

Evaluación de parámetros de deterioro de aceites comestibles salvadoreños en el freído.

A. Artiga, J. Gonzáles, R. Klee, F. Valle, Departamento de Ingeniería y Ciencias Ambientales, UCA.

Resumen— El presente trabajo estudió el deterioro de tres aceites comestibles salvadoreños, Orisol, Mazola y Wesson de Canola, bajo condiciones controladas de ciclos de freído con tiempos definidos, a una temperatura de 180 °C utilizando papa soloma como sustrato para promover el deterioro del aceite. Se realizó ensayos analíticos según las metodologías oficiales AOAC adaptadas para la medición de Índice de Acidez (AGL), Índice de Peróxidos (IP), Viscosidad e Índice de Refracción, para determinar el grado de deterioro de las muestras de aceite. También se implementó el ensayo del Índice de Kreis (IK) para definir la presencia y el comportamiento de los compuestos carbonílicos originados en función del tiempo de freído. Para todos los ensayos se obtuvo cambios muy significativos en el aceite Mazola, el cual se reanalizó confirmando las tendencias obteniéndose altos valores de índice de acidez para largos tiempos de fritura. Posteriormente se estableció una cinética de reacción para determinar su deterioro en función del índice de acidez, representada por una ecuación cinética de orden cero.

Índice de términos — Cinética de Aceites, Deterioro de aceites, Parámetros de deterioro, Proceso de Freído.

INTRODUCCIÓN

A. Química de Ácidos Grasos

Las grasas y los aceites están compuestas por moléculas orgánicas que pertenecen a la familia de los lípidos. La denominación de “grasa” o “aceite” no presenta una distinción oficial, aunque se les separa basándose en el estado de agregación del compuesto: las grasas se encuentran en estado sólido a temperatura ambiente mientras que los aceites, en estado líquido [1]. Desde el punto de vista nutricional, las grasas y aceites representan la fuente de energía más alta de los tres alimentos básicos (carbohidratos, proteínas y lípidos) con 9 kcal/g [1]. Por

otro lado, han sido considerados sumamente útiles debido a sus propiedades alimenticias las cuales añaden sabor, lubricidad, textura y sensación de saciedad [2]. Las fuentes naturales de las cuales provienen las grasas y aceites comestibles son: semillas y frutos de diferentes especies vegetales, grasas provenientes del tejido adiposo de los animales y la leche de los mamíferos; también pueden extraerse aceites de algas marinas. Sin embargo, sólo unas pocas de esas fuentes son de importancia económica debido a su factibilidad de extracción y adaptación organoléptica en la nutrición humana.

El largo de la cadena de los ácidos grasos y su organización en la estructura del glicerol varía ampliamente, aunque la mayoría de los aceites comestibles son aquellos que tienen 16 y 18 carbonos. Los ácidos grasos que forman a los triglicéridos son diferentes entre un aceite y otro, lo cual les confiere distintas propiedades físicas y químicas. Se denominan triglicéridos simples a los que contienen un solo tipo de ácido graso, y triglicéridos mixtos a los que contienen dos o tres tipos diferentes. Los aceites y grasas son mezclas complejas de triglicéridos simples y mixtos [1]. A su vez, una pequeña proporción de ácidos está en forma libre y le confieren acidez a los aceites y grasas dependiendo de la concentración en la que se encuentren.

Tanto las grasas como los aceites son una combinación de ácidos grasos saturados e insaturados. No existe ninguna grasa o aceite que sea únicamente saturada o insaturada. [3].

Un aceite que contiene una gran cantidad de grasa saturada es muy estable en una gran variedad de usos alimenticios, incluyendo el horneado y la fritura. Los aceites mono y poliinsaturados son por naturaleza menos estables pero pueden estabilizarse mediante un proceso denominado hidrogenación, el cual consiste en saturar con átomos de hidrógeno a los átomos de carbono donde existen dobles enlaces. De una forma u otra todos los aceites pueden ser modificados en grados variables durante el procesamiento para acrecentar la estabilidad, aumentar la solidificación, mejorar la claridad y la versatilidad de su utilización [3]. Los aceites vegetales contienen además otros componentes, de los cuales los más importantes son los tocoferoles o Vitamina E. Estas sustancias actúan como antioxidantes protegiendo el aceite de la rancidez [3].

Entre los factores que afectan las composiciones del aceite vegetal están: las condiciones climáticas, tipo de suelo, la temporada de crecimiento, madurez de la planta, sanidad vegetal, condiciones microbiológicas, la localización de semillas dentro de la flor, y la variación genética de la planta. La grasa animal y la composición del aceite varían según la especie animal, la alimentación, la salud, la localización de grasa en el animal, y la madurez. En la Tabla 1 se presentan los porcentajes de composición de los ácidos grasos en distintos tipos de aceites vegetales.

TABLA I

COMPOSICIÓN DE ÁCIDOS GRASOS PRESENTES EN LOS ACEITES VEGETALES MÁS COMUNES.

TIPO DE ACEITE VEGETAL	PORCENTAJE DE ÁCIDOS GRASOS						
	Láurico	Mirístico	Palmitico	Esteárico	Oléico	Linoléico	Linolénico
Algodón	-	-	21	2	28	44	-
Canola	-	-	6	2	57	20	9
Coco	47	19	8	3	6	2	-
Girasol	-	-	7	5	22	61	-
Linaza						56	
Máiz	-	-	6	2	35	52	-
Palma	-	3	52	5	18	12	2
Palmistre	-	48	16	8	3	16	-
Oliva	-	-	12	3	75	7	-
Soya	-	-	10	2	19	62	3

Fuente: [1].

