se pretende que con estos datos aislados se obtenga una estimativa sobre la oxidación actual del aceite, que depende de las condiciones de manejo, almacenamiento y procesamiento de las materias primas y productos intermedios y finales. La inexistencia de condiciones estandarizadas para realizar las determinaciones de Índice de Peróxidos y del Valor de Anisidina dificulta una medición adecuada.

Para realizar el presente trabajo, se tomaron en cuenta las siguientes técnicas:

- Yodimetría para la determinación del Índice de Peróxidos, controlando las condiciones mencionadas en la metodología oficial.
- Espectrofotometría UV-vis para la determinación del Valor de Anisidina, variando las condiciones para determinar las adecuadas para obtener resultados confiables.

1.3 Planteamiento del problema

El aceite empleado en el freído es una mezcla compleja, lo cual dificulta su análisis debido a la inestabilidad resultante de la formación de compuestos de oxidación de primera y segunda generación, que se forman por la degradación de ácidos grasos.

La formación de dichos compuestos se ve influenciada por factores intrínsecos (composición del aceite) y extrínsecos (la temperatura del aceite, el tiempo de freído, el contenido de humedad del alimento a freír, la presencia de prooxidantes y antioxidantes), obligando a estandarizar las técnicas utilizadas en el control de calidad de dicho aceite para obtener resultados precisos y confiables.

Para poder utilizar el Índice de Oxidación Total, Índice TotOx, se tienen que tomar los siguientes puntos:

- La matriz es compleja, ya que cuenta con diferentes compuestos dependiendo de la etapa y tipo de oxidación que se lleva a cabo.
- Los compuestos a determinar, en el caso de los peróxidos e hidroperóxidos, son inestables y se descomponen fácilmente, incluso pueden reaccionar entre sí.
- Los compuestos de oxidación primaria (peróxidos) y de oxidación secundaria (alquenes) no están en la misma proporción.

CAPÍTULO II
GENERALIDADES

2.1 Lípidos: grasas y aceites.

Los lípidos constituyen un grupo diverso de compuestos, generalmente solubles en disolventes orgánicos y poca solubilidad en agua. Son los componentes principales del tejido adiposo y, junto con las proteínas e hidratos de carbono, constituyen los principales componentes estructurales de las células vivas. Los ésteres del glicerol y los ácidos grasos han sido tradicionalmente denominados grasas y aceites. La distinción entre grasas y aceite, basada exclusivamente en el estado sólido o líquido de los lípidos a la temperatura ambiente, ofrece escasa importancia práctica y son términos que se emplean con ambigüedad (Belitz *et al.*, 2009).

Los lípidos se consumen en forma de grasas y aceites, que han sido separadas de sus fuentes animales o vegetales, como la mantequilla, la manteca y las grasas plastificantes, o como componentes de alimentos básicos, como la leche, el queso y la carne. La fuente más importante cuantitativamente de aceites vegetales son las semillas de soya, algodón, cacahuate y árboles como la palma, así como el olivo y el coco (Fennema, 2002).

La composición, estructura cristalina, propiedades de fusión y capacidad de asociación con el agua y otras moléculas no lipídicas ofrecen especial importancia a los lípidos en relación con sus propiedades funcionales. Durante el proceso, el almacenamiento y la manipulación de los alimentos, los lípidos sufren complejos cambios químicos y reaccionan con los otros ingredientes, produciendo compuestos que pueden ser deseables o indeseables para la calidad del producto.

Los lípidos proporcionan energía y ácidos grasos indispensables, transportan vitaminas y mejoran la palatabilidad de los alimentos, pero durante mucho tiempo han sido objeto de controversia con respecto al riesgo de sufrir ciertas enfermedades, como el sobrepeso y la obesidad, y a la formación de compuestos tóxicos derivados de la oxidación de los mismos (Badui *et al.*, 2006).

2.1.1 Aspectos químicos de los lípidos

Oxidación

Las características de calidad de aceites y grasas de los alimentos que los contienen siempre están relacionados con el fenómeno de oxidación, que es sin duda alguna el tipo de deterioro más común e importante en estos productos. La oxidación, entre otras consecuencias, ocasiona la aparición de olores y sabores indeseables, deprecia el producto y disminuye su valor nutricional (Ryan *et al.*, 2008).

Debido a sus propiedades fisicoquímicas, los lípidos presentes en los alimentos son susceptibles a oxidarse. Además, los alimentos contienen numerosos componentes no lipídicos que pueden oxidarse o interactuar con los lípidos y sus productos de oxidación. Los factores que afectan la oxidación de los lípidos son, entre otros:

Intrínsecos

- La velocidad de oxidación se ve afectada por el número, la posición y la geometría de los dobles enlaces.
- Ácidos grasos libres y acilgliceroles. Los ácidos grasos se oxidan a velocidades ligeramente superiores si están libres que cuando se encuentran formando parte de los acilgliceroles.

Extrínsecos

- Concentración de oxígeno. El efecto negativo de la concentración de oxígeno sobre la velocidad de oxidación.
- Temperatura. En general, la velocidad de oxidación aumenta con la temperatura.
- Área superficial. La velocidad de oxidación aumenta en proporción directa al área superficial del lípido expuesta al aire.
- Agua. En los sistemas lipídicos y en varios alimentos que contienen grasas, la velocidad de la oxidación depende mucho de la actividad de agua.

- Prooxidantes. Los metales de transición, en especial aquellos que tienen dos o más estados de valencia y un potencial de oxidación-reducción adecuado (cobalto, cobre, hierro, manganeso y níquel) (Fennema, 2002).

Reacciones oxidativas del aceite

Existen dos tipos de rancidez, la hidrolítica y la oxidativa (figura 1). La primera se refiere a la reacción de hidrólisis de los triglicéridos de la grasa con la subsecuente producción de ácidos grasos libres. Esta reacción puede ser catalizada por lipasas presentes en los granos, semillas oleaginosas y alimentos, o producidas por microorganismos. También puede ocurrir de forma no-enzimática, por ejemplo, en los procesos de freído, en los cuales la hidrólisis es debida a las altas temperaturas utilizadas, produciendo ácidos grasos libres (Barrera-Arellano, 1998).

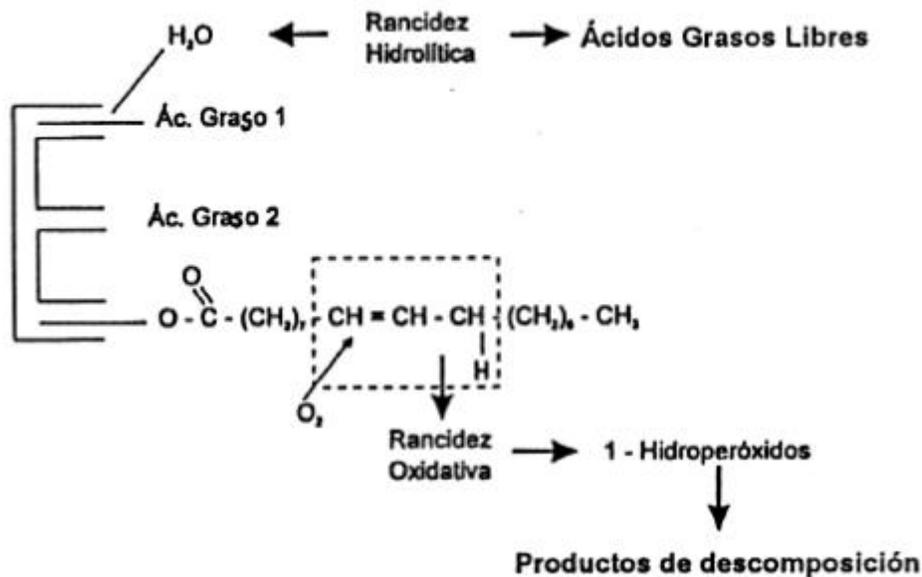


Figura 1. Tipos de rancidez: hidrolítica y oxidativa (Barrera-Arellano, 1988).

La rancidez oxidativa, también llamada autoxidación, desde el punto de vista de calidad, es el factor más importante en aceites y grasas. En este caso, se trata de la reacción del oxígeno atmosférico con los dobles enlaces de los ácidos grasos insaturados. Esta reacción genera los productos primarios de la oxidación

(peróxidos e hidroperóxidos), los cuales por una serie de reacciones paralelas producen los compuestos secundarios de la reacción, sean estos volátiles, como aldehídos, cetonas y ácidos, o no volátiles como dímeros, trímeros y polímeros, característicos de productos rancificados. La figura 2 muestra algunas posibles reacciones entre los productos de la autoxidación y otros componentes de los alimentos, que afectan la calidad sensorial, nutricional y económica debido al rechazo por parte del consumidor (Barrera-Arellano, 1998).

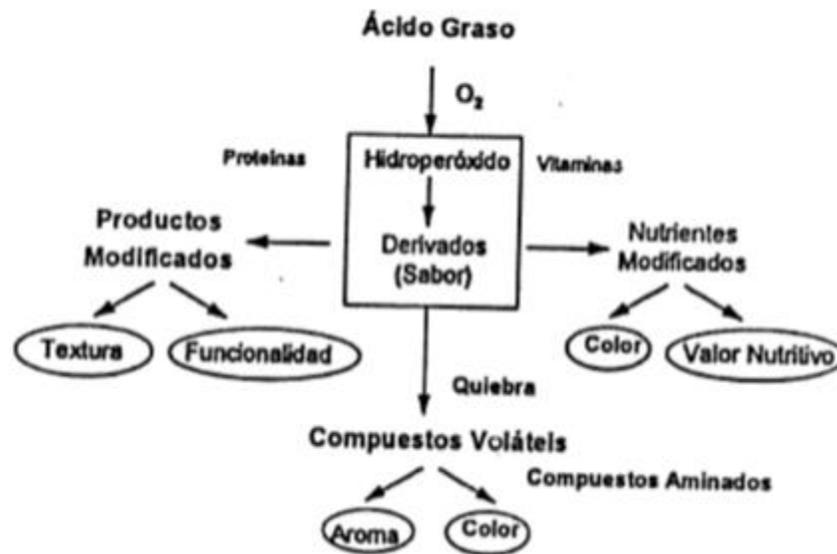


Figura 2. Reacciones entre los productos de oxidación y otros componentes de los alimentos (Barrera-Arellano, 1988)

La reacción de autoxidación es imposible de evitar, mas es posible retardarla. En la figura 3 se representa el mecanismo de esta reacción y los sitios en los cuales la velocidad puede ser alterada. Como se observa, la reacción es iniciada por iones metálicos o por energía térmica o luminosa, produciendo los primeros radicales libres (R·), además, la eliminación o reducción de metales (principalmente hierro y cobre) por agentes quelantes, como ácido cítrico, y la producción y almacenamiento a bajas temperaturas o la protección contra la luz, retardarían la formación de los radicales libres y el apareamiento de la rancidez, aumentando la estabilidad o vida útil de los productos. (Barrera-Arellano, 1998).

