

# El deterioro de los aceites durante la fritura

María Daniela Juárez  
Norma Sammán

Dpto. de Bioquímica  
de la Nutrición,  
INSIBIO-CONICET  
Facultad de  
Bioquímica  
Química y Farmacia  
Universidad Nacional  
de Tucumán  
Argentina

Correspondencia:  
María Daniela Juárez  
Departamento de Bioquímica  
de la Nutrición  
INSIBIO-CONICET, UNT  
Chacabuco 461  
4000 San Miguel de Tucumán  
Argentina  
Email: mdjuarez@fbqf.unt.  
edu.ar

## Resumen

El interés por las modificaciones que sufren las grasas durante el proceso de fritura y sus efectos nutricionales y toxicológicos está justificado por la creciente utilización de los procesos de fritura en la preparación de alimentos. La predicción del comportamiento de las grasas y aceites cuando se usan para freír distintos tipos de alimentos no es fácil. Aunque existen amplios conocimientos sobre las reacciones generales que ocurren en la materia grasa durante la fritura, son numerosas las variables involucradas que condicionan la calidad de los productos fritos obtenidos. En esta revisión se describe el proceso de fritura, en particular la fritura en profundidad. Se comentan las principales características que deben reunir las grasas/aceites de fritura y cual es la tendencia actual de los mismos. Se describe la química del deterioro que sufren estas materias grasas durante el proceso, oxidación, polimerización e hidrólisis y se describen los nuevos compuestos formados o compuestos polares. Se revisa la legislación actual sobre el límite máximo de alteración permitido para estos aceites de fritura, a nivel mundial y la situación en Argentina. Además se comentan algunos aspectos toxicológicos asociados al consumo de los aceites usados en fritura.

**Palabras clave:** Aceite. Fritura. Compuestos polares.

## Abstrac

The interest on changes that fats undergo during frying process and nutritionally and toxicological effects is justified by the increasing use of the frying processes in the food preparation. The prediction on fats and oils behaviour when they are used to fry several foods is not easy. Although a wide knowledge exists on general reactions that take place on fat and oils during the frying, numerous involved variables condition the quality of obtained fried products. This paper reviews the frying process, particularly the deep-fat frying process. The main characteristics that frying fat and oils must join up are commented, as well as present tendency of them. The chemistry of frying fats deterioration (oxidation, polymerisation and hydrolysis) during the frying process is described, as well as the new formed compounds: the polar compounds. The up-date legislation at world-wide level on the upper limits of alteration allowed for these frying oils and Argentina situation are also reviewed. Moreover,

some toxicological aspects associate to the consumption of these frying oils is also commented on.

**Key words:** Oil. Frying. Polar compounds.

## Introducción

La cocción es la forma más importante de preparación de alimentos y se realiza usando el calor. Los procesos de cocción mejoran la calidad higiénica de los alimentos por la inactivación de microorganismos patógenos, desarrollan características organolépticas agradables a través de las reacciones de pardeamiento no enzimático y pueden aumentar la digestibilidad y biodisponibilidad de los nutrientes en el tracto digestivo<sup>1</sup>.

Las altas temperaturas y la presencia de agua, aceite y/o aire caliente causa varias transformaciones de los componentes de los alimentos durante el procesamiento: reacciones hidrolíticas y de interesterificación, pardeamiento enzimático y no enzimático, oxidación, degradación del aceite durante la fritura, formación de *flavor* o percepción olfato-gustativa, degradación de los pigmentos naturales y formación de compuestos coloreados. Las características de los procedimientos empleados con mayor frecuencia se detallan en Tabla 1.

La fritura ya se utilizaba desde los años 1600 a.C. como método de preparación de alimentos, se encuentra asociada al empleo de los primeros recipientes o utensilios para la cocción de los alimentos. Como en el recipiente se retienen los jugos liberados y la grasa derretida del alimento, éste se cocina sumergido en los mismos, formándose una cobertura crujiente sobre su superficie y resultando así con un agradable sabor y textura<sup>2</sup>. Actualmente, la aceptación de los alimentos fritos es universal y se disfruta en todas las culturas del mundo.

El proceso de fritura se puede definir como la cocción y deshidratación de alimentos por inmersión en un medio caliente, el aceite. Este proceso además de transmitir calor, influye en las propiedades organolépticas del alimento frito. El proceso de fritura está influenciado por varios factores:

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

Este proceso de cocción, debido a las altas temperaturas utilizadas, influye directamente sobre los componentes termolábiles del alimento e indirectamente en la interacción entre los diferentes nutrientes en el alimento y de esos nutrientes con el medio de fritura usado<sup>4</sup>.