B. Deterioro de los Lípidos

Los aceites sufren transformaciones químicas en su estructura, que además de reducir su valor nutritivo, producen compuestos volátiles que imparten olores y sabores desagradables. Estas transformaciones se han dividido en dos grupos: la lipólisis o rancidez hidrolítica, relativa a la ruptura de los triglicéridos en glicerol y los ácidos grasos que los componen; y la auto-oxidación o rancidez oxidativa, relativa al ataque oxidante a las insaturaciones de los ácidos grasos presentes [4]. El grado de deterioro depende del tipo de grasa o de aceite. En términos generales, mientras un aceite posea ácidos grasos con un mayor número de dobles enlaces, más fácilmente será afectado por la oxidación. Debido a ello, los aceites más susceptibles a la oxidación serán los de origen marino, seguidos por los aceites vegetales y finalmente por las grasas animales.

El oxígeno atmosférico actúa sobre el aceite produciendo la oxidación de los ácidos grasos, inicialmente en los dobles enlaces, dando lugar a los peróxidos e hidroperóxidos; posteriormente la reacción continúa formando radicales más complejos como aldehídos y cetonas [5].

En la auto-oxidación de los ácidos grasos se generan intermediarios que mantienen y aceleran la reacción, obteniéndose como productos finales algunos compuestos de peso molecular bajo que le confieren el olor característico a las grasas oxidadas, y otros como acrilamidas y aldehídos en bajas concentraciones, cuya toxicidad todavía está en estudio. La auto-oxidación se favorece a medida que se incrementa la

La reacción de oxidación depende de la distribución de los lípidos en el alimento, así como de su área de exposición [6]. Las altas temperaturas aceleran la oxidación de los ácidos

grasos, especialmente por encima de 60°C, de manera que la velocidad de oxidación se duplica por cada 15 °C de aumento.

El mecanismo de la reacción de auto oxidación ocurre a través de la producción de radicales libres, y se considera que se lleva a cabo en tres etapas: iniciación, propagación y terminación; en las cuales las reacciones se desarrollan simultáneamente [7].

1) *Iniciación*: Formación de radicales libres a partir de ácidos grasos insaturados o de peróxidos lipídicos, también llamados hidroperóxidos, tal como se muestra la Fig. 1:

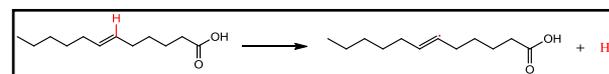


Fig. 1 Reacción de iniciación

Esta reacción ocurre a una velocidad baja y uniforme.

2) *Propagación*: Se caracteriza por la acumulación de peróxidos lipídicos. El oxígeno se enlaza a la molécula de ácido graso en el punto donde estaba enlazado el hidrógeno perdido en la etapa de iniciación y produce un radical peróxido (Fig.2)

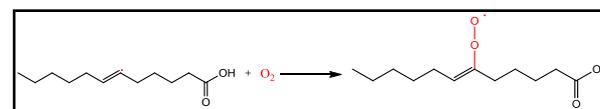


Fig. 2 Primera reacción de propagación

El radical peróxido puede atacar a otra molécula de ácido graso formando un hidroperóxido y un nuevo radical libre que continuará reaccionando, la Fig. 3 muestra el desarrollo de esa reacción.

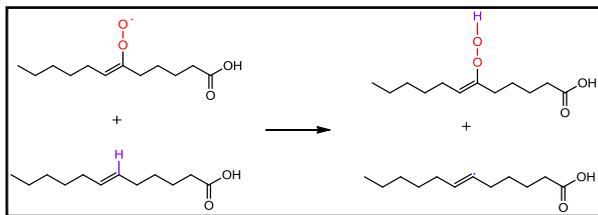


Fig. 3 Segunda reacción de propagación

A partir de estas reacciones, la velocidad de oxidación se acelera muy rápidamente ya que los compuestos originados son muy reactivos, favoreciendo la ruptura y producción de nuevos radicales libres.

3) *Terminación*: Los radicales libres, provenientes en gran parte de la descomposición de peróxidos lipídicos, se asocian para dar compuestos no volátiles. A continuación se ejemplifican sólo las reacciones más comunes que ocurren en esta etapa (Fig.4 y 5):

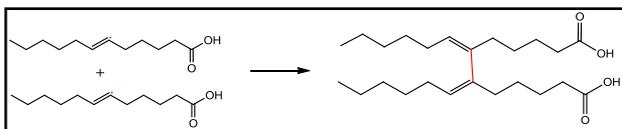


Fig. 4 Primera reacción de Terminación formando moléculas más grandes y polímeros.