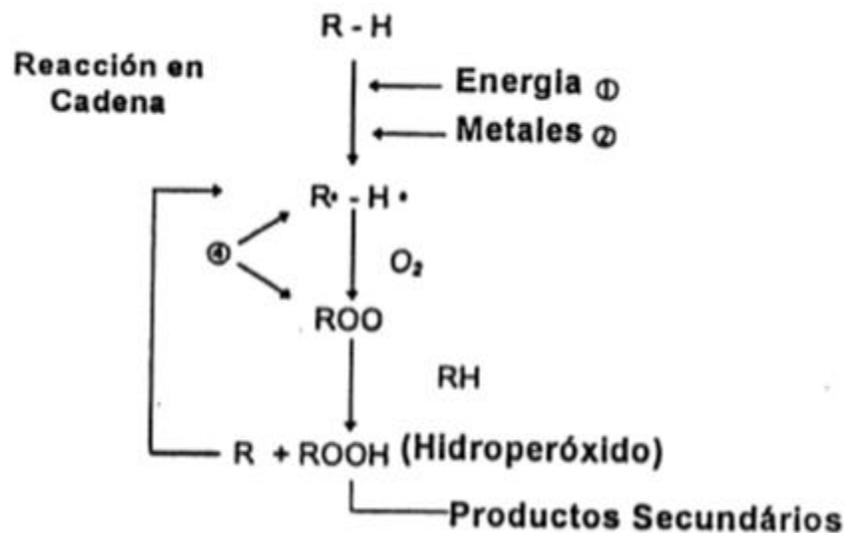


Figura 3. Mecanismo de la autoxidación. Puntos de posible modificación de la velocidad de reacción (Barrera-Arellano, 1988).

Pruebas para el control de calidad del aceite

La oxidación de compuestos lipídicos por el oxígeno atmosférico es importante en el desarrollo de rancidez, en la producción de olores desagradables y en la polimerización de los aceites. Los primeros productos aislables son hidroperóxidos insaturados. Estos son intermediarios que reaccionan dando, entre otros, compuestos con grupos carbonilo, los que a su vez pueden catalizar oxidaciones posteriores o descomponerse en compuestos indeseables. La calidad oxidada de los aceites tienen efectos significativos sobre su estabilidad durante el almacenamiento y sobre su valor nutricional (Grompone, 1991).

La formación de compuestos secundarios de oxidación a partir de los hidroperóxidos de los ácidos grasos, así como a partir de otros compuestos secundarios de oxidación, lleva a una mezcla de numerosas especies químicas diferentes, cuya abundancia relativa depende de diversos factores mencionados anteriormente (Codony *et al.*, 2010).

Es frecuente que las vías de oxidación operen simultánea y competitivamente. Como la descomposición oxidativa tiene una gran influencia, tanto sobre la

aceptabilidad como sobre la calidad nutritiva de los productos, se han diseñado numerosos métodos para su evaluación. Sin embargo, no hay ningún método que permita seguir simultáneamente todos los eventos oxidativos ni que pueda resultar igualmente útil en todas las etapas del proceso ni en todas las grasas, todos los alimentos y todas las condiciones de proceso. Una prueba puede dar seguimiento, en el mejor de los casos, solo unos pocos cambios, en sistemas específicos y bajo determinadas condiciones (Raza *et al.*, 2009; Akinoso *et al.*, 2010; Miller, 2012; Poiana, 2012).

Existen diferentes pruebas que se utilizan para medir los diferentes compuestos generados durante la oxidación de los aceites. Entre estas pruebas, las que se utilizan con mayor frecuencia en la industria, y que son métodos oficiales por la American Oil Chemistry Society (AOCS), son:

- Índice de Peróxidos (AOCS Cd 8b-90).
- Valor de Anisidina (AOCS Cd 18-90).
- Ácidos Grasos Libres (AOCS Ca 5a-40)
- Valor de Ácido Tiobarbitúrico (AOCS Cd 19-90)
- Índice de Yodo (AOCS Cd 1-25)

La ventaja de determinar el Valor de Anisidina sobre el Índice de Peróxidos es que en este último, la utilidad se limita a las etapas iniciales de la reacción (Pantzaris, 1998). Como los hidroperóxidos sufren reacciones posteriores de descomposición, la historia oxidativa completa de un aceite no se revela en su índice de peróxido: éste puede ser bajo porque el material es de buena calidad o porque ha sido reducido por algún proceso que puede enmascarar su deterioro verdadero, como el blanqueo, el uso de antioxidantes, la hidrogenación o el uso de una atmósfera inerte, como el nitrógeno.

Como consecuencia, son muchos los métodos que han sido propuestos para evaluar el grado de oxidación secundaria de los aceites, con una metodología claramente diferenciada, ya que el conjunto de sustancias a las que es sensible cada método es también claramente diferente (Ryan *et al.*, 2008).

En 1957 se introdujo el ensayo de la bencidina como una medida de los productos de la oxidación secundaria formados durante el procesamiento de los aceites (Grompone, 1991). Debido a las propiedades cancerígenas del mencionado reactivo, se sustituyó por un ensayo similar basado en el uso de la anisidina (Departamento de Salud de Nueva Jersey, 2005).

2.2 Absorción de aceite y pérdida de humedad durante el freído

El contenido graso incrementa la energía metabolizable de los productos fritos. Varios factores influyen la absorción de grasa durante el freído:

- Temperatura y tiempo de freído.
- Contenido de humedad, especialmente en la superficie.
- Tipo, tamaño y forma del alimento frito.
- Tratamientos previos al freído, como secado o aplicación de cubiertas.
- Tipo y calidad del aceite de freído, como el contenido de lípidos polares o sustancias activas en la superficie.

El contenido de aceite incrementa con respecto al tiempo de freído. Los alimentos de origen vegetal absorben más aceite que los alimentos de origen animal.

La calidad del aceite de freído influye en la absorción del mismo por parte del alimento. Durante repetidas frituras, la polaridad del aceite incrementa, y la tensión interfacial en la superficie de la papa disminuye. Por lo que, la velocidad de absorción de aceite incrementa (Boskou *et al.*, 1999).

2.3 Freído por inmersión

El freído por inmersión es una operación unitaria de las más importantes en la industria de los alimentos, ya que es rápido, práctico y los productos alimenticios sometidos a dicho proceso son generalmente apetecibles por su sabor y textura. Se procesan y distribuyen de este modo papas fritas, donas y gran cantidad de aperitivos y bocadillos (Ngadi *et al.*, 2010).

2.3.1 Mecanismo general del freído por inmersión

El freído por inmersión es un proceso de cocción que implica la transferencia directa de calor del aceite caliente al alimento. Dicha transferencia es regulada para mantener la temperatura deseada (Lawson, 1999; Miranda *et al.*, 2006).

Debido al paso directo del calor del aceite al alimento, el proceso de freído es rápido. Cuando el alimento se introduce en el freidor ocurren diferentes cambios:

- El calor continua transfiriéndose incluso después de que el alimento es cocinado y retirado del freidor. En operaciones de freído importantes es frecuente que el alimento pase a través de la freidora por cintas transportadoras.
- La humedad del alimento empieza a formar vapor.
- Se produce un deseable color dorado o caramelizado en la superficie del alimento.
- El alimento absorbe aceite durante el proceso de cocinado. Normalmente del 4 a 30% del peso final del alimento frito es aceite absorbido. En la mayoría de los alimentos, la proporción de este aceite absorbido tiende a acumularse cerca de la superficie del alimento frito. Este aceite añade una textura deseable al alimento y le proporciona una calidad sensorial apreciada por los consumidores. La cantidad de aceite absorbido se ve afectada por el tiempo de cocción del alimento, el área superficial del mismo, el contenido final de humedad del producto y la naturaleza del producto.
- Se producen cambios en la aceite de freído a medida que se va utilizando (Marcano *et al.*, 2010).

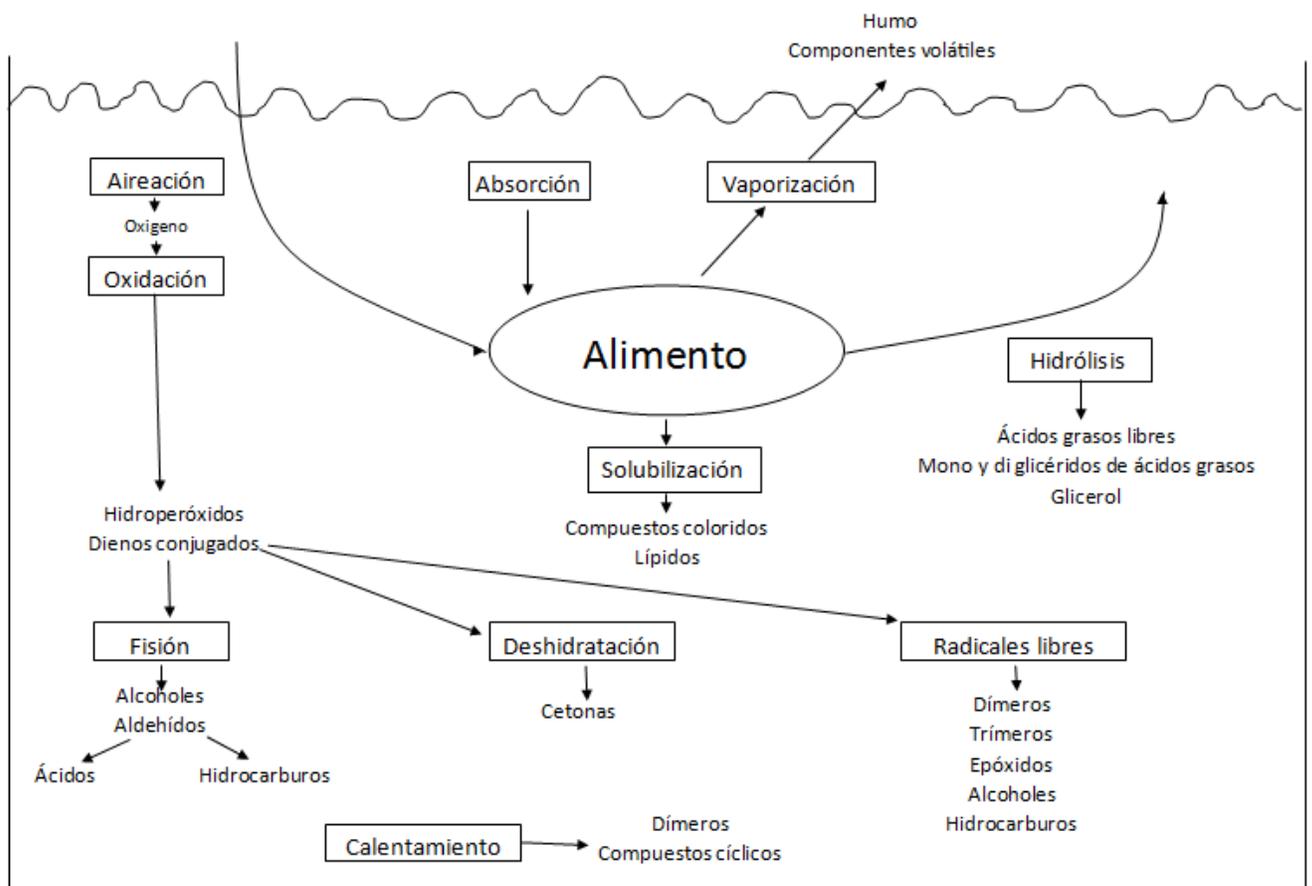


Figura 4. Reacciones en el aceite durante el freído (Boskou, 1999).

2.3.2 Cambios en el aceite y reacciones durante el freído

Los aceites empleados en el freído por inmersión experimentan gradualmente ciertos cambios químicos durante su uso. Los cambios más importantes son oxidación, formación de color, polimerización e hidrólisis. Además de estas transformaciones químicas, se observan otros cambios físicos como desarrollo de olor y sabor.

Oxidación

El oxígeno del aire reacciona con el aceite del freidor. Los productos volátiles son eliminados del freidor por el vapor desarrollado durante la fritura del alimento, pero otros productos de la reacción permanecen en el aceite y pueden acelerar la oxidación posterior. A temperatura ambiente, la oxidación suele ser un proceso relativamente lento. Sin embargo, a las temperaturas de fritura la oxidación se

produce de manera bastante rápida. Cuanto mayor sea la temperatura, más rápida será la velocidad de oxidación, por lo que es importante que la temperatura del aceite de freído no sea más elevada de la necesaria para realizar la cocción.