## Métodos de fritura

Los métodos de fritura que se usan más comúnmente<sup>1</sup> son:

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

El interés por las modificaciones que sufren las grasas de fritura durante el proceso de termooxidación y sus efectos nutricionales y toxicológicos está justificado por la creciente utilización de los procesos de fritura en la preparación de alimentos. Por otra parte, las materias grasas desechadas para el consumo humano, luego de su utilización se emplean frecuentemente en nutrición animal, lo que añade interés a su estudio<sup>5</sup>. Existe un gran contraste entre el elevado número de trabajos realizados con grasas calentadas a altas temperaturas en ausencia de alimento, empleando modelos de simulación y el escaso número de los que describen los efectos de materias grasas que se han utilizado en fritura de alimentos.

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

## Las grasas y los aceites

En general, se usa el término *grasa* para referirse a los lípidos de origen animal y *aceite* para los de origen vegetal. Otra clasificación, considera *grasa* a aquellas que son sólidas y *aceites* a las que son líquidas a temperatura ambiente. Sin embargo, podemos encontrar aceites de origen animal, como los de pescados, o productos fraccionados provenientes

Método	Temperatura en la superficie del alimento [°C]	Temperatura interna del alimento [°C]	Tiempo de cocción [min]
Hervido	90-100	80-95	10-90
	95-110	85-98	15-80
Horneado	150-200	60-90	30-120
Rostizado	100-220	40-90	10-150
Calentamiento en microondas	30-100	30-100	3-30
Cocción por extrusión	100-200	100-200	2-5
Fritura	130-200	60-95	3-10
Asado	100-250	50-90	20-100

Tabla 1. Características de los métodos de cocción más frecuentes<sup>3</sup>

de aceites vegetales o de grasa vacuna con puntos de fusión menores, los cuales son líquidos (oleínas), o con puntos de fusión mayores, los cuales son sólidos (estearinas) a temperatura ambiente. Esta distinción tiene poca importancia práctica.

Los lípidos o materia grasa pueden estar en forma visible, separados de su fuente original animal o vegetal (manteca, tocino, grasas de repostería, aceites de ensaladas) o ser constituyentes de alimentos básicos como la leche, el queso, la carne o semillas.

Las grasas o aceites son considerados estructuralmente menos complejos que las proteínas y los hidratos de carbono ya que están formados en un 95-99% por triacilgliceroles (triglicéridos), los cuales son compuestos relativamente simples. En la Tabla 2 se muestra la clasificación de los lípidos de acuerdo a su estructura química.

Las diferencias de estabilidad, tendencia a la oxidación, comportamiento, plasticidad, estado físico, patrón de cristalización, índice de yodo, temperatura de solidificación de las grasas y aceites se deben, fundamentalmente, a la presencia y concentración de los diferentes ácidos grasos constituyentes.

Tradicionalmente, los ácidos grasos se definieron como ácidos monocarboxílicos de cadena alifática con número par de átomos de carbono, que podían ser saturados o insaturados; sin embargo, en la medida en que las técnicas de análisis cualitativo y

cuantitativo mejoraron, se identificaron muchos otros con estructuras diferentes, tales como ácidos grasos cíclicos, ramificados, hidroxilados, con números impares de átomos de carbono, de tal manera que en la actualidad se conocen más de 400 ácidos grasos que se localizan en los tejidos animal y vegetal, así como en ciertos microorganismos. La mayoría de ellos se encuentran en muy bajas concentraciones en los alimentos, por lo que no influyen en las características físicas y químicas de los productos que los contienen.

Los ácidos grasos que comúnmente se localizan en cantidades apreciables en los alimentos son un número reducido. Generalmente se encuentran esterificados integrando los triacilglicéridos y cuando se encuentran en estado libre es porque ocurrió una hidrólisis del enlace éster. La mayoría de éstos son ácidos monocarboxílicos de cadena lineal, con número par de átomos de carbono. Las características de los ácidos grasos que están presentes mayoritariamente en los alimentos se muestran en la Tabla 3. Las principales fuentes de grasas y aceites son los tejidos animales y las semillas oleaginosas, ya que las frutas y hortalizas presentan normalmente muy bajas concentraciones, con algunas excepciones como palta, aceitunas y algunos tipos de nueces.

En la Tabla 4 se muestra la distribución promedio de la producción mundial de los principales aceites y grasas animales, en el período 1996-2001. En

Tabla 2.  
Clasificación de los  
lípidos de acuerdo  
a su estructura química<sup>6</sup>

Principales clases	Subclases	Descripción
Lípidos simples: Ésteres de ácidos grasos y alcoholes	Grasas y Aceites	Ésteres de glicerol con ácidos grasos monocarboxílicos
	Ceras	Ésteres de alcoholes monohidroxilados de longitud de cadena larga y ácidos grasos.
Lípidos compuestos: Lípidos simples conjugados con moléculas no lipídicas	Fosfolípidos	Ésteres que contienen ácido fosfórico en lugar de un ácido graso, combinado con una base de nitrógeno
	Glicolípidos	Compuestos de hidratos de carbono, ácidos grasos y esfingosinol. Llamados también cerebrósidos.
	Lipoproteínas	Compuestos de lípidos y proteínas.
Lípidos derivados	Ácidos grasos (derivados de los lípidos simples)	
	Pigmentos	Carotenoides.
	Vitaminas liposolubles	Vit. A, D, E y K.
	Esteroles	Colesterol, ergosterol, ácidos biliares, hormonas esteroides.
	Hidrocarburos	Hidrocarburos alifáticos.