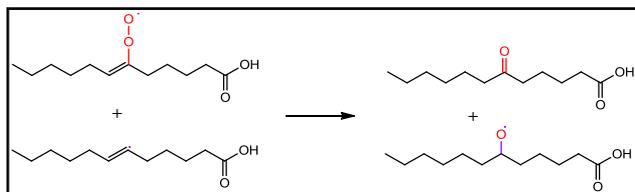


Fig. 5 Segunda reacción de terminación donde un radical peróxido reacciona con un radical libre de ácido graso para generar compuestos carbonílicos

En la etapa de Terminación, la formación de diferentes tipos de compuestos secundarios estará en función de la naturaleza y proporción de los ácidos insaturados presentes, los cuales pueden ser compuestos no volátiles o volátiles. La determinación de la presencia de los compuestos no volátiles es de gran importancia ya que son los retenidos en el aceite y por tanto serán absorbidos por los alimentos que se estén friendo. Los compuestos volátiles de oxidación tienen una gran repercusión desde el punto de vista sensorial y son los responsables del aroma propio, del olor a rancio y de posibles gustos no deseables de los aceites y productos fritos. Por esta razón su caracterización es importante, tanto para el conocimiento de las reacciones que se producen en la fritura, como para la determinación de la calidad de estos productos. Entre ellos destacan algunos hidrocarburos, alcoholes, aldehídos y cetonas y, en menor proporción, furanos y ácidos carboxílicos [8].

C. Proceso de Freído

El freído es un proceso de cocción de los alimentos, destinado a modificar sus características organolépticas, que resulta de la inmersión del alimento en grasas o en aceites a una temperatura entre 150 y 200 °C [9]. Las funciones de los aceites en el freído son servir como medio de transferencia de calor; contribuir con factores de calidad, como textura y sabor característicos al alimento; y como proceso térmico, destruyendo bacterias, toxinas y ciertas enzimas, además de disminuir la humedad relativa del alimento. Sin embargo altas temperaturas y la reutilización del aceite durante el freído pueden producir compuestos dañinos en grasas y aceites, así como un producto de calidad sensorial inaceptable.

Durante el freído, ocurren dos mecanismos de transferencia de calor: conducción y convección. La

conducción se realiza en el alimento sólido y depende de propiedades físicas como forma, grosor, porosidad y la masa del alimento a freír. Inicialmente, en la inmersión del alimento en aceite, el flujo de calor ocurre del aceite a la superficie del alimento. Debido a la transferencia del calor, el agua de la superficie se evapora y escapa hacia el aceite, en esta etapa ocurre la transferencia de humedad [9]. El agua que sale a la superficie deja poros y capilares vacíos en el alimento que son ocupados después por el aceite. La velocidad de entrada del aceite en el alimento depende de su viscosidad y tensión superficial. En la parte externa se forma la costra de color ligeramente oscuro, como resultado de la reacción de Maillard, que es una de las características organolépticas más importantes; esta etapa es donde ocurre la transferencia de aceite. Finalmente, la parte más interna del alimento se cuece debido a la penetración del calor, más que a la absorción del aceite.

Durante el proceso de freído el alimento sufre las siguientes alteraciones [10]:

- Modificaciones de las proteínas, péptidos y aminoácidos: desnaturalización de proteínas y desactivación de enzimas
- Modificaciones de los azúcares: reacción de Maillard.
- Oxidación de la fracción lipídica del alimento.

Los aceites más utilizados para la fritura, ya sea industrial o en restaurantes de comidas rápidas, son los aceites de girasol, soya, maíz, algodón, colza, cacahuete y mezclas de estos [4]. La selección del aceite de fritura está determinada por su precio y disponibilidad, aunque también influyen cuestiones de salud al consumidor y de calidad del producto

final. El uso de mezclas de aceites es la opción actual para hacer uso de todas las ventajas que brinda cada tipo de aceite.

D. Aceites en El Salvador

Desde la fundación del Estado Salvadoreño, su economía se basó en la agricultura. En la década de 1940, los principales rubros de exportación eran el café, azúcar y algodón. Como subproducto del algodón se tenía su semilla de la cual la compañía “El Dorado” aprovechó para extraerle aceite y comercializarlo como aceite comestible.

La extracción del aceite se realizaba por dos procesos:

1) *Físico*: se realizaba por extrusión con máquinas que comprimían la semilla para sacar el aceite, quedando la retorta.

2) *Químico*: por extracción con solvente, generalmente como hexano, el cual se aplicaba a la retorta y el liviado se pasaba a una torre de destilación en contracorriente, recuperando así el hexano. La torta remanente era mezclada con harina y servía para fabricar concentrado para ganado.

En esa época todo el aceite que se producía en El Salvador era de algodón. Por la naturaleza de ese algodón y del proceso, el producto final quedaba ligeramente rojizo, con un sabor neutro.

Se continuó produciendo aceite con todo el proceso (extracción, refinado, blanqueado y desodorizado) hasta la Guerra Civil salvadoreña desatada en 1980. Debido a la inestabilidad sociopolítica originada por la Reforma Agraria, el cultivo del algodón desapareció. Al decaer la producción de algodón, se comenzó a importar el aceite refinado de Argentina o de Estados Unidos y sólo se blanqueaba y desodorizaba localmente. Por las características de origen del aceite

importado, sus propiedades organolépticas de color resultaban diferentes ya que era amarillo. Para solventar el impacto comercial originado por la diferencia de colores, se incluyó beta-carotenos como aditivos, dándole siempre el clásico color rojizo al que el mercado salvadoreño estaba acostumbrado.

En la década de 1990, surgió la marca “Santa Clara” e introdujo la mezcla de aceites de diferentes orígenes (algodón, girasol y soya) con el propósito de incluir diferentes tipos de aceites más saludables y bajar costos. Nuevamente el mercado salvadoreño experimentó un rechazo a la mezcla (mayoritariamente de soya), pues debido al alto contenido de ácidos grasos insaturados emitía un olor a pescado durante su uso, por lo que fue necesario realizar análisis en donde se obtuviese la mezcla óptima que permitiera tener un balance entre salud y precio.