Por lo tanto, para mantener el nivel de oxidación al mínimo en el aceite de freído es importante usar un aceite de buena calidad, mantener la temperatura del aceite tan baja como sea posible, seguir las normas de freído que permitan la máxima velocidad de renovación de la grasa y evitar la contaminación con cobre. También es importante la eliminación regular de las partículas de alimento que se encuentran en el aceite (Lawson, 1999).

Formación de color

Todos los alimentos que se fríen aportan sustancias (hidratos de carbono, proteínas, fosfatos, compuestos de azufre y metales traza) que se acumulan en el aceite durante el proceso de freído. Estos elementos reaccionan con el aceite y causan su oscurecimiento.

Como el aceite se va volviendo más oscuro con el uso, los alimentos fritos en él se oscurecen a una velocidad más rápida, alcanzando con el tiempo un punto en el cual el alimento puede tener un color demasiado oscuro sin estar completamente cocinado. Los alimentos fritos también pueden presentar un aspecto indeseable: gris, deslustrado, color desigual, entre otros. La velocidad de formación de color en el aceite es diferente según cada alimento. La velocidad de oscurecimiento o cualquier otro cambio en las características del aceite de fritura dependen de manera considerable de la velocidad de renovación del aceite (Lawson, 1999).

Polimerización

Cuando los aceites se calientan durante el proceso de freído, se forman varios productos de degradación. Algunos de estos productos son volátiles a las temperaturas de freído y tienen escasa responsabilidad en el desarrollo de polímeros, como son peróxidos, mono y diglicéridos, aldehídos, cetonas y ácidos carboxílicos.

Entre los productos de descomposición no volátiles se encuentran compuestos polares, monómeros, (cíclicos y no cíclicos), dímeros, trímeros y otros compuestos de alto peso molecular que contribuyen a la polimerización.

La polimerización puede también tener como resultado la formación de espuma debido a la generación de una alta concentración de polímeros de elevado peso molecular. El exceso de proteínas en el aceite de freír contribuye también a la formación de espuma.

La formación de espuma consiste en la formación de burbujas que se deslizan lentamente hacia arriba por los lados de la freidora. La formación de espuma no debería confundirse con el burbujeo que resulta de la violenta evaporación de la humedad de los alimentos fritos. Las burbujas de evaporación son mayores y tienden a no producirse después de que gran parte de la humedad se haya eliminado del alimento (Kalogianni *et al.*, 2010).

Hidrólisis

Es la reacción del agua del alimento con el aceite de freído para formar ácidos grasos libres. La proporción de hidrólisis o ácidos grasos libres formados depende de los siguientes factores:

- La cantidad de agua liberada en el aceite. A mayores cantidades de agua más rápido es el cambio. El agua, generalmente, procede del alimento que va a freírse.
- La temperatura del aceite de freído. A mayor temperatura, más elevada es la velocidad de producción de ácidos grasos libres.
- La velocidad de renovación del aceite es también importante; manteniéndose las demás condiciones iguales, a más rápida renovación del aceite utilizado por aceite nuevo más lenta es la velocidad de desarrollo de ácidos libres.
- El número de ciclos de calentamiento/enfriamiento de los aceites.

A mayor cantidad de migajas y partículas quemadas procedentes del alimento y acumuladas en el sistema de freído, mayor velocidad de desarrollo de ácidos

grasos libres. Por lo tanto, la filtración correcta y frecuente es importante para mantener este efecto bajo mínimos (Lawson, 1999).

2.4 Papel del aceite

Los cambios en alimentos fritos han sido estudiados tan extensivamente como los cambios en los aceites de freído. Tres tipos de cambios ocurren durante el freído

- Procesos físicos, como la transferencia de agua con el aceite de freído, y después de la conversión en humo; o la migración del aceite de los alimentos fritos en el aceite de freído, o de aceite para freír en el alimento frito.
- Cambios químicos en el aceite por el efecto de la temperatura y del agua pérdida por el alimento.
- Interacciones químicas entre el aceite de freído y los componentes del alimento o sustancias producidas durante el freído.

Las temperaturas de freído son altas, entre 130 y 200 °C o más, pero solamente las capas superficiales del alimento se calientan a temperaturas superiores a 100 °C debido al corto tiempo de freído. Las capas internas de los alimentos se calientan sólo a 70-98 °C. Los cambios reportados en la composición química son generalmente más altos en la superficie y casi insignificantes en las capas más profundas.

El aceite interactúa con los componentes de los alimentos casi exclusivamente en la capa superficial. La difusión del aceite es lenta ya que influye la composición y forma del alimento a freír (Bouchon *et al*, 2001).

2.4.1 Cambios en las proteínas, péptidos y aminoácidos

Las proteínas son componentes importantes porque están presentes en los alimentos fritos. Los aminoácidos y péptidos son más reactivos con respecto a las proteínas. La principal reacción de las proteínas durante el freído es la desnaturalización. Como la temperatura de desnaturalización es menor a 100 °C,

la fracción proteínica es desnaturalizada incluso en las capas internas de la comida frita, lo que puede influir en la capacidad de retención de agua.

Las enzimas se inactivan en las condiciones de freído, por lo tanto, los productos fritos son usualmente más estables con respecto a los productos crudos (Boskou *et al.*, 1999).

2.4.2 Cambios en los hidratos de carbono

La principal reacción de los azúcares es la de Maillard (oscurecimiento no enzimático), reacción con aminoácidos libres o grupos amino libres de proteínas y péptidos. Los azúcares reductores, principalmente glucosa y fructosa, reaccionan directamente; otros como la sucrosa reacciona solamente después de una previa hidrólisis (Boskou *et al.*, 1999).

Se forman varios productos intermediarios, como los productos de Amadori, generalmente llamados premelanoidinas, que se polimerizan rápidamente a temperaturas de freído, dando melanoidinas macromoleculares. El oscurecimiento ocurre muy rápido a temperaturas superiores a 150 °C.

El oscurecimiento de la costra es deseable en el caso de carne frita, pescado y productos cárnicos, pero es altamente desfavorable en el caso de papas fritas (Boskou *et al.*, 1999).

Los cambios en el almidón tienen una gran influencia, cuando se fríen productos como la papa. Los gránulos de almidón son rápidamente gelatinizados cuando entran en contacto con aceite caliente. La fuerte estructura de las papas crudas se pierde, y después las papas fritas se tornan suaves. En la superficie de las papas, donde el contenido de agua es mucho menor, la gelatinización no es tan intensa, por lo que los gránulos de almidón parcialmente conservan su estructura cristalina (Boskou *et al.*, 1999).

Desde el punto de vista nutricional, la digestibilidad del almidón posterior al freído es importante. Las amilasas actúan sobre el almidón digerible y asimilado en el intestino delgado. Otra fracción de almidón, llamada almidón resistente, no es

accesible a las amilasas, y entonces, no se digiere en el intestino delgado, pero se metaboliza por la microbiota del intestino grueso.

Los polisacáridos forman una capa compacta en la superficie en el inicio del freído, que previene la migración de grasa al alimento y la pérdida de humedad. Además, producen una costra crujiente, agradable para el consumidor (Boskou *et al.*, 1999).

2.4.3 Cambios en vitaminas

La mayoría de las vitaminas son sensibles a altas temperaturas y a la oxidación, pero éstas generalmente sólo se alcanzan en la superficie de los alimentos fritos. La pérdida total de vitaminas depende también de la temperatura interna, que varía entre 70 y 90 °C. La retención de vitaminas depende tanto de la temperatura interna del alimento como de la temperatura del aceite de freído (Boskou *et al.*, 1999).

2.4.4 Cambios en los nutrimentos inorgánicos

Los compuestos minerales presentan pocos cambios durante el freído, ya que generalmente forman compuestos no volátiles y permanecen en el alimento. Sin embargo, los contenidos de hierro, zinc, cobre disminuyen su concentración inicial ya que migran al aceite de freído y actúan como prooxidantes, acelerando la formación de compuestos de degradación (Boskou *et al.*, 1999).

2.5 Pepsico Foods & Beverages: Sabritas S. de R. L. de C.V.

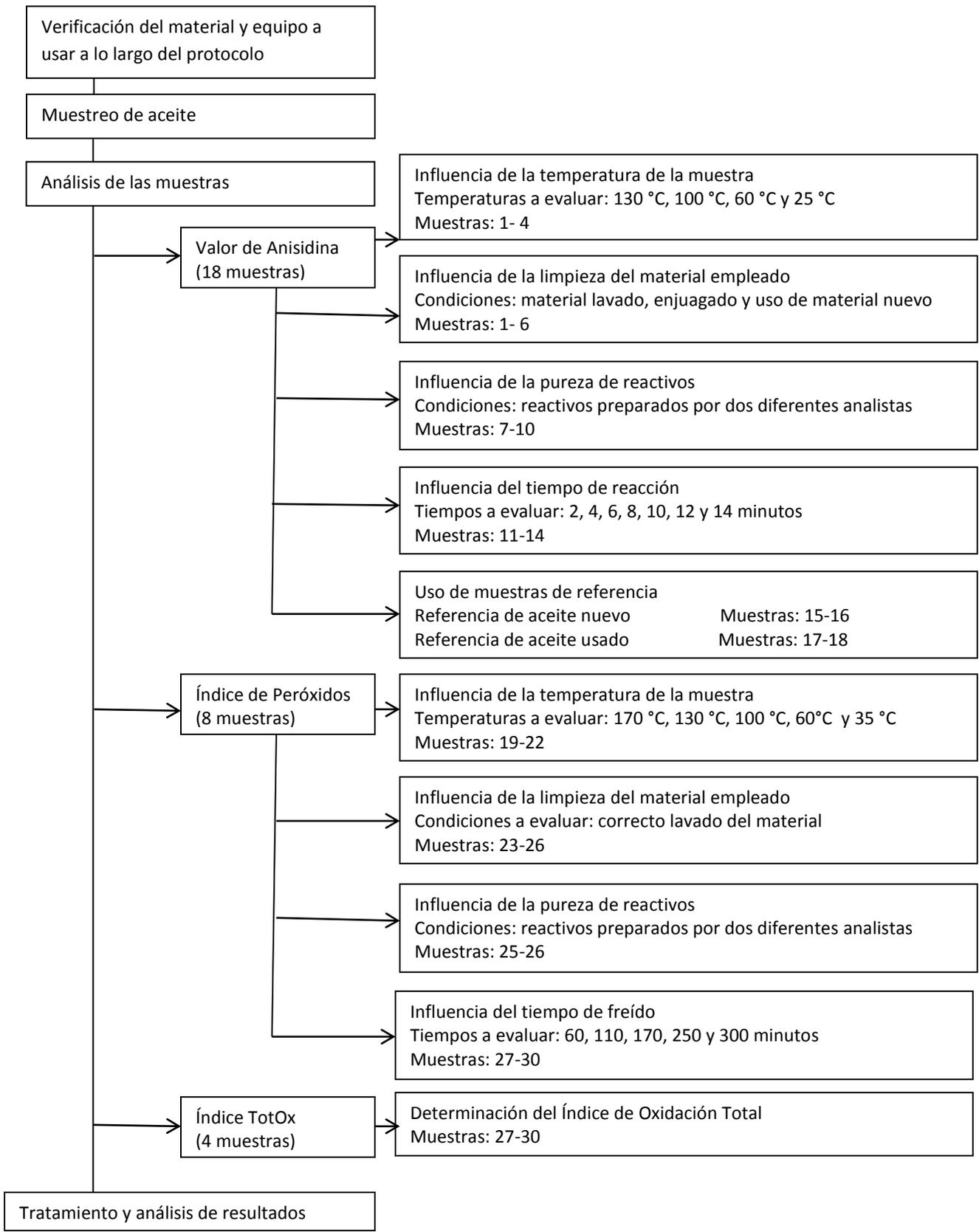
El negocio empezó en 1943, por Pedro Marcos Noriega. 5 años más tarde cambia el nombre a Sabritas (apócope de sabrosas y fritas) e inicia la distribución de papas fritas, botanas de harina de trigo, garbanzos y habas. En 1953 Sabritas presenta su primer alimento elaborado a gran escala: “Charritos Cheli”. En el mismo año la familia Noriega construye una pequeña fábrica con freidores automáticos.