Nombre trivial	Nombre científico	Fórmula	Punto de Fusión [°C]
<b>Ácidos grasos saturados</b>			
Ácido butírico	Ácido butanoico	C 4:0	-5,9
Ácido caproico	Ácido hexanoico	C 6:0	-3,4
Ácido caprílico	Ácido octanoico	C 8:0	16,7
Ácido cáprico	Ácido decanoico	C 10:0	31,6
Ácido láurico	Ácido dodecanoico	C 12:0	44,2
Ácido mirístico	Ácido tetradecanoico	C 14:0	54,4
Ácido palmítico	Ácido hexadecanoico	C 16:0	63,0
Ácido esteárico	Ácido octadecanoico	C 18:0	69,4
Ácido araquídico	Ácido eicosanoico	C 20:0	76,0
Ácido behénico	Ácido docosanoico	C 22:0	79,9
Ácido lignocérico	Ácido tretacosanoico	C 24:0	84,2
Ácido cerótico	<b>Ácido hexacosanoico</b>	C 26:0	87,7
<b>Ácidos grasos insaturados</b>			
Ácido palmitoleico	Ácido hexadeca-9-enoico	C 16:1 $\omega$ 9	-0,5
Ácido oleico	Ácido octadeca-9-enoico	C 18:1 $\omega$ 9	13,0
Ácido linoleico	Ácido octadeca-9:12-dienoico	C 18:2 $\omega$ 6	-5,0
Ácido linolénico	Ácido octadeca-9:12:15-trienoico	C 18:3 $\omega$ 3	-11,0
Ácido araquidónico	Ácido eicosa-5:8:11:14-tetraenoico	C 20:4 $\omega$ 6	-49,5
Ácido eicosapentanoico (EPA)	Ácido eicosa-5:8:11:14:17-pentaenoico	C 20:5 $\omega$ 3	
Ácido docosahexanoico (DHA)	Ácido docosa-4:7:10:13:16:19-hexaenoico	C 22:6 $\omega$ 3	

Tabla 3.  
Características de los ácidos grasos mayoritarios en alimentos

la campaña agrícola 2002-03, sobre un estimado de producción a nivel mundial de 189,5 millones de toneladas, Argentina participó con el 18,3%, siguiéndole en orden decreciente de importancia a Estados Unidos y Brasil, países que ocupan las dos primeras posiciones en el ranking de productores. En el año 2002 participó con un 37,8% de un total de 9,0 millones de toneladas de aceite de soja que se exportaron mundialmente; le siguen como principales exportadores para este aceite, Brasil y Estados Unidos<sup>8</sup>.

## La fritura en profundidad

Es considerada una de las operaciones unitarias más comunes en la preparación de alimentos. Se puede definir como el proceso de cocción por la inmersión del alimento en una grasa o aceite que está a una temperatura de 140-190°C.

El proceso es complejo debido a la transferencia de calor y de masa que se realiza entre el alimento y el medio de fritura. El calor es transmitido al alimento,

Aceite/Grasa	Distribución (%)
Soja	23
Palma	18
Colza	12
Girasol	9
Maní	4
Coco	4
Algodón	3
Palmiste	2
Oliva	2
Otros aceites	16
Sebo y Grasas	7

Tabla 4.  
Distribución de la producción mundial de los principales aceites y grasas período 1996-2001<sup>7</sup>

el cual se calienta y se cubre de vapor cuando el agua de la superficie alcanza la temperatura de ebullición. La temperatura del medio de fritura disminuye como resultado de la adición del alimento y la de éste aumenta, permaneciendo alrededor del 100°C mientras el agua está fluyendo desde el interior ha-

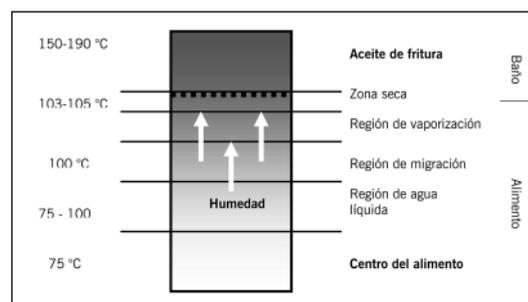
cia las capas externas. La salida de vapor limita la penetración del aceite desde la superficie al centro del alimento. Como resultado en un producto frito se pueden definir dos zonas: una superficie deshidratada donde los principales cambios tienen lugar, y el interior o *core*<sup>9</sup>. En productos donde las piezas son relativamente grandes como papas fritas bastón o albóndigas la temperatura del interior no sobrepasa los 100°C, mientras que en otros, como las papas chips, la temperatura del *core* puede ser superior<sup>10</sup>. En la Figura 1 se muestra un esquema simplificado de las operaciones de transferencia de calor y masa durante el proceso de fritura de un alimento.