Por otro lado, algunos consumidores necesitaban una fritura más profunda y requerían de una grasa adaptada a la elevada temperatura. Así surgieron los aceites parcialmente hidrogenados los que por su grado de saturación les daba más vida útil a la molécula y se evitaban los olores indeseados.

En la actualidad, la variedad de aceites que se importan al país ha crecido y en el mercado se pueden encontrar diferentes aceites puros y mezclas, mayoritariamente de palma, soya, maíz, canola y girasol. Muchos de estos aceites ingresan al país sin tratamiento previo, por ello, aunque ya no se extraigan aceites en El Salvador, aún hay empresas que se encargan de realizarles un proceso de refinamiento. La producción de aceite en El Salvador es dominada por cinco empresas, las cuales, en 2008, producían anualmente alrededor de 17.4 millones de kg de margarina, 23 millones de litros de aceite vegetal y 6.4 millones kg de manteca vegetal [11].

En El Salvador [12], el proceso de refinamiento realizado es el que se muestra en la Fig.6.

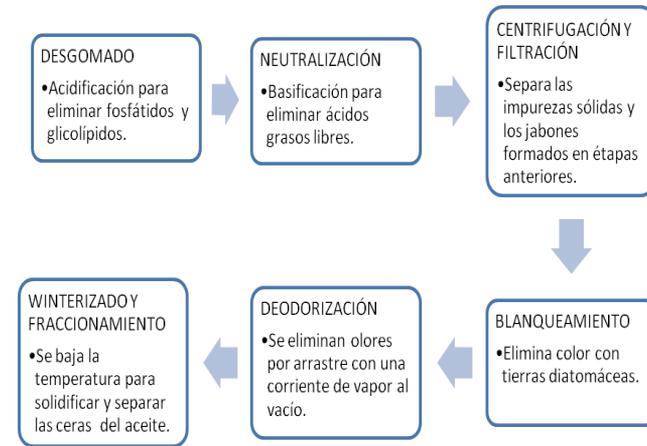


Fig. 6 Esquema del proceso industrial del aceite

E. Cinética. Velocidad de Reacción.

Para muchas reacciones [13], se ha encontrado experimentalmente que la forma de velocidad de reacción r a un tiempo t está relacionada con las concentraciones de las especies presentes en ese tiempo t mediante una expresión del tipo (Ec. 1):

$$\text{(Ec. 1)}$$

En donde los exponentes α , β y λ son generalmente, números enteros o fraccionarios. La constante de proporcionalidad k , se denomina constante cinética y depende fuertemente de la temperatura y muy levemente de la presión. Los exponentes se denominan órdenes parciales respecto a cada especie y su suma es el orden total de la reacción. La

expresión de r en función de las concentraciones, a una temperatura dada, se llama ecuación cinética.

Las ecuaciones cinéticas se determinan únicamente a través de los datos experimentales, donde se toma la concentración de las diferentes especies participantes a varios tiempos durante la reacción para luego ser ajustadas mediante diversos métodos. Uno de ellos es el Método Iterativo [13]. Si la ecuación cinética es de la forma de la Ec. 2:

(Ec. 2)

Los datos experimentales se representan gráficamente como se indica a continuación, se realiza un ajuste lineal y la curva que mejor se adapte será el orden seleccionado.

- Para $n=0$:
- Para $n=1$:
- Para $n=2$: - .
- Para $n=3$: — .

MATERIALES Y MÉTODOS

La parte experimental constó de dos fases: la primera fue la obtención de muestras de aceite deteriorado por medio del proceso de fritura con periodos de tiempo definidos, utilizando comovariables el tipo de aceite, el tiempo de freído y el sustrato utilizado. La segunda fase fue la medición de parámetros de deterioro a las muestras de aceite, realizándoles ensayos analíticos adaptados de la AOAC como: Índice de acidez, Índice de Peróxidos e Índice de Refracción. En esta fase también se implementó el índice de Kreis para definir la

presencia y el comportamiento de los compuestos carbonílicos originados durante la descomposición del aceite.

A. Materiales.

Se utilizó tres tipos de aceite comestibles, seleccionados por cumplir con diferentes características planteadas como: ser consumidos por la población salvadoreña, económicos y de procedencia nacional o extranjera; siendo el aceite Orisol, Mazola y Wesson de Canola las marcas seleccionadas. El sustrato para promover el proceso de deterioro fue papa soloma; se lavó y se cortó en trozos de aproximadamente 10 cm de largo, 1 cm de alto y 1 cm de ancho, se lotificó en 100 g y se sometió a un proceso de congelación.