En el año de 1966 grupo Pepsico invierte en Sabritas, detonando el crecimiento de la empresa. El 21 de marzo de 1968 se inaugura la planta en la colonia Industrial Vallejo. Debido a la demanda nacional se abren dos plantas más en Guadalajara, Jalisco y Saltillo, Coahuila en 1972 y 1980, respectivamente.

En 1991 se construyen plantas en las ciudades de Mexicali y Obregón. En 1996 se crea una nueva planta en Mission, Texas, y en 1999 se inaugura en Veracruz una planta más. En el año 2003 se inaugura una segunda planta para atender al mercado norteamericano.

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA

3.1 Diagrama general



3.2 Muestras empleadas

Se obtuvieron 28 muestras de 100 mL de aceite vegetal a 180 °C con 5 horas de calentamiento del primer turno de producción, tomadas directamente de tres diferentes freidores en planta Sabritas Vallejo y dos muestras de 100 mL de aceite vegetal nuevo a 25 °C sin calentamiento previo proporcionadas por el Laboratorio de Materias Primas.

Todas las muestras fueron identificadas de acuerdo al análisis al que se les destinó y almacenadas en frascos cerrados de vidrio color ámbar, con una capacidad de 250 mL, y posteriormente selladas con Parafilm para evitar pérdidas o mezclas de ellas durante el transporte.

3.3 Índice de Peróxidos

3.3.1 Fundamento de la técnica

El proceso de oxidación primaria en aceite involucra la formación de hidroperóxidos, que son medidos por el Índice de Peróxidos (IP). En general, entre más bajo es el IP, expresado en miliequivalentes de oxígeno activo por cada 1000 g de aceite, la calidad es mejor. Sin embargo, disminuye cuando la oxidación secundaria inicia.

El Índice de Peróxidos es una buena forma de medir la oxidación primaria en aceite nuevo. Los aceites con niveles significativos de peróxidos pueden ser inodoros si la oxidación secundaria no ha iniciado. Si la oxidación es muy avanzada, el Índice de Peróxidos puede ser relativamente bajo pero el aceite puede presentar claramente rancidez.

3.3.2 Determinación del Índice de Peróxidos

El Índice de Peróxidos se define en términos de miliequivalentes de oxígeno activo por cada 1000 gramos de muestra de aceite. El procedimiento se basa en el ensayo de la AOCS Cd 8b-90 (ver anexo I), cuyo fundamento es una volumetría por retroceso mediante la titulación indirecta de yodo liberado (AOCS, 2013).

El Índice de Peróxidos se calcula por la siguiente ecuación:

$$IP = \frac{S - B \ N * 1000}{W}$$

Donde:

S = volumen, expresado en mL, de titulante gastado en la muestra

B = volumen, expresado en mL, de titulante gastado en el blanco

N = normalidad del tiosulfato de sodio

W = peso, expresado en g, de la muestra de aceite

3.4 Valor de Anisidina

3.4.1 Fundamento de la técnica

El Valor de Anisidina se fundamenta en la formación de una base de Schiff coloreada en amarillo entre este reactivo y el grupo carbonilo de diversos compuestos presentes en el aceite. No obstante, no está exactamente establecido el tipo de compuestos carbonílico que da preferentemente esta reacción, aunque algunos autores postulan que los 2-alquenas son los responsables mayoritarios de la misma, debido a que la disposición de dobles enlaces conjugados en estos aldehídos aumenta la intensidad de la absorción. Como la abundancia de estos compuestos varía de acuerdo a la composición de ácidos grasos, la intensidad de la reacción dependerá sobre todo de la naturaleza del aceite, aparte de del grado de oxidación. Este Valor no proporciona información sobre la estabilidad del aceite ni sobre su perfil sensorial (Naz *et al.*, 2005; Codony *et al.*, 2010).

3.4.2 Determinación del Valor de Anisidina

El Valor de Anisidina se define, por convención, como 100 veces la absorbancia medida a 350 nm en una celda de un centímetro de espesor, de una solución que contiene 1.00 g de aceite en 25 mL de una mezcla de isooctano o hexano y *p*-anisidina (AOCS, 2013).

El procedimiento es descrito por AOCS Method Cd 18-90 (ver Anexo II). La absorbancia de las soluciones se mide a 350 nm en un espectrofotómetro de UV-vis, tanto antes como después de efectuar la reacción.

El Valor de Anisidina se calcula con la siguiente ecuación:

$$VA = \frac{25(1.2A_s - A_b)}{W}$$

Donde:

A_s = absorbancia de la solución de aceite después de la reacción con *p*-anisidina

A_b = absorbancia de la solución de aceite antes de la reacción con *p*-anisidina

W = peso, expresado en g, de la muestra de aceite

25 = factor de volumen

1.2 = factor de respuesta

3.5 Índice de Oxidación Total

3.5.1 Determinación del Índice de Oxidación Total

El Índice de Oxidación Total es una relación entre la oxidación primaria y la oxidación secundaria. Se calcula mediante los métodos descritos anteriormente y de acuerdo a la siguiente relación:

$$\text{Índice TotOx} = AV + 2IP$$

Donde:

AV= Valor de Anisidina

IP= Índice de Peróxidos

Siendo un valor adimensional.

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Valor de Anisidina

Los ensayos realizados se agruparon de la siguiente manera:

4.1.1 Variables que afectan el análisis químico del aceite

4.1.1.1 Temperatura de la muestra

Se estudió la influencia de la temperatura de la muestra en la realización de los análisis. Las temperaturas empleadas fueron las indicadas en el diagrama 3.1, de modo que se tuviera un intervalo de temperaturas que iban desde la temperatura a la que se recibieron las muestras al laboratorio hasta la temperatura ambiente al enfriarse en un baño con agua. En la figura 5 se resumen los resultados obtenidos.

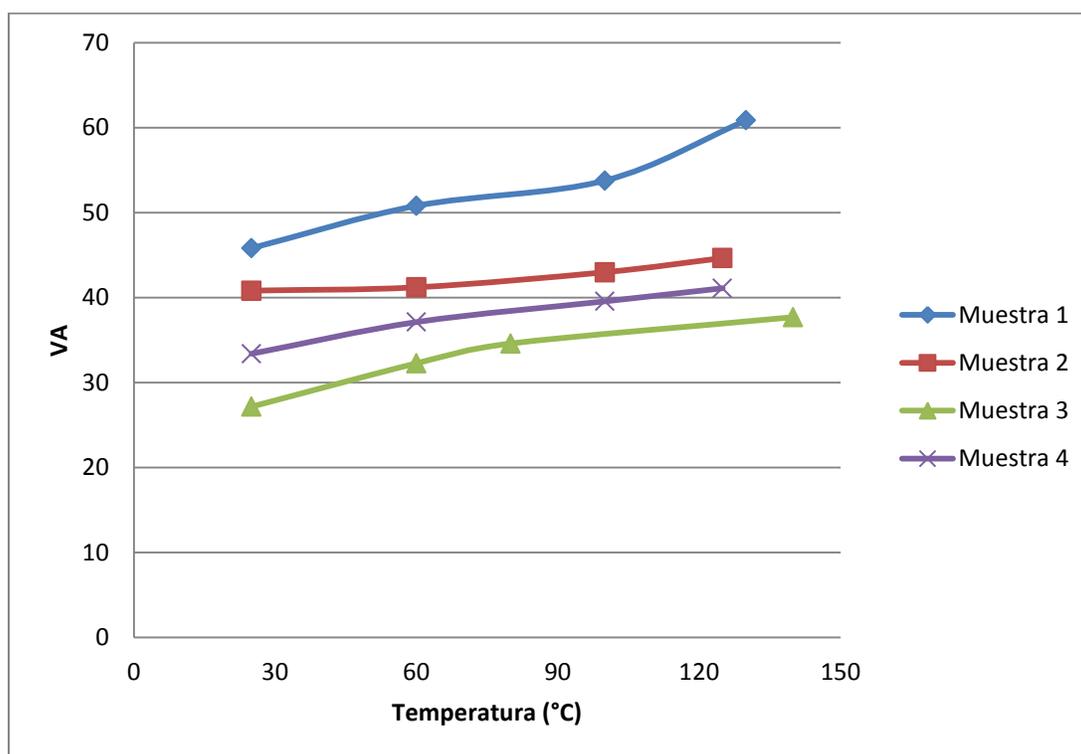


Figura 5. Resultados del análisis de la variación del Valor de Anisidina con respecto a la temperatura.

Se observó que el Valor de Anisidina depende notoriamente de la temperatura a la que se lleve a cabo la determinación, ya era de esperarse que el Valor de Anisidina disminuya con respecto a la temperatura de trabajo. Al pesar el aceite en caliente, se tiene una menor densidad. Como la densidad es una propiedad que

depende de la temperatura, al enfriarse se tiene una menor masa que reacciona con la *p*-anisidina. Si bien se espera que a una temperatura mayor exista una reacción más completa, a temperaturas de frío las muestras son muy inestables y la reacción de oxidación es mucho más rápida que a temperatura ambiente, por lo que los análisis al realizarse las determinaciones a temperaturas superiores a 50 °C, se sobreestima el Valor de Anisidina, lo que impacta directamente en los resultados. Además, al trabajar con aceite cuya temperatura fue mayor a 60°C, se tuvo que tener mucho cuidado con el material utilizado, ya que parte de éste era de plástico y su manipulación era difícil.

4.1.1.2 Limpieza del material

Se midieron los efectos del lavado correcto del material de laboratorio y el uso de material nuevo para el análisis de Valor de Anisidina. Para esto, se realizaron pruebas empleando celdas nuevas, celdas lavadas (de acuerdo al protocolo interno de lavado de material) y celdas enjuagadas con disolvente (iso-octano) a una temperatura de 25°C. Los resultados se muestran en la figuras 6 y 7.