El sistema se vuelve más complicado porque la composición del alimento que se fríe y del aceite/grasa de fritura va cambiando continuamente debido, principalmente, al deterioro que sufre el aceite. Además, muchos otros cambios pueden ocurrir durante la fritura de un alimento, como la gelatinización del almidón, reacciones de Maillard, desnaturalización de proteínas y descenso de la humedad<sup>10</sup>. Estos cambios se manifiestan por la deshidratación del producto, la formación de una costra superficial, con una apariencia de un color dorado, de buena textura y con mucha palatabilidad. Esta costra es la responsable de la crujencia de los productos fritos y juega un papel importante en la absorción de aceite<sup>11</sup>. Los consumidores prefieren los productos fritos por su combinación particular de sabor y textura.

La humedad normalmente presente en el alimento tiene un efecto beneficioso en el aceite, porque la evolución del vapor durante el proceso de fritura causa un tipo de desodorización del aceite. A medida que las burbujas de vapor se escapan, llevan con ellas sustancias volátiles tales como aldehídos y cetonas, las cuales son de esta manera destiladas del aceite. Además el vapor forma una barrera alrededor de la superficie del aceite, inhibiendo el acceso del oxígeno atmosférico.

Algunos alimentos necesitan una protección de la acción del aceite caliente, que se logra recubrién-

Figura 1.  
Esquema de la transferencia de masa y de calor que se produce la fritura en profundidad de un alimento<sup>10</sup>



dolos con una cobertura. Ésta además de disminuir la penetración del aceite en el alimento, protege al aceite de los aromas del alimento, permitiendo su uso reiterado. Para productos cárnicos las coberturas con pan rallado dan buena protección; se usa también una pasta ligeramente fluida hecha con harina, huevos y leche (marinera) o solamente harina.

Los alimentos fritos de mayor consumo son: las papas chips, las papas bastón (*french fries*), los aperitivos, algunos vegetales, pescado, pollo y carne vacuna.

La fritura se realiza en un recipiente denominado freidora, en donde se puede calentar el aceite y sumergir al alimento para su cocción. En restaurantes o similares se usan freidoras pequeñas y en proceso discontinuo. El alimento, por lo general, se coloca en cajas que se sumergen en el baño de aceite. En la industria, donde se procesan grandes cantidades de producto, se usan freidoras continuas en las que el alimento se coloca en una cinta que lo transporta a través del baño de aceite.

La cantidad de aceite en la freidora es importante, ya que el alimento debe quedar cubierto por una capa de al menos 2 cm. La velocidad y la eficiencia del proceso dependen de la temperatura y de la calidad del aceite empleado.

## Aceite de fritura

Las grasas y aceites empleados para freír tienen un rol funcional y sensorial importante. Durante la fritura los aceites se usan repetidamente, a elevadas temperaturas en presencia del oxígeno atmosférico. El calentamiento en presencia de aire causa la conversión parcial de los aceites en productos de escisión volátiles; en derivados oxidados no volátiles y en dímeros, polímeros o compuestos cíclicos. El modo en que se modifican las propiedades del medio de transferencia de calor, puede afectar la calidad de los productos fritos.

Al seleccionar una materia grasa para ser utilizada como medio de fritura, se debe tener en cuenta las siguientes características:

- Composición en ácidos grasos.
- Estabilidad.
- Disponibilidad comercial.
- Cumplimiento de normas reguladoras.
- Precio.

Hasta 1986, se usaron para freír principalmente las grasas de origen animal. Luego, la industria

comenzó a emplear mezclas de grasas vegetales y animales como así también aceites parcialmente hidrogenados.

Los aceites más empleados en fritura son:

- Oliva, canola y manteca de maní cuya característica es el alto contenido en ácido oleico.
- Cártamo, soja, girasol, maíz, sésamo, aceites poliinsaturados usados por considerarse saludables. Los de soja, cártamo, girasol y canola, por lo general, se hidrogenan parcialmente antes de ser usados en fritura.

En la actualidad se están desarrollando aceites alto-oleico en reemplazo de los aceites con alto contenido de ácidos grasos poliélicos. Los de girasol, cártamo y maíz se vio que presentan ciertas ventajas a la fritura en profundidad<sup>12</sup>. Los aceites usados en fritura pueden ser afectados por las siguientes condiciones a las cuales se los somete:

- Período de almacenamiento: comienza tan pronto como es producido el aceite. Durante este tiempo está poco expuesto al aire y se encuentra a temperatura ambiente.
- Período de espera o *standby*: incluye los tiempos durante los cuales el aceite es calentado y enfriado en la freidora en ausencia de alimentos o sea, son los tiempos necesarios para alcanzar la temperatura de fritura y para el enfriamiento, al finalizar la misma. Durante estos períodos está expuesto al aire a elevadas temperaturas.
- Período de fritura: durante éste, el aceite está expuesto a altas temperaturas, al aire y al vapor proveniente del agua del alimento que se está friendo.