B. Métodos

Etapa	Marca de Aceite	Ciclos de freído	Ciclo en el que se toma la muestra	Tiempo de freído (horas)	Parámetros de deterioro medidos
1	Orisol, Mazola y Wesson de Canola	25	Cada ciclo	10	-
2	Orisol, Mazola y Wesson de Canola	-	-	-	Índice de Acidez
3	Orisol, Mazola y Wesson de Canola	30	Cada cinco ciclos	12	Índice de Acidez
4	Selección de aceite Mazola basado en resultados obtenidos por ensayos de Índice de Acidez.				
5	Mazola	80	Cada cinco ciclos	32	-
6	Mazola	-	-	-	Índice de Acidez, Índice de peróxido, refractometría, Índice de Kreis y viscosidad

1) *Experimento del Proceso de Freído:*

La obtención de las muestras de aceite deteriorado se realizan mediante ciclos de freído, sometiendo a calentamiento lotes de papas congeladas en un galón de aceite utilizando una Freidora eléctrica marca Waring Pro modelo: DF250B. El ciclo de fritura consistió en, inicialmente, tomar una muestra de aceite (Muestra cero) y después precalentar 1 galón de aceite en la freidora a 180°C por 30 minutos. Se inicia el ciclo introduciendo un primer lote de 100 g de papas en la freidora por 5 minutos; se extrae el lote de papas, se introduce un segundo lote por otros 5 minutos y se retira el lote de la freidora. Finalmente se introduce el tercer lote de papas congeladas, friendo por 5 minutos nuevamente y se extrae el lote con las papas; se toma una muestra de 75 mL de aceite y de esa forma termina el ciclo de freído.

Una serie de ciclos de freído conlleva a diferentes etapas de la parte experimental para la obtención de muestras de aceite deteriorado en función del tiempo de fritura tal como lo muestra la Tabla 2, en donde también se presentan los ensayos analíticos realizados para la medición de deterioro de los aceites en cada etapa.

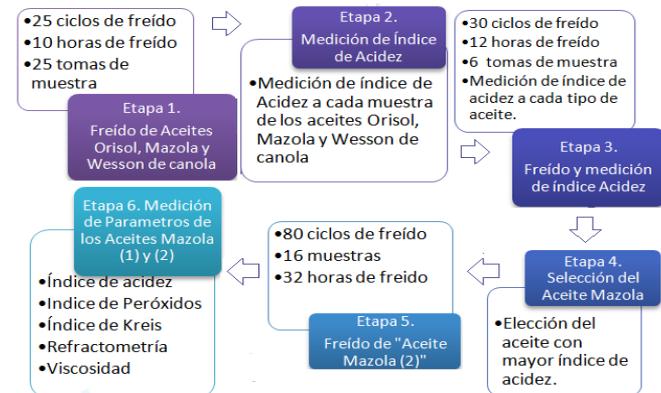
2) *Métodos Analíticos:*

Las muestras de aceite se caracterizaron por índice de AGL (Método volumétrico adaptado de AOAC 940.28), IP (Método Volumétrico Adaptado de AOAC 965.33), índice de refracción (AOAC 921.08) utilizando un refractómetro de Abbe Marca: Spectronic Instruments, modelo No.334610, IK y medición de Viscosidad. En el ensayo del IK se utilizó el espectrofotómetro UV- visible Marca Varian modelo Cary 50 Conc; se midió la absorbancia de la muestra a 540 nm frente al blanco de reactivos previamente determinado, utilizando una solución acética de floroglucina al 1% como reaccionante en medio

ácido con las grasas oxidadas, dando una coloración roja, cuya intensidad aumenta con el deterioro, debido principalmente a la presencia de aldehído malónico y aldehído epihidrínico. La medición de la viscosidad se realizó utilizando un viscosímetro digital, modelo Brookfield DV1 a 20 rpm por 20 segundos y con un pin de rotación tipo S91.

Siendo el índice de acidez el parámetro más representativo para el deterioro de los aceites, utilizándose para seleccionar una marca de aceite para realizar todos los ensayos analíticos mencionados. Este método de selección se basó en que el aceite debía cumplir con llegar a un valor constante y mayor a los demás aceites, durante el mismo tiempo de freído, desde una muestra sin freír (muestra cero) hasta los 25 ciclos de freído. El aceite Mazola fue el que cumplió con esta característica por tanto, al que se le realizaron los ensayos restantes y se obtuvo el modelo de cinética de reacción, así como lo muestra la Tabla 2 en el Etapa 6.

TABLA II
ETAPAS DE EXPERIMENTA DEL PROCESO DE FREÍDO



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Resultados del Índice de Acidez

En la Fig. 7 se observa que en el transcurso de las primeras 12 horas de freído la presencia de ácidos grasos libres aumenta lentamente. Entre la hora 12 y 18 el aceite Mazola (1) presenta un crecimiento más evidente en el índice de acidez que los aceites Orisol y Wesson, siendo esta razón por la que se seleccionó este aceite para realizar posteriormente los demás ensayos para determinación del deterioro.

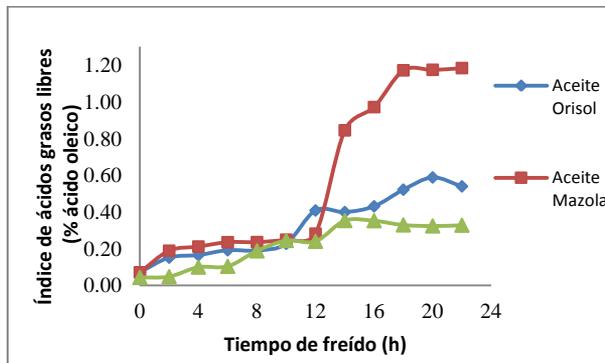


Fig. 7 Índice de acidez para los aceites Orisol, Mazola (1) y Wesson de canola.