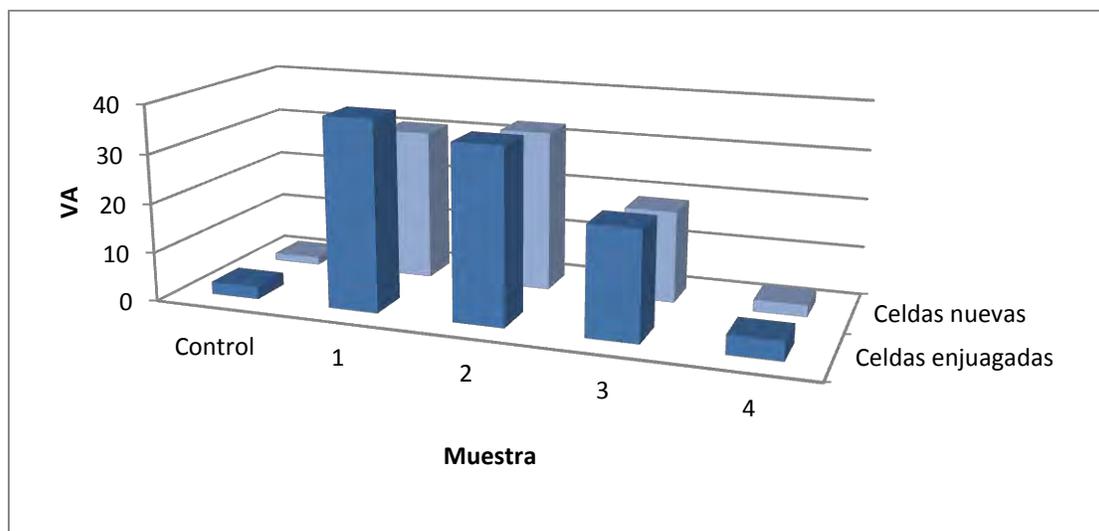


Figura 6. Efecto del enjuague de material utilizado para el análisis de Valor de Anisidina

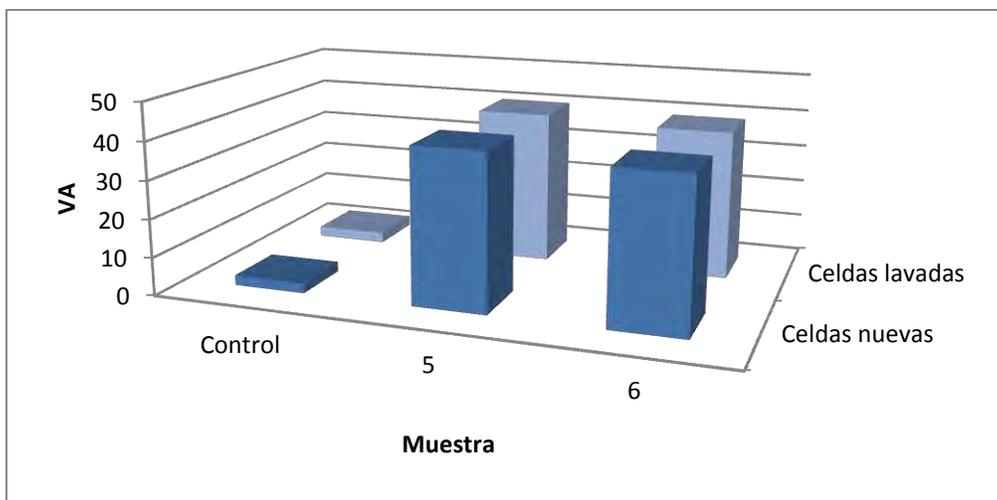


Figura 7. Efecto del lavado de material utilizado para el análisis de Valor de Anisidina.

Se observó diferencia entre los análisis de material nuevo y enjuagado, mientras que la diferencia entre material nuevo y lavado es mínima como para establecer si afecta o no su uso indistinto.

Es importante realizar el lavado de material al terminar el análisis, ya que si solo se enjuaga, se corre el riesgo de dejar residuos de la reacción, que al realizar un segundo análisis nos conducen a valores erróneos.

4.1.1.3 Pureza de reactivos

La *p*-anisidina es inestable, ya que tiende a oxidarse durante el almacenamiento. Los cristales de anisidina se deben purificar de acuerdo a las indicaciones del PROY-NMX-F-051-SCFI-2006 y conservarse en refrigeración.

Se utilizaron distintas soluciones de *p*-anisidina al 0.025% en isooctano preparadas con *p*-anisidina purificada, grado analítico, por 2 diferentes analistas. La solución 1, se empleó polvo de anisidina mientras que la solución 2 se preparó con cristales de anisidina. Los resultados se presentan en la figura 8.

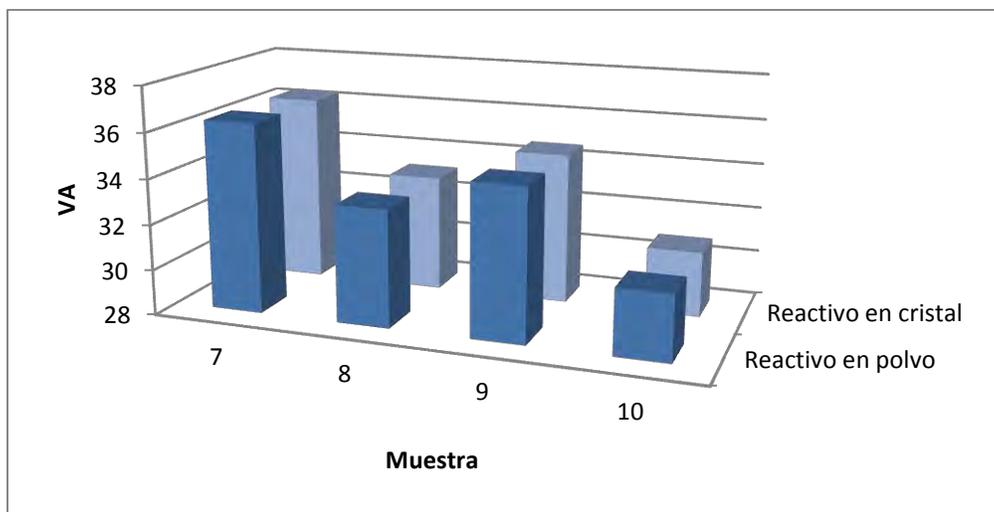


Figura 8. Valores de anisidina obtenidos utilizando anisidina en polvo y en cristal.

La reacción entre la *p*-anisidina y los aldehídos involucra la formación de agua. De aquí que, la presencia de humedad en cualquiera de los reactivos o en la muestra lleva a una reacción incompleta y, consecuentemente, a valores erróneos.

4.1.1.4 Tiempo de reacción

La metodología empleada menciona que el tiempo de reacción debe de ser de 10 minutos. Se evaluó el efecto de la diferencia de tiempos al realizar la metodología para establecer si afecta este parámetro, el cual se resume en la figura 9.

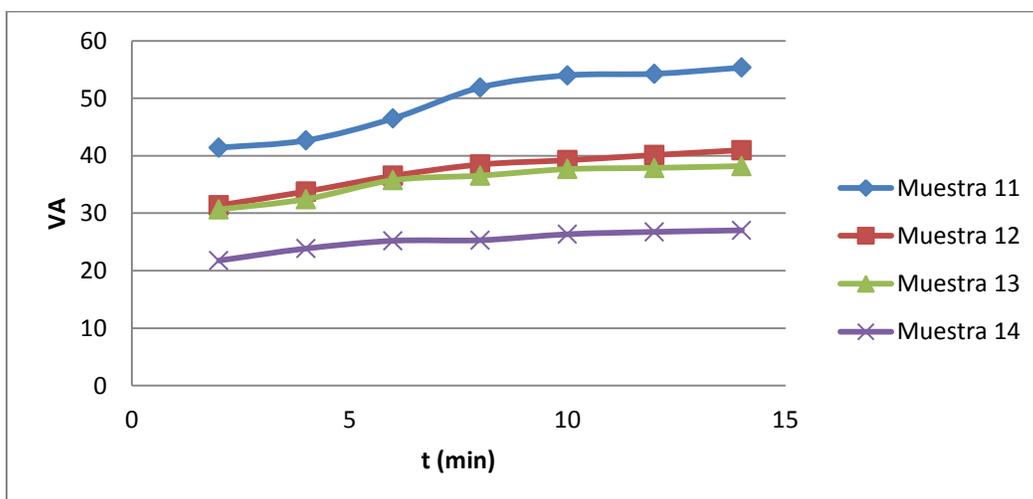


Figura 9. Resultados del análisis de la variación del Valor de Anisidina con respecto a la tiempo.

Se observa que el Valor de Anisidina aumenta con respecto al tiempo. Conforme va transcurriendo la reacción, el número de compuestos carbonilo reaccionantes disminuye hasta agotarse, haciendo que el Valor de Anisidina aumente hasta alcanzar un valor casi constante, por lo que el tiempo de reacción es un parámetro importante que se debe controlar para no sobrestimar el Valor de Anisidina.

4.1.1.5 Estabilidad de la muestra de referencia

Finalmente, se propuso la utilización de una muestra de referencia para realizar en cada análisis. Se evaluaron cuatro muestras de aceite. Las muestras 15 y 16 fueron proporcionadas por el Laboratorio de Materias Primas de Sabritas Planta Vallejo y consistió en aceite sin historia oxidativa térmica. Las muestras 17 y 18 consistieron en aceite proveniente de una línea de producción de la planta con 5 horas de calentamiento a una temperatura de 185 °C. Las cuatro muestras fueron almacenadas en frascos de vidrio color ámbar, cerrados y sellados con Parafilm a una temperatura de 39.7 °C durante 28 días. Los resultados a lo largo del periodo de almacenamiento se observan en las figuras 10, 11, 12 y 13.

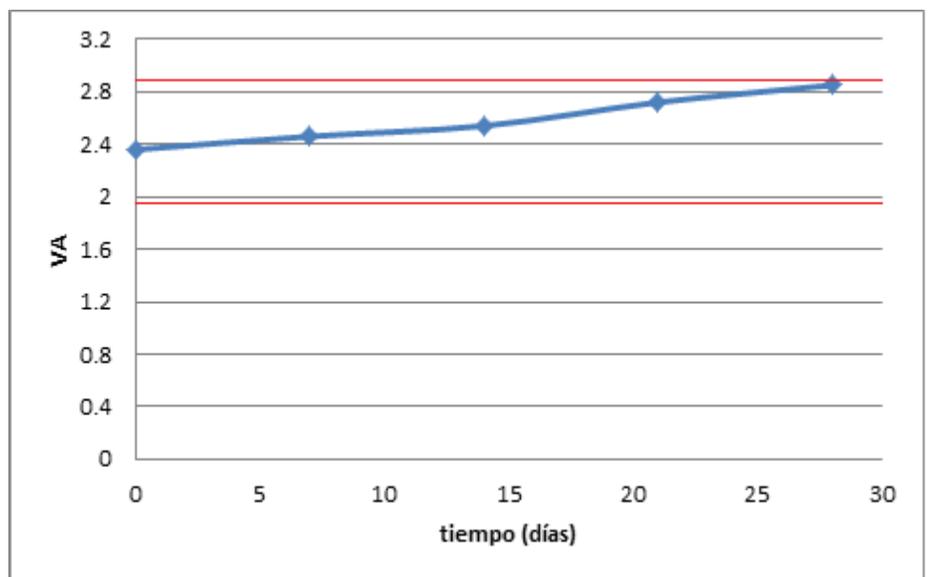


Figura 10. Comportamiento de la muestras referencia 15, proporcionada por el Laboratorio de Materias Primas.

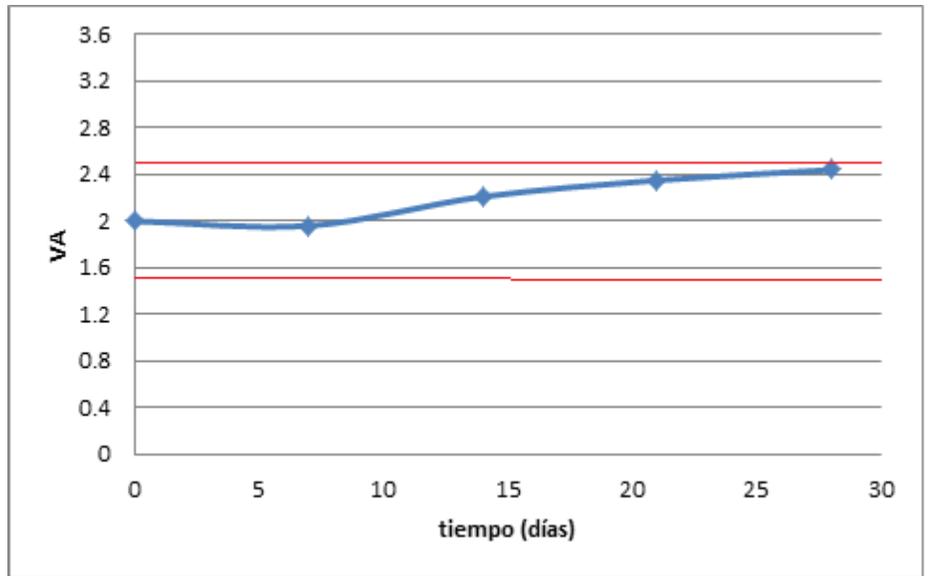


Figura 11. Comportamiento de la muestras referencia 16, proporcionada por el Laboratorio de Materias Primas.