La velocidad de formación de los productos de descomposición varía dependiendo del alimento que se fríe, la temperatura, el grado de poliinsaturación del aceite usado, la velocidad de reposición de aceite, el diseño de la freidora y la naturaleza de las operaciones del proceso, el mantenimiento de la freidora, la presencia de luz y el uso de filtros<sup>13,14</sup>. El alimento que se fríe puede influir en las transformaciones del aceite de tres maneras<sup>15</sup>:

- Por la liberación de antioxidantes o prooxidantes al medio de fritura y por la absorción de los antioxidantes o prooxidantes presentes en el aceite.
- Por el efecto catalítico de ciertos grupos funcionales presentes en el alimento o por el efecto de los productos pirolíticos formados durante la fritura en las reacciones secundarias o en los radicales libres presentes en el aceite.

- Por la adsorción/absorción en el alimento de productos de oxidación presentes en el aceite.

## Química del deterioro de aceites

Durante el proceso de fritura, las materias grasas sufren una serie compleja de reacciones tales como autooxidación, polimerización térmica, oxidación térmica, isomerización, ciclación e hidrólisis. En la Figura 2 se muestra un esquema general de las diferentes reacciones responsables de los cambios en la calidad del aceite de fritura.

### Oxidación

Las reacciones de oxidación de los aceites se producen fundamentalmente en los ácidos grasos insaturados de los triglicéridos. El oxígeno atmosférico reacciona con el aceite en la superficie de contacto y ataca a los dobles enlaces y como consecuencia se pueden producir olores desagradables en los aceites.

Es la única reacción química de deterioro que normalmente se desarrolla durante el período de almacenamiento. Algunos metales, tales como el cobre y el hierro, aceleran la oxidación de las grasas y deben ser evitados.

A pesar de existir diferencias entre la alteración oxidativa que se produce a baja y a alta temperatura, la principal vía de obtención de compuestos de oxidación incluye la formación de los hidroperóxidos.

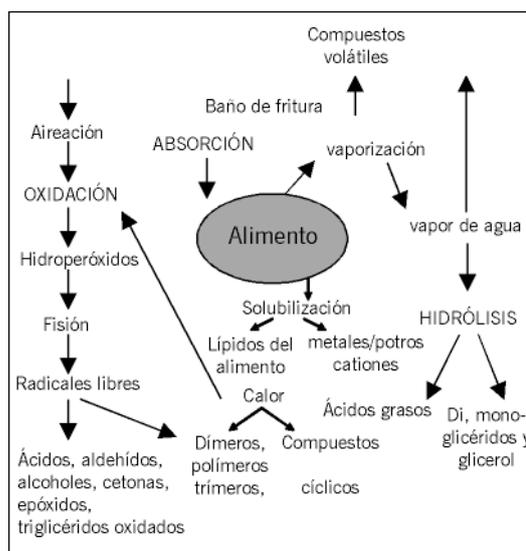


Figura 2. Reacciones que tienen lugar durante la fritura en profundidad<sup>17</sup>

El proceso general de oxidación involucra tres fases, las cuales explican toda la gama de los nuevos compuestos formados<sup>16</sup>:

- Iniciación: substracción de un protón de un grupo metileno adyacente a un doble enlace, formando radicales libres.
- Propagación: los radicales libres originados en la fase anterior reaccionan con el oxígeno atmosférico dando lugar a la formación de peróxidos, los cuales reaccionan con otras moléculas insaturadas para dar hidroperóxidos.
- Terminación: eliminación de los radicales del sistema para formar compuestos estables.

Los hidroperóxidos formados pueden sufrir tres tipos principales de degradación:

- Fisión: donde se producen alcoholes, aldehídos, ácidos e hidrocarburos.
- Deshidratación: que produce cetonas.
- Formación de radicales libres, que originan monómeros oxidados, dímeros y polímeros oxidables, trímeros, epóxidos, alcoholes, hidrocarburos, dímeros no polares y polímeros. Los productos finales estables incluyen compuestos carbonílicos de cadena corta, que son los responsables del sabor rancio y de las reacciones paralelas que conducen a un deterioro generalizado y a la formación de los polímeros.

Durante los períodos de espera (*standby*) y de fritura, el aceite se encuentra a altas temperaturas en presencia de aire por lo que el proceso de oxidación se desarrolla con mayor velocidad. La mayor parte de estos nuevos productos son los responsables de las características del olor desagradable de los aceites usados y de los alimentos fritos.

### **Polimerización**

La formación de polímeros durante la fritura está asociada con el proceso de autooxidación que se produce vía radicales libres. Los hidroperóxidos formados se descomponen rápidamente formando compuestos de bajo peso molecular, favoreciéndose la formación de los compuestos diméricos; a partir de ellos se generan oligómeros de mayor peso molecular. Entre los compuestos que pueden formarse están: triglicéridos cíclicos monoméricos, dímeros y polímeros de triglicéridos<sup>18,19</sup>.