Para los aceites Mazola (1) y Wesson de canola se observó que hay un periodo en el cual el índice de acidez se mantiene constante, siendo para el aceite Mazola (1) a partir de las 18 horas y para el Aceite Wesson de canola a partir de las 14. El aceite Orisol no mostró una tendencia de estabilización. La estabilización del índice de acidez ocurre en la etapa de terminación del proceso de deterioro.

La Fig. 8 muestra el índice de acidez de los Aceites Mazola (1) y Mazola (2) en función del tiempo de freído. En esta gráfica el comportamiento del aceite Mazola (2) confirma

la tendencia desarrollada por el Aceite Mazola (1) en el cual el índice de acidez aumenta con el tiempo de freído, llegando a un periodo de estabilización al finalizar el proceso de freído.

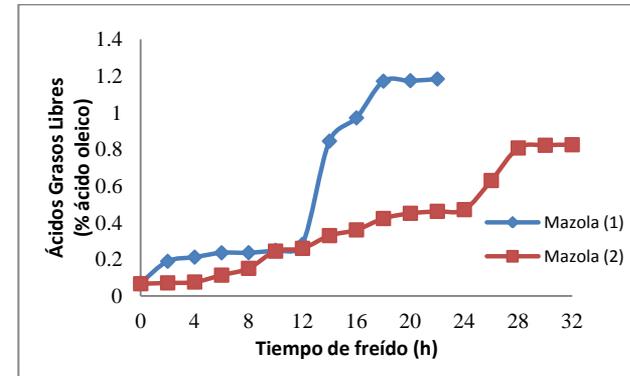


Fig. 8 Índice de acidez de los aceites Mazola (1) y (2) en función del tiempo de freído.

B. Resultados del Índice de Peróxidos

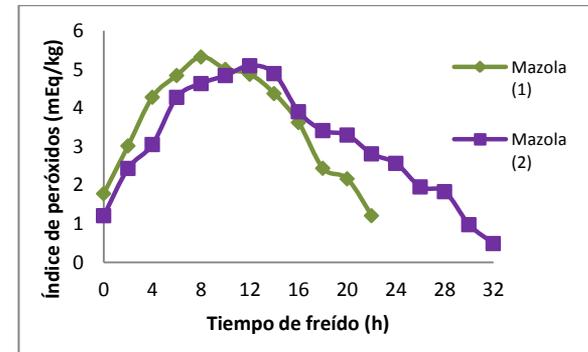


Fig. 9 Índice de peróxidos de los aceites Mazola (1) y (2) en función del tiempo de freído.

La Fig. 9 muestra el índice de peróxidos del Aceite Mazola (1) y Mazola (2). Para el aceite Mazola (1) se observa que en un tiempo de freído de 8 h se alcanza el valor máximo de índice de peróxidos (5.3233 meq de O_2^{2-} /kg), en ese periodo el aceite ya se encuentra en su etapa de Propagación, a partir de ese momento comienzan a descomponerse los peróxidos en: polímeros, éteres, aldehídos, etc.

Para el aceite Mazola (2) el máximo se alcanza después de 12 h de freído (5.0957 meq O_2^{2-} /kg). Posteriormente el índice comienza a descender y al finalizar el proceso de freído el valor es menor que el inicial. Este comportamiento mostrado por ambos aceites confirma que el índice de peróxidos no puede ser utilizado como único parámetro para indicar la degradación térmica de un aceite y debe complementarse con otros parámetros, ya que un mismo valor de peróxidos puede corresponder a dos tiempos distintos.

C. Resultados del Índice de Kreis

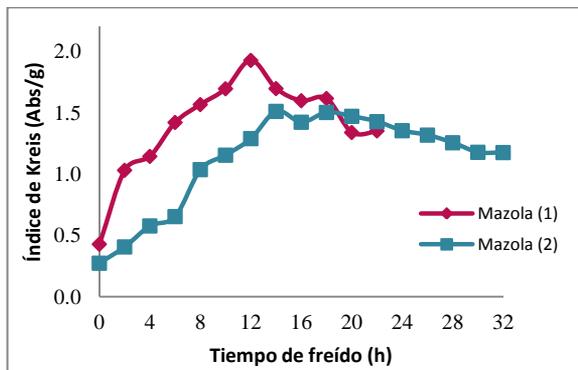


Fig. 10 Índice de Kreis de los aceites Mazola (1) y (2) en función del tiempo de freído.

Para el aceite Mazola (1) la Fig. 10 muestra que a medida aumenta el tiempo de freído se producen más compuestos carbonílicos hasta llegar a un punto máximo de 1.9227 Abs/g a las 12 horas, y a partir de este punto el índice de Kreis decae lentamente hasta un valor de 1.3489 Abs/g, valor que es más alto que el inicial. El aceite Mazola (2) a las 14 horas llega a su valor máximo de 1.5075 Abs/g para luego decaer lentamente hasta 1.1725 Abs/g, siendo este valor más alto que el inicial, al igual que en el Mazola (1).

D. Resultados de la Medición de Viscosidad e Índice de Refracción

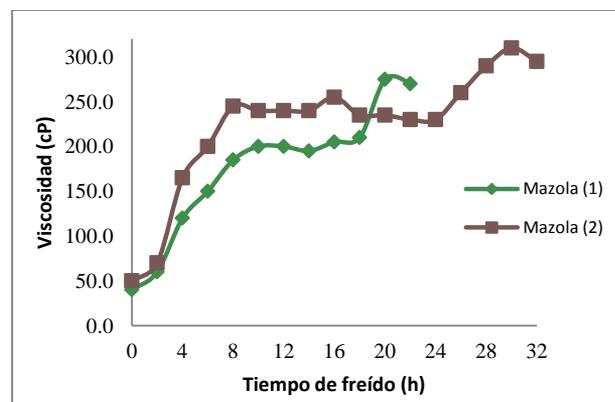


Fig. 11 Viscosidad de los aceites Mazola (1) y (2) en función del tiempo de freído.