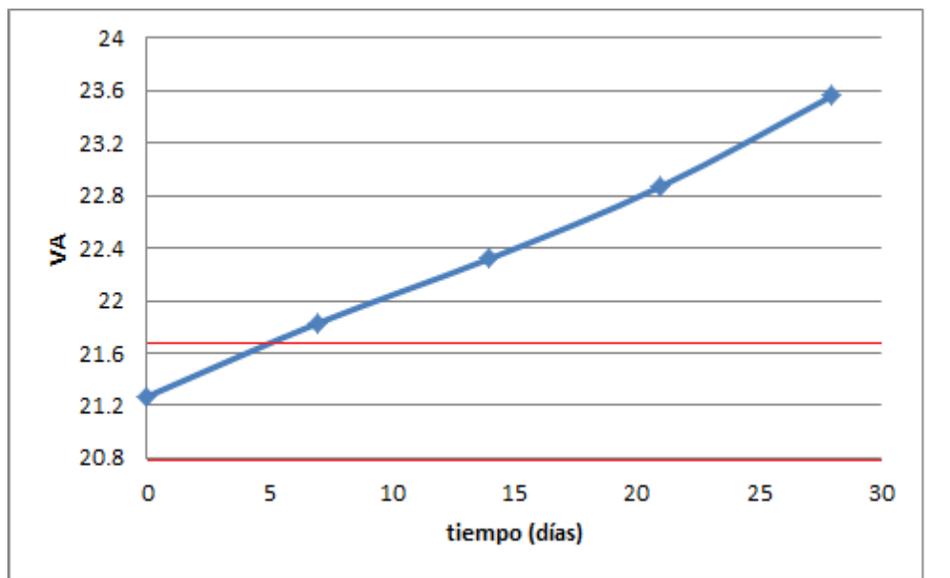


Figura 12. Comportamiento de la muestra referencia 17, obtenida directamente de una línea de producción.

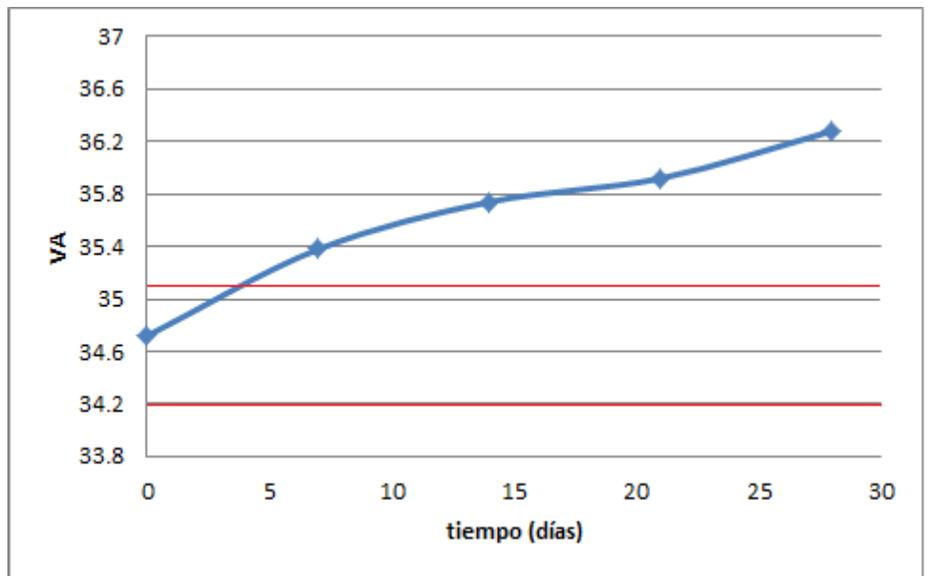


Figura 13. Comportamiento de la muestra referencia 18, obtenida directamente de una línea de producción.

Como era de esperarse en las muestras empleadas como referencia, el aceite historia oxidativa térmica presentó una mayor estabilidad, ya que la vida útil como muestra de referencia antes de salir de los límites, fue de 27 días, mientras que el aceite que ya había sido sometido a calentamiento presentó una vida útil alrededor de 4 días. La ventaja de utilizar aceite sin usar con respecto al aceite proveniente de la línea de producción, es que el primero no tiene una historia oxidativa térmica que incremente su oxidación.

4.2 Índice de peróxidos

Los factores estudiados que afectan esta reacción se enuncian a continuación:

4.2.1 Variables que afectan el análisis químico del aceite

4.2.1.1 Temperatura de la muestra

Se realizaron determinaciones del Índice de Peróxidos a diferentes temperaturas para observar posibles diferencias a distintos rangos. Las temperaturas empleadas se indican en el diagrama 3.1. En la figura 14 se muestran los resultados obtenidos.

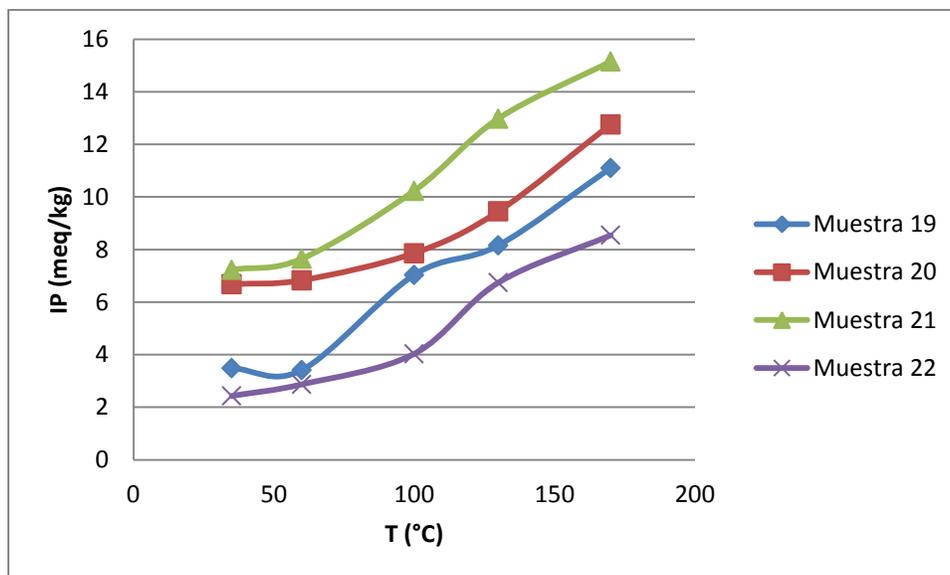


Figura 14. Resultados del análisis de la variación del Índice de Peróxidos con respecto a la temperatura.

Como se muestra en la figura, la temperatura es un factor que influye en la cantidad de peróxidos generados. A temperaturas bajas (35°C y 60°C) la generación de peróxidos es relativamente baja, debido a que el calentamiento no es notoriamente drástico como a temperaturas de ebullición del aceite (mayores a 170°C).

Conforme se aumenta la temperatura del aceite, y al ser la temperatura un factor que acelera la oxidación, los peróxidos incrementan hasta alcanzar un valor máximo, que posteriormente decrece hasta ser prácticamente constante, que se observa conforme pasa el tiempo y que se discutirá más adelante.

4.2.1.2 Limpieza de material

Al igual que en las determinaciones del Valor de Anisidina, se realizaron pruebas para verificar la influencia de la correcta limpieza del material en la determinación del Índice de Peróxidos. El material se lavó de acuerdo a la metodología indicada en el Anexo III.

El método oficial de la AOCS para la determinación de peróxidos menciona que si se observa un color naranja en lugar de un color azul violeta, éste se encuentra

directamente relacionado con la limpieza del material. El detergente es normalmente la causa de este color.

Por dicha razón, las determinaciones realizadas en donde se observó un cambio de color hacia el naranja fueron descartadas. A continuación sólo se muestran, en la figura 15, las determinaciones que fueron realizadas con la correcta ejecución de la técnica de lavado.

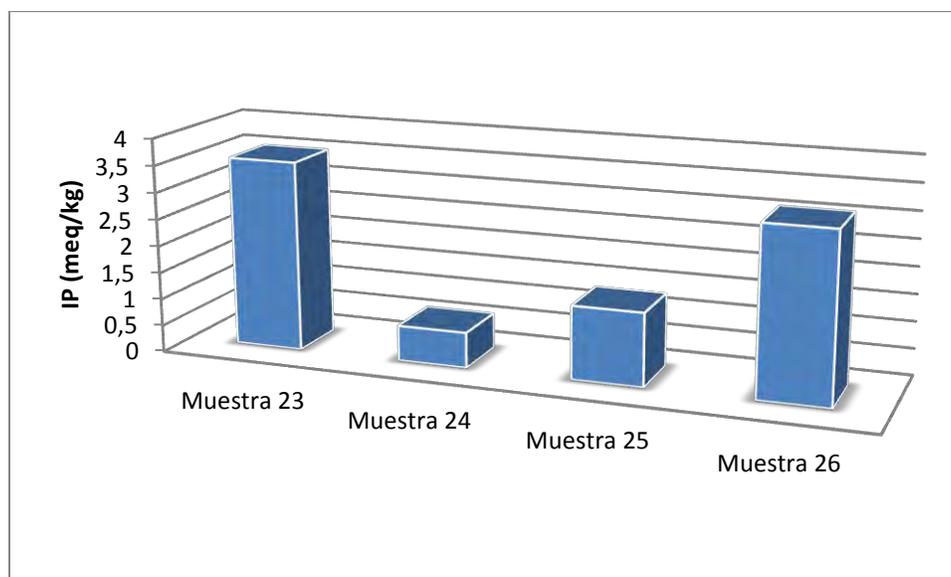


Figura 15. Resultados del análisis de limpieza del material (solamente se muestran las muestras realizadas en material limpio).

Es importante que todo el material sea perfectamente lavado y enjuagado con agua destilada para remover cualquier residuo de aceite o jabón. El procedimiento de lavado de material se describe detalladamente en el Anexo III.

4.2.1.3 Pureza de reactivos

Al igual que en las determinaciones de las metodologías oficiales, para determinar el Índice de Peróxidos es necesario utilizar reactivos con un grado de pureza analítico.

Los reactivos fueron preparados por diferentes analistas (reactivos 1 y 2) y posteriormente se realizaron 5 determinaciones con los mismos. En la figura 16 se muestran los resultados.