Otros efectos de la polimerización son el espesamiento de los aceites y la formación de un residuo marrón similar a una resina en la superficie de la freidora y en otras superficies expuestas al aceite caliente.

### **Hidrólisis**

Cuando se fríe un alimento en aceite caliente, el vapor de agua proveniente de éste reacciona con los triglicéridos produciendo su hidrólisis, liberando ácidos grasos libres, monoglicéridos, diglicéridos y glicerol. Los triglicéridos que poseen ácidos grasos de cadena corta son más sensibles a la hidrólisis que aquellos que tienen cadena larga.

Algunos polvos leudantes (productores de burbujas de anhídrido carbónico) presentes en los alimentos que se fríen y restos de álcalis usados para la limpieza de las freidoras, también pueden promover la hidrólisis. Los polímeros formados como resultado de las alteraciones térmicas y oxidativas, producen espuma la cual atrapa a las burbujas de vapor por más tiempo en el aceite y esto también acelera la hidrólisis. Pero el mayor efecto sobre la aceleración de este tipo de reacciones lo ejerce el agua presente en el alimento<sup>17</sup>.

### **Compuestos Polares**

Todas las reacciones mencionadas se originan en las cadenas poliinsaturadas de los ácidos grasos unidos al glicerol, por lo tanto, los compuestos finales estables, son glicéridos modificados y no modificados.

En este sistema tan complejo, se desarrollan aromas y sabores que pueden comunicar características organolépticas agradables o desagradables al alimento frito. El origen se encuentra tanto en la alteración hidrolítica como en la oxidativa. En esta última, por descomposición de los hidroperóxidos se forman compuestos carbonílicos volátiles que tienen olores y sabores característicos<sup>2,20,21</sup>. Los productos volátiles se eliminan parcialmente durante la fritura y los nuevos compuestos no volátiles se acumulan en el aceite a medida que avanza el proceso y se incorporan al alimento<sup>22,23</sup>.

Estos nuevos compuestos formados poseen una polaridad mayor que los triglicéridos no alterados y constituyen los llamados compuestos polares (CP)<sup>24</sup>. Como los triglicéridos se encuentran en una proporción mayor al 95% en la mayoría de los aceites y grasas no calentados, el contenido de compuestos polares indica el grado de deterioro alcanzado por un aceite durante la fritura.

Los compuestos polares se determinan por cromatografía de absorción en columna de sílica gel y el valor obtenido corresponde aproximadamente al total de los compuestos de alteración formados durante la fritura. Esta evaluación presenta dos características principales:

- Es un método objetivo claramente relacionado con la calidad de la grasa. Así a mayor nivel de compuestos polares, menor la calidad.
- Es simple, precisa y reproducible. La eficacia de la separación cromatográfica se puede chequear fácilmente.

En la Tabla 5 se muestra la clasificación de los productos de degradación de acuerdo a su peso molecular y su polaridad relativa.

## Legislación sobre las grasas y /aceites de fritura

Las regulaciones actuales tuvieron su origen en las recomendaciones dadas por la *German Society for Fat Research* (DGF) para limitar la alteración de las grasas de frituras para el consumo humano. En 1973 se estableció el siguiente criterio, basado en el análisis de un elevado número de muestras: Una grasa de fritura está deteriorada si:

- Sin lugar a dudas, el olor y el sabor no son aceptables.
- En caso de dudas del análisis sensorial:
  - La concentración de los ácidos grasos oxidados insolubles en éter de petróleo (OFA) es 1,0%.
  - La concentración de los ácidos grasos oxidados insolubles en éter de petróleo es igual o mayor a 0,7% y el punto de humo es menor a 170°C.

Como se encontró que la cantidad de CP se correlacionó con el contenido de los OFA, en el simposio

de la DGF realizado en 1979 se recomendó la determinación de los CP como un nuevo criterio para el control de las grasas de fritura. Inicialmente se propuso un valor de 27% de CP correspondiente a 0,7% de OFA.

El desarrollo de la metodología para la determinación de los CP fue un mejoramiento analítico que contribuyó a la emergencia de las presentes regulaciones. Este método fue adoptado por la IUPAC<sup>26</sup> para el control de la degradación alcanzada por la grasa/aceite de fritura.

El Código Alimentario Argentino (CAA)<sup>27</sup> contiene disposiciones que regulan la calidad de las materias grasas usadas en fritura. Establece que no pueden emplearse para fritura industrial aceites que contengan más del 2% de ácido linoléico; señala además que deben descartarse cuando la acidez libre alcanza el 1,25% expresada como ácido oleico. No menciona los compuestos polares.

La Administración de Alimentos y Medicamentos de Estados Unidos (FDA) no tiene regulaciones específicas para el control de las grasas de fritura; sin embargo, el Departamento de Agricultura ha establecido guías para la elaboración de carnes fritas. El manual de Inspección de Aves y Carnes del Ministerio de Agricultura indica que grandes cantidades de sedimento y un contenido de ácidos grasos libres mayor al 2% son generalmente indicación de que los aceites o grasas de fritura no son idóneos y deben ser substituidos. También establece las normas para la temperatura y los tiempos de fritura, el uso de antioxidantes y agentes antiespumantes y la limpieza de las freidoras comerciales.