En la Fig. 11 se observa que la viscosidad de los aceites Mazola (1) y Mazola (2) aumenta en función del tiempo de freído, presentando un período de crecimiento muy lento entre las horas 8 y 20 para el aceite Mazola (1), y entre las horas 8 y 24 para el Mazola (2). Este incremento en la viscosidad confirma que el aceite ha sufrido cambios a nivel molecular, formándose moléculas más largas que se entrecruzan.

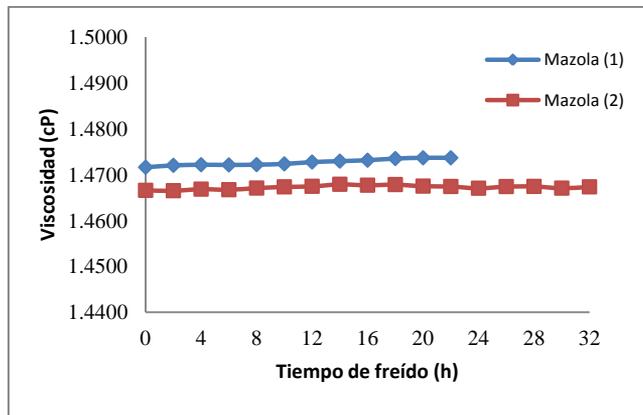


Fig. 12 Índice de refracción del aceite Mazola (2) en función del tiempo de freído.

En la Fig. 12 se presentan los índices de refracción para los aceites Mazola (1) y (2). El comportamiento de este parámetro es un incremento muy lento a medida que el aceite se somete a un mayor tiempo de freído.

E. Relaciones Intervariables

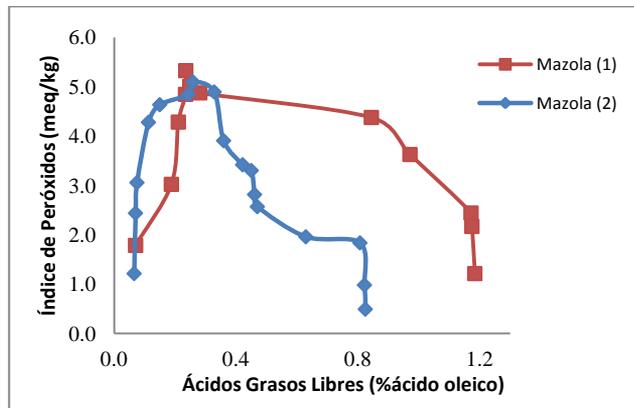


Fig. 13 Índice de peróxidos en función del porcentaje de ácidos grasos libres para los aceites Mazola (1) y (2).

En la Fig. 13 se observa que la concentración de ácidos grasos libres crece lentamente antes de llegar al máximo valor de Índice de peróxidos (aproximadamente 5 para ambos aceites); a partir de este punto los ácidos grasos libres aumenta rápidamente mientras que el Índice de peróxidos disminuye gradualmente. Cuando los ácidos grasos libres llegan a su máximo valor y se mantienen constantes, el Índice de peróxidos sigue disminuyendo hasta llegar a su valor mínimo.

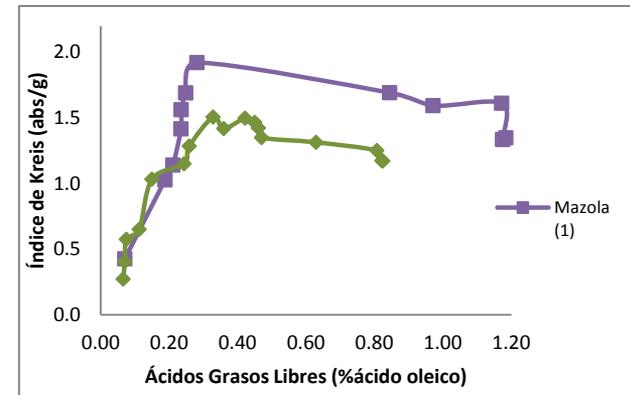


Fig. 14 Índice de Kreis en función del porcentaje de ácidos grasos libres para los aceites Mazola (1) y (2).

En la Fig. 14 se observa que los máximos valores de Índice de Kreis se encuentran cuando el índice de acidez es de 0.35 % de ácido oleico aproximadamente. Antes de ese valor, la concentración de compuestos carbonílicos (representada por el Índice de Kreis) aumenta de manera pronunciada, mientras que los ácidos grasos libres se mantienen casi constantes. Después del máximo valor del Índice de Kreis, la concentración de compuestos carbonílicos disminuye muy lentamente, mientras que la de ácidos grasos libres aumenta rápidamente.