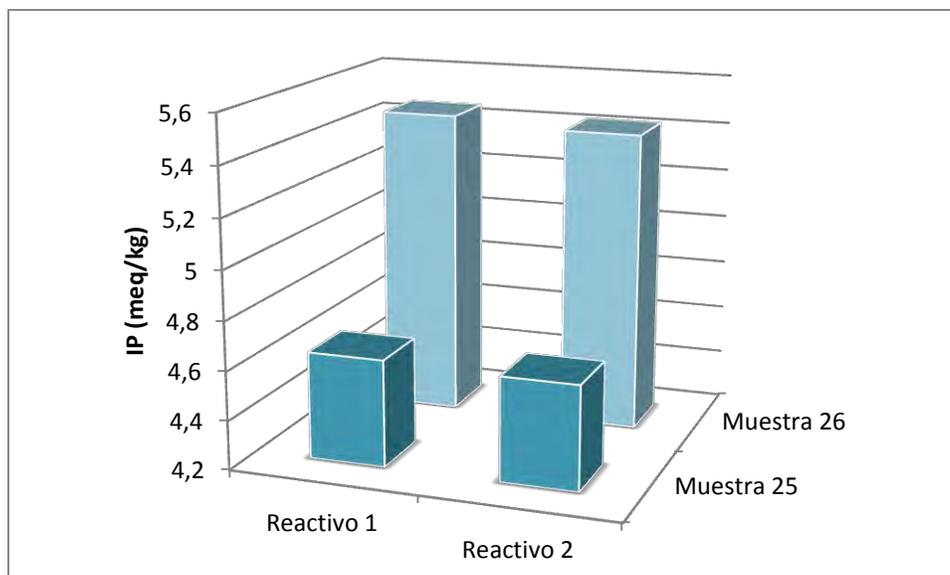


Figura 16. Índices de Peróxidos obtenidos utilizando reactivos preparados por diferentes analistas.

Como se puede observar en la figura 14, existe reproducibilidad entre los reactivos preparados por diferentes analistas, al tener un coeficiente de variación menor al 1%, por lo que se considera que se prepararon adecuadamente.

Es indispensable refrigerar todas las soluciones preparadas y almacenarlas en frascos color ámbar, protegidas de la luz. En cuanto de la solución de yoduro de potasio muestre una coloración amarilla debe descartarse, al igual que la solución de almidón cuando este separada, descolorida o con moho. La fecha de caducidad de los reactivos empleados en la determinación del Índice de Peróxidos es de una semana.

4.2.1.4 Tiempo de freído

El tiempo de freído es un parámetro importante para la determinación de la oxidación primaria. De acuerdo a Boskou *et al.*, existe un aumento gradual hasta alcanzar un valor máximo, que posteriormente decrece conforme inicia la formación de compuestos de segunda generación, como se puede observar en la figura 17, en donde se observan los comportamientos que siguen diferentes tipos de aceites.

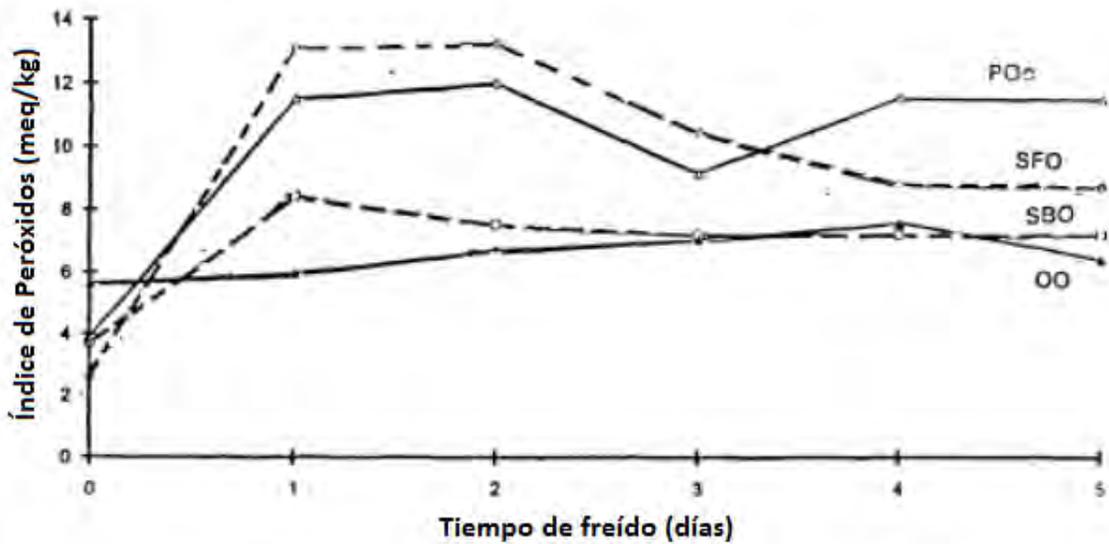


Figura 17. Índice de Peróxidos durante la fritura de aceite (Boskou *et al.*, 1999). Las abreviaturas empleadas corresponden a POo, aceite de palma; SFO, aceite de girasol; SBO, aceite de soya y OO, aceite de oliva.

Se realizaron análisis de la variación del Índice de Peróxidos a diferentes intervalos de tiempo. Los resultados se muestran en la figura 18.

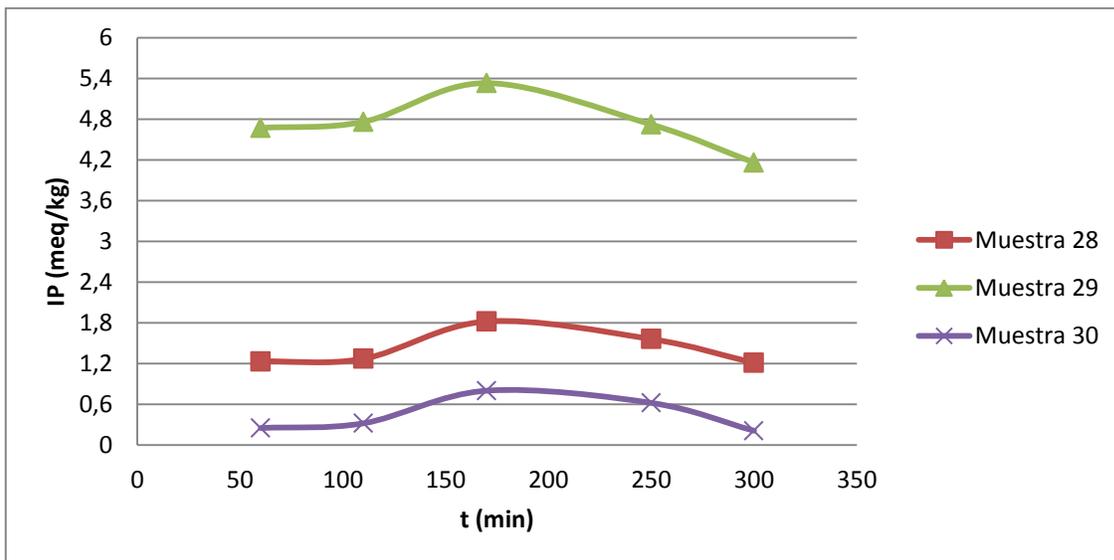


Figura 18. Variación del Índice de Peróxidos con respecto al tiempo (a una temperatura constante de 185°C).

Se puede observar que tanto los resultados reportados por las referencias como los resultados obtenidos en el laboratorio siguen un comportamiento similar.

El uso de una muestra de referencia para este parámetro es indispensable, ya que nos muestra cambios, por mínimos que sean, sobre la oxidación primaria del aceite. Es importante tener especial cuidado con la muestra destinada a usarse como referencia para el Índice de Peróxidos, ya que al ser muy inestables, es susceptible a la oxidación por luz, oxígeno ambiental, cambios drásticos de temperatura y humedad, y esto nos puede llevar a resultados erróneos.

4.3 Índice de oxidación total

4.3.1 Evaluación del Índice de Oxidación Total

Se realizó la evaluación del Índice de Oxidación Total reuniendo en la figura 19 la información generada mediante determinaciones de Valor de Anisidina y de Índice de Peróxidos de muestras de aceite sometidas a diferentes tiempos de calentamiento y a una temperatura constante de 185 °C.

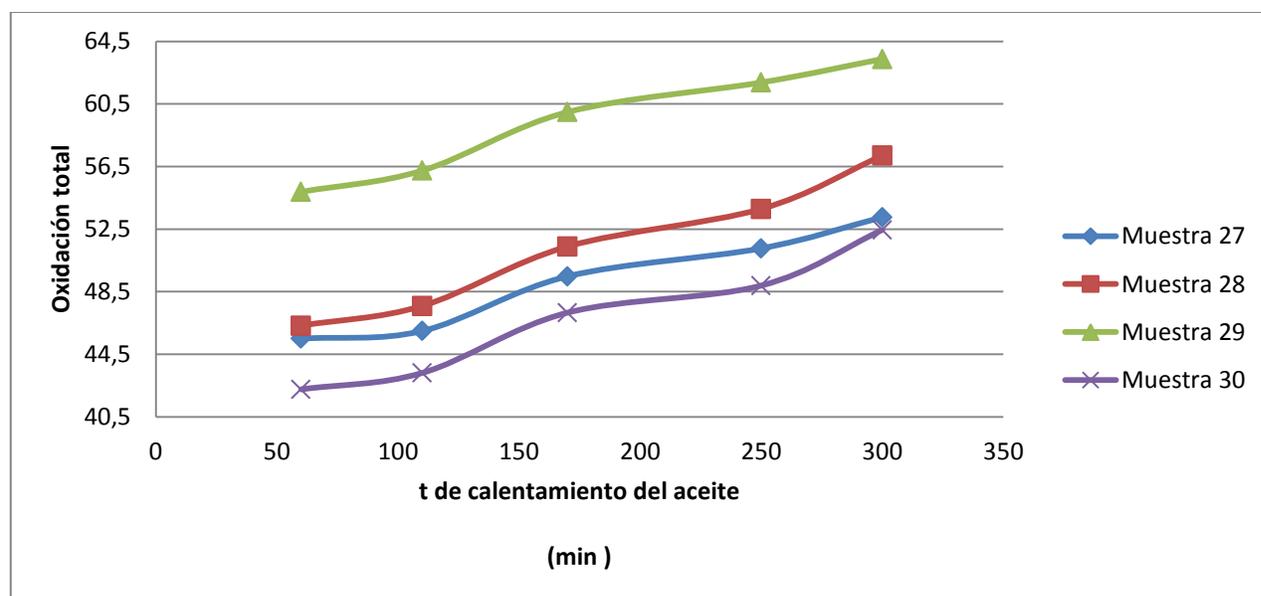


Figura 19. Resultados obtenidos en las pruebas del Índice de Oxidación Total.

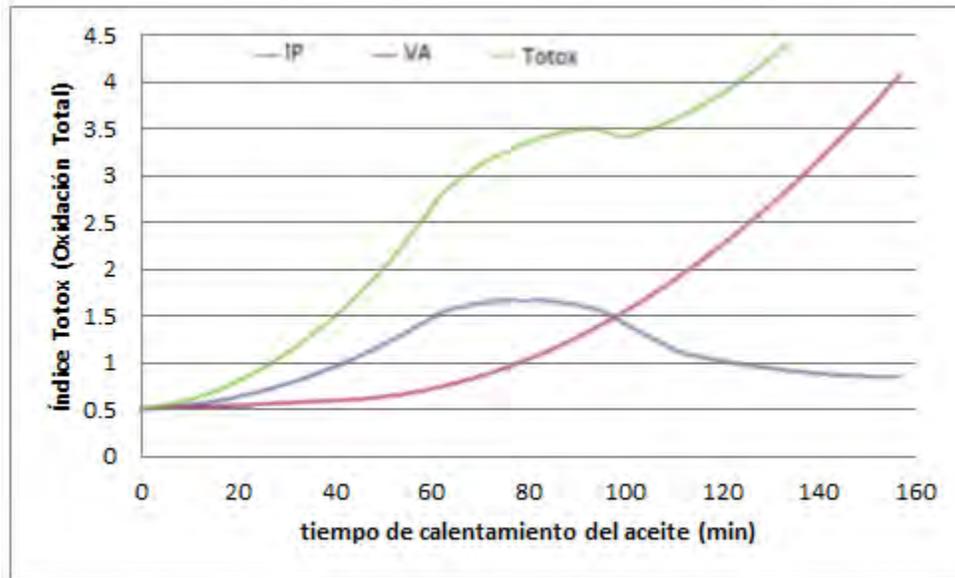


Figura 20. Resultados reportados por Miller para las pruebas de Índice de Oxidación Total.