Fracción mayoritaria de la degradación química	Componentes que forman la fracción	Peso molecular aproximado [daltons]
Polímeros (baja polaridad)	Materiales altamente polimerizados	2800-10000
	Trímeros	2800
	Dímeros	1800
Triglicéridos (neutros)	Triglicéridos	900-1000
Productos de degradación (alta polaridad)	Diglicéridos	600
	Monoglicéridos	300
	Ácidos grasos libres, monómeros cíclicos, monómeros no-cíclicos, compuestos volátiles	≤300

Tabla 5. Clasificación de los productos de degradación de los lípidos de acuerdo a su peso molecular y polaridad relativa<sup>25</sup>

En muchos países se estableció un nivel máximo de 25-27% de CP para aceites usados en fritura<sup>25,28-31</sup>. Estos valores se establecieron en función de los niveles de CP encontrados en los aceites cuando se descartan, usando como indicador para el descarte la pérdida de las características organolépticas (color y olor). Por las implicancias económicas que tiene el tiempo de uso de los aceites en la actualidad, los aspectos sensoriales son la práctica habitual para descartar los aceites usados en fritura. Este hecho refleja el interés en el control de las grasas y aceites usados en fritura para mejorar la calidad y las propiedades nutritivas de los alimentos fritos. Un resumen de legislaciones existentes se muestra en la Tabla 6.

### Aspectos toxicológicos de grasas y aceites de fritura

La fritura en profundidad es probablemente uno de los procesos más dinámicos en el procesamiento de alimentos. Tanto la grasa/aceite como el alimento frito, sufren cambios químicos durante el proceso de fritura.

Durante las últimas seis décadas se realizaron muchas investigaciones tratando de entender si el proceso de fritura genera productos tóxicos en el aceite o en el alimento frito y si los aceites calentados y/o sobrecalentados son seguros para el consumo humano. Muchos de estos estudios se realizaron para determinar:

- El efecto sobre la salud y la longevidad de los animales en estudio, así como en sus órganos.
- La utilización alimentaria, la absorción de nutrientes y el patrón de crecimiento de los animales.

Las primeras investigaciones realizadas utilizaron aceites sobrecalentados excesivamente: Roffo<sup>32</sup> calentó varias grasas y aceites a 250-350°C y alimentó 1000 ratas, sus resultados indicaron que en los animales se produjeron carcinomas de estómago. Si bien esos resultados no fueron confirmados por otros investigadores, a partir de ellos la opinión que prevaleció fue que las grasas/aceites calentadas eran perjudiciales para la salud. A pesar de las críticas que recibió Roffo<sup>32</sup> por las drásticas condiciones a que sometió a los aceites, otros investigadores<sup>33-37</sup> continuaron estudiando grasas/aceites calentadas a altas temperaturas o por largos períodos. Los anima-

Tabla 6.  
Regulaciones  
internacionales sobre  
aceites y grasas de  
fritura<sup>27-31</sup>

País	Máxima temperatura de fritura [°C]	Mínimo punto de humo [°C]	Máxima acidez libre [% ácido oleico]	Máximo compuestos polares [%]	Máximo ácidos grasos insolubles en éter de petróleo [%]
Alemania	170	-	-	24	0,7
Argentina	-	170	1,25	-	1
Austria <sup>a</sup>	180	170	-	27	1
Bélgica <sup>a</sup>	180	-	-	25	-
Chile <sup>a</sup>	-	170	-	25	1,0
España <sup>a</sup>	-	-	-	25	-
Finlandia	-	170	-	25	-
Francia <sup>a</sup>	180	-	-	25	-
Holanda	180	-	4,5	-	-
Hungría <sup>a</sup>	180	180	2	<25	-
Islandia	190	-	-	-	-
Italia <sup>a</sup>	180	-	-	25	-
Japón	-	170	2,5	-	-
Portugal	180	-	-	25	-
República Checa	-	-	-	<25	-
Sudáfrica	-	-	-	<25	-

a: Países con leyes y regulaciones específicas para aceites/grasas de fritura.

les alimentados con grandes cantidades de aceites sobrecalentados o sus fracciones tendieron a ganar peso a una menor velocidad con respecto a los que consumieron los aceites frescos o calentados a menor temperatura. Esto fue atribuido a la presencia de compuestos indigeribles (polímeros) formados en los aceites de fritura. En la Tabla 7 se resumen parte de los resultados encontrados en la bibliografía.

Ni en las freidoras industriales ni en los restaurantes se opera en las condiciones drásticas que se sometieron las grasas para los estudios anteriores. El sobrecalentamiento y los resultados biológicos obtenidos no representan la situación real de la industria. Sin embargo, esos estudios estimularon la investigación de las modificaciones de las grasas/aceites que se consumen bajo las condiciones hogareñas y/o industriales de procesamiento.