Las relaciones entre la acidez y la viscosidad que pueden observarse en la Fig. 15 son:

- Un incremento pronunciado en la viscosidad cuando los ácidos grasos libres crecen lentamente hasta valores aproximados de 0.20% ácido oleico.
- Se presenta un período de estabilización de la viscosidad en ambos aceites mientras la concentración de ácidos grasos libres se mantiene en aumento.
- Cuando la cantidad de ácidos grasos libres se vuelve constante en ambos aceites, la viscosidad vuelve a aumentar, esto ocurre en la etapa de terminación del proceso de deterioro en el cual se forman compuestos poliméricos que confieren viscosidad al aceite.

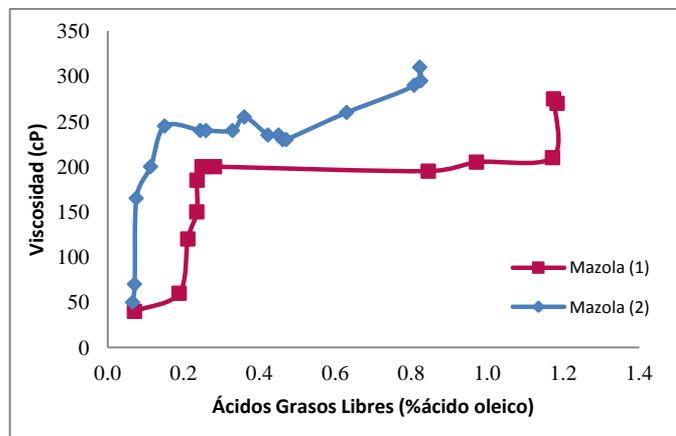


Fig. 15 Viscosidad en función del porcentaje de ácidos grasos libres para los aceites Mazola (1) y (2).

CONCLUSIONES

1. Si un aceite cumple con todas las siguientes características: tener un elevado índice de acidez constante, índice de peróxidos cercano a cero y viscosidad alta, significa que ese aceite ha sufrido un largo proceso de freído y se encuentra muy deteriorado, ya que es en la etapa de terminación del proceso en el que ocurre ese comportamiento.
2. La viscosidad y el índice de refracción aumentan en función del tiempo de freído, indicando la formación de compuestos de cadena larga y de mayor peso molecular en el aceite, que son los que se forman en el proceso de deterioro.
3. Con el índice de Kreis se logró confirmar la presencia de compuestos carbonílicos producidos durante el proceso de freído en el aceite seleccionado.
4. Durante la etapa de iniciación del deterioro de los aceites las reacciones que dan paso a la formación de peróxidos ocurren aun cuando los ácidos grasos no han sido liberados de la molécula del triglicérido. Esto está representado por un aumento rápido en el índice de peróxidos y un aumento lento en el índice de acidez durante las primeras horas de freído.
5. El modelo de cinética de reacción planteado está representado por una ecuación de orden cero para la acidez libre, indicando que la velocidad de reacción no depende de la concentración de ácidos grasos libres. Esto implica que lo único que afectará la velocidad de descomposición serán factores externos al aceite que intervengan en las condiciones de fritura, tales como: temperatura, sustrato utilizado y tiempo y lugar de almacenamiento.

- [1] Badui, S. [2006] *Química de los alimentos*. Cuarta Edición. Pearson. México DF, México.
- [2] O'Brien, R.D. [2003] *Fats and oils: formulating and processing for applications*. CRC Press, Boca Ratón, Estados Unidos.
- [3] Villamizar, G. [2005] *Composición de las grasas y Aceites*. Virtual Pro: Oleoquímica. 42, 3-6.
- [4] Santini, J.L. [2007] Deterioro de lípidos. Instituto Tecnológico Superior de Calkiní en el Estado de Campeche, México.
- [5] Iturbe, F.A. [2005] *Alimentos ricos en lípidos y deterioro*. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- [6] Navas, J.A. [2005] Optimización y control de la calidad y estabilidad de aceites y productos de fritura. Trabajo de graduación para optar por el grado de doctor en medicina en la Universidad de Barcelona, España.
- [7] Pérez, J.M. [2008] *Lípidos en los alimentos*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- [8] White, P. [1991] *Methods for measuring changes in deep-fat frying oils*. *Food Technology*, 45, 75-80.
- [9] Cedi, L.N. [2010] *Deterioro de grasas de freído y su influencia en la calidad de papas a la francesa*. Trabajo de graduación para optar por el grado de ingeniera en alimentos en la Universidad de las Américas Puebla, México.
- [10] Pokorny, J. [1999] *Changes of nutrients at frying temperatures in frying of food*. Technomic Publishing Co. Inc. Lancaster, Estados Unidos.
- [11] Ministerio de economía de El Salvador, Ficha de *Producto de El Salvador hacia el Mercado de la Unión Europea: Grasas y Aceites Comestibles*, [Online] www.minec.gob.sv/cajadeherramientasue/index.php?option=com_content&view=article&id=138&Itemid=146, Mayo, 2012.
- [11] La Fabril, *Proceso de producción*, [Online] www.lafabril.com.sv/spanish/fabricacion.htm, junio 2012.
- [12] Levine, I.N. [2004] *Fisicoquímica*. Quinta edición. Mc Graw Hill, Madrid, España.
- [13] AOAC [1995]. *Official methods of analysis of AOAC international*. 16ª edición.

Aracely Guadalupe Artiga Machuca: Máster en Investigación en Química e Ingeniería Química, Instituto Químico de Sarrià (Barcelona, España), 2009. Licenciada en Química Agrícola, Universidad Centroamericana José Simeón Cañas (El Salvador), 1998. Área de Investigación: Ciencia y Tecnología de Alimentos.