Tal como se aprecia en la Figura 19, ocurre un aumento del Índice de Oxidación Total con respecto al paso del tiempo (a una temperatura de 185°C, que es la temperatura aproximada a la cual se lleva a cabo la cocción), alcanzando un máximo, seguido por una ligera disminución y posteriormente sigue incrementando el valor. Esto está relacionado directamente con el Índice de Peróxidos, que una vez alcanzada la máxima concentración de estos compuestos, empiezan a degradarse para dar lugar a compuestos de segunda generación, los cuales aumentan. De acuerdo a Boskou *et al.* los compuestos de segunda generación empiezan a formarse desde el inicio de la reacción de oxidación, pero conforme se forman y degradan los productos de primera generación, la concentración de productos de segunda generación aumenta.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES

Se propuso el método del Índice de Oxidación Total a partir de la verificación de dos métodos de determinación de compuestos de oxidación de aceite, el Índice de Peróxidos y el Valor de Anisidina. Ambas metodologías desarrolladas tienen sus características particulares, lo que da lugar a diferentes criterios para considerarlas adecuadas para el control de calidad de aceite.

En conjunto, el Índice de Peróxidos y el Valor de Anisidina son parámetros válidos para evaluar la historia oxidativa del aceite empleado en la elaboración de botanas fritas, en el cual se tienen que controlar variables como el tiempo de reacción, la temperatura de la muestra, la pureza de los reactivos y la limpieza del material empleado para no sobre o subestimar dichos valores.

La decisión de usar una muestra de referencia para realizar el análisis del Valor de Anisidina utilizando un aceite sin historia térmica, constituye una herramienta indispensable para llevar un control sobre la metodología empleada. En el caso del Índice de Peróxidos, debido a la inestabilidad de los mismos, es importante tener cuidado con la referencia ya que es muy susceptible a la oxidación.

Entre los beneficios que encontrados con el uso del Índice de Oxidación Total destacan la facilidad de los análisis del Índice de Peróxidos y el Valor de Anisidina, tiempo de realización corto, presentan una buena repetibilidad y reproducibilidad, no hay necesidad de emplear equipos adicionales de calentamiento o enfriamiento, no se requiere mucho espacio y ambas presentan una muy buena repetibilidad y reproducibilidad, además de un mejor conocimiento de la historia térmica oxidativa del aceite, que conlleva al control de posibles peligros derivados de la rancidez del aceite empleado.

La información generada en el presente estudio es un precedente para implementación como prueba de control de calidad en la industria de alimentos y para su posible inclusión dentro de la Normatividad Oficial Mexicana. Para esto, es necesario una previa validación mediante determinaciones en donde se homogeneicen las muestras y se examinen tomando en cuenta las variables estudiadas en el presente trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Akinoso, R., Aboaba, S.A., Olayunju, TMA. 2010. **“Effects of moisture content and heat treatment on peroxide value and oxidative stability of un refined sesame oil”**. Nigeria. African Journal of Food Agriculture, Nutrition and Development. 10:10 4268-4285.
2. American Oil Chemistry Society (AOCS) 2013. **“Oficial Methods of Analisis”** USA. [En línea]. Disponible en: <http://www.aocs.org/Methods/index.cfm> [Último acceso al 25 de mayo de 2013]
3. Badui, DS. 2006. **“Química de los alimentos”**. México. Prentice Hall, tercera edición. 213-273, 327-245.
4. Barrera-Arellano, Daniel. 1998. **“Estabilidad y utilización de nitrógeno en aceites y grasas”**. Brasil. Grasas y Aceites, Vol 49, Fasc 1, 55-63
5. Belitz, H.D., Grosch, W., Schieberle, P. 2006. **“Food Chemistry”**. Alemania. Springer. Capítulo 3.
6. Boskou, Dimitrios, Elmadfa, I. 1999. **“Frying of food”**. USA. CRC Press. Capítulo 4.
7. Bouchon Pedro, Aguilera J.M. 2001. **“Microstructural analisis of frying potatoes”**. Chile. International Journal of food science and tecnology, 36, 669-276.
8. Codony, R., Guardiola, F., Bou, R., y Tres, A. 2010. **“Valoración analítica y nutricional de las grasas”**. Barcelona: XXVI Curso de Especialización FEDNA.
9. Departamento de Salud de Nueva Jersey, 2005. HOJA INFORMATIVA SOBRE SUSTANCIAS PELIGROSAS. **P-anisidina**. [En línea]. Última actualización 2005. Disponible en: <http://nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/2893sp.pfd> [Último acceso al 18 de marzo de 2013]
10. Fennema, O. 2002. **“Química de los alimentos”**. USA. Capítulo 5.

11. Grompone, M.A. 1991. **“El índice de anisidina como medida del deterioro latente de un material graso”**. Montevideo: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
12. Kalogianni, Eleni, Karastogiannidou, C., Karapantsios, T. 2010. **“Effect of potato presence on the degradation of extra virgin olive oil during frying”**. Grecia. International Journal of Food Science & Technology. 45, 765-775.
13. Lawson, Harry. 1999. **“Aceites y grasas alimentarios. Tecnología, utilización y nutrición”**. España. Capítulo 7: 67-78.
14. Marcano, J., La Rosa, Y., Salinas, N. 2010. **“Influencia del proceso de fritura en profundidad sobre el perfil lipídico de la grasa contenida en patatas tipo French empleando oleína de palma”**. Venezuela. Grasas y Aceites 61(1), 24-29.
15. Miller, Matt. 2012. **“Oxidation of food grade oil”**. Nueva Zelanda. Plant and Food Research.
16. Miranda, Misael, Aguilera, J.M. 2006. **“Structure and texture properties of fried potatoes products”**. Chile. Food Reviews International, 22:173-201.
17. Naz, S., Siddiqi, R., Sheikh, H., Sayaeed, S., 2005. **“Deterioration of olive, corn and soybean oils due to air, light, heat and deep-frying”**. Food Research International 38, 127–134.
18. Ngadi, M., Xue, J. 2010. **“Food Processing Effects on Rheological and Functional Properties”**. USA. Food Frying: Modifying the Functional Properties of Batters. Pp. 437.
19. Pepsico Foods & Beverages, Sabritas S. de R. L de C.V. **“Sabritas”** [En línea]. Disponible en:
<http://www.pepsico.com.mx/Brands/Sabritas.html>

[Último acceso al 28 de mayo de 2013]

20. Poiana, Mariana-Atena. 2012. **“Enhancing oxidative stability of sunflower oil during convective and microwave heating using grape seed extract”**. Rumanía. International Journal of Molecular Sciences, 13, 9240-9259.
21. Raza, Syed Ali, Adnan, A., Qureshi, F.A., Asim, M.F., Najaf, S., William, J. 2009. **“Analytical investigation of oxidative deterioration of sunflower oil stored under different conditions”**. Pakistán. EJEAFche, 8 (10), 1043-1051.
22. Ryan, L., Mestrallet, M., Nepote, V., Conci, S., Grosso, N. 2008. **“Composition, stability and acceptability of different vegetable oils used for frying peanuts”** International Journal of Food Science and Technology 43, 193–199.
23. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 2006. PROY-NMX-F-051-SCFI-2006. **Alimentos – Aceites y grasas vegetales o animales – Determinación del índice de anisidina – Método de Prueba** [En línea]. Disponible en:
<http://200.77.231.100/work/normas/nmx/2007/proy-nmx-f-051-scfi-2007.pdf>
[Último acceso al 18 de marzo de 2013]
24. Secretaría de Salud. NOM-120-SSA1-1994. **Prácticas de higiene y sanidad para el proceso de alimentos, bebidas no alcohólicas y alcohólicas**. [En línea]. Disponible en:
<http://200.77.231.100/work/normas/noms/1995/nom120ssa1.pdf>
[Último acceso al 18 de marzo de 2013]
25. Secretaría de Salud. PROY-NOM-216-SSA1. 2002. **Productos y servicios. Botanas. Especificaciones sanitarias. Métodos de prueba**. [En línea]. Disponible en:
<http://200.77.231.100/work/normas/noms/2003/p216ssa1.pdf>
[Último acceso al 18 de marzo de 2013]

ANEXOS

ANEXO I

PROCEDIMIENTO ANALÍTICO AOCS Cd 8b-90.

DETERMINACIÓN DEI ÍNDICE DE PERÓXIDOS

- Pesar 5.0 ± 0.1 g de aceite en un matraz Erlenmeyer de 250 mL.
- Adicionar 25 mL de una solución de Isooctano/ácido acético (3:2); agite para disolver la mezcla.
- Añada 1 mL de una solución saturada de yoduro de potasio. Esperar a que se lleve a cabo la reacción en la oscuridad durante un minuto, agitando ligeramente cada 15 s.
- Añadir 75 mL de agua desionizada hervida y fría y agitar vigorosamente hasta obtener un color amarillo pálido.
- Adicionar 1 mL de indicador de almidón al 1% en agua destilada.
- Titular cuidadosamente con tiosulfato de sodio 0.01 N, agitando constantemente hasta la desaparición del color azul por 30 s.

NOTA: Correr un blanco cada vez que se lleven a cabo determinaciones con el fin de verificar la pureza de los reactivos, siguiendo los pasos descritos anteriormente sin la adición de aceite. si la cantidad de tiosulfato de sodio necesaria para quitar el color azul excede 0.1 mL, se deben descartar y desechar las soluciones.

ANEXO II

PROCEDIMIENTO ANALÍTICO AOCS Cd 18-90.

DETERMINACIÓN DEL VALOR DE P-ANISIDINA

- Pesar 1.0 g de aceite en un matraz volumétrico de 25 mL y registrar el peso (w). Disolver y diluir al volumen con iso-octano.
- Medir la absorbancia (A_b) de la solución a 350 nm en un espectofotómetro, usando como referencia la celda llena con solvente, como blanco.
- Medir exactamente 5 mL de la solución de aceite con iso-octano dentro de un tubo de ensayo y exactamente 5 mL del solvente dentro de un segundo tubo de ensayo. Agregar exactamente 1 mL del reactivo de *p*-anisidina 0.025% en isooctano, a cada tubo, taparlos y agitar vigorosamente.
- Después de exactamente 10 minutos, medir la absorbancia (A_s) del solvente con aceite a 350 nm, usando la solución del segundo tubo de ensayo como el blanco o testigo en la celda de referencia.

NOTA: Entre más usado sea el aceite, se necesita una cantidad menor de muestra; si el resultado de la lectura de absorbancia de A_s es mayor a 1.0, es necesario preparar otra muestra con una cantidad de aceite menor, hasta que la lectura de la absorbancia se encuentre entre 0 y 1.0.

ANEXO III

PROCEDIMIENTO PARA EL LAVADO DE MATERIAL UTILIZADO EN LAS DETERMINACIONES DE CONTROL DE CALIDAD DE ACEITE

- Remojar el material sucio en agua caliente con detergente desengrasante por 10 minutos.
- Una vez cumplido el tiempo, el material se lava con ayuda de una fibra o escobillón.
- Enjuagar el material con agua potable. No utilizar solventes orgánicos.
- Enjuagar con agua destilada con ayuda de una piseta.
- Dejar escurrir el agua en exceso
- Guardar el material limpio en su correspondiente lugar.

NOTA: El material limpio se somete a una prueba de limpieza con solución comercial de azul de bromotimol antes de su uso. Si al agregar unas gotas de azul de bromotimol al material el color permanece verde, el material está limpio y libre de residuos. Si por el contrario el color vira a azul o amarillo, el material tiene residuos alcalinos o ácidos, respectivamente. En ambos casos se rechaza el material y se repite el proceso de lavado.