Lang, *et al.*<sup>38</sup> alimentaron ratas por tres generaciones con aceites frescos y usados (sin y con alimentos, T=175°C), con un nivel de CP de 20-25%, durante 10 años. No encontraron diferencias entre los animales que consumieron los aceites frescos y usados, observando mayor supervivencia en los animales de la segunda generación con ambos aceites. Este estudio nunca fue objetado, y sus conclusiones siguen siendo válidas: "las grasas/aceites calentadas en buenas condiciones industriales no son nocivas para la salud de los animales".

Taylor, *et al.*<sup>39</sup> realizaron sus estudios para determinar si los compuestos mutágenos estaban presentes en los alimentos fritos y el efecto de las condiciones de fritura en la formación de mutágenos. Sus resultados mostraron que éstos no se forman o lo hacen en cantidades muy pequeñas si los aceites no se sobrecalientan. Goethart, *et al.*<sup>40</sup> Tampoco encontraron evidencia

de la presencia de mutágenos en los aceites ni en los alimentos fritos. A partir de estos estudios y otros trabajos<sup>41,42</sup> la creencia de la comunidad científica es que las grasas/aceites calentados, particularmente aquellos que no fueron sobrecalentados, no son un riesgo para la salud. Si bien algunos de los compuestos encontrados en los aceites sobrecalentados son potencialmente mutagénicos, los niveles a los cuales ellos se encuentran son muy bajos y el consecuente efecto sobre la salud se considera nulo.

## Consumo de alimentos fritos

Los alimentos grasos, en especial los alimentos fritos, se consumen mundialmente y las grasas y aceites han sido usados durante siglos por la mayoría de las civilizaciones. En China se consume una pasta frita cuyo nombre se traduce literalmente como "tirita frita" (*rope fried*). La tempura (verduras fritas marinadas) es un producto principal en la cocina japonesa. En la India se consumieron durante centurias productos snack como obleas y granos condimentados fritos. En Estados Unidos los alimentos fritos más populares son las papas en bastón, el pollo, los snacks (como las papas chips y nueces), las rosquillas y las tartas<sup>43</sup>.

En Argentina, según el relevamiento realizado por la consultora LatinPanel, las preferencias más populares son: fideos con carne (76,4% de los hogares), milanesa con ensalada (55,5%) y bife con ensalada (49,9%). Sin embargo, la frecuencia de consumo de las dos últimas combinaciones como plato principal difiere según el nivel socioeconómico del que se trate. En los hogares de clase media y alta, la milanesa con ensalada está presente en 7 de cada 10 mientras

Aceite/grasa	Parámetros tecnológicos	Resultados biológicos	Referencia
Girasol, oliva, grasa y grasa de cerdo	30 min a 350 °C	Tumores en un alto porcentaje de animales de experimentación	Roffo (1938) <sup>32</sup>
Grasa vacuna	120 min a 300 °C	Deficiencia de Vit. E. Disminución del crecimiento, pérdida de peso	Morris, <i>et al.</i> (1943) <sup>33</sup>
Soja, algodón, colza, maní, maíz	275 °C	Pérdida de peso	Cramptom, <i>et al.</i> (1951) <sup>34</sup>
Lino, soja, girasol	250-300 °C	Pérdida de peso y elevada mortalidad	Cramptom, <i>et al.</i> (1956) <sup>35</sup>
Maíz	Oxidado a temperatura ambiente	Disminución del crecimiento	Johnson, <i>et al.</i> (1956) <sup>36</sup>
Algodón	19 h a 225 °C	Disminución de la digestibilidad de los lípidos	Firestone, <i>et al.</i> (1961) <sup>37</sup>

Tabla 7. Resumen sobre los primeros trabajos con aceites calentados y/u oxidados

que en los de menores recursos económicos está en 5 de cada 10 hogares, considerando como referencia una semana<sup>44</sup>.

## El interés de futuros estudios sobre los cambios en los aceites de fritura en Argentina

Las reacciones que generalmente ocurren en las grasas o aceites de fritura son oxidación, polimerización e hidrólisis. A pesar del amplio conocimiento que existe sobre este tipo de reacciones, no es fácil predecir la evolución del comportamiento de una determinada materia grasa empleada como medio de fritura, debido al gran número de variables involucradas.

Los cambios están relacionados con variables del proceso, tales como si el mismo es continuo o discontinuo, la temperatura, el tiempo de fritura y la velocidad de reposición del aceite. El alimento que se fríe influye por su propia composición lipídica y los macro y micronutrientes que contiene. Otro factor que se debe considerar es la relación peso del alimento / volumen de aceite empleado durante la fritura. Finalmente están las variables relacionadas con la materia grasa usada: composición en ácidos grasos, grado de insaturación, calidad inicial, presencia de antioxidantes naturales o sintéticos u otros aditivos.

Existen numerosos estudios sobre el deterioro que sufren los aceites durante el proceso de fritura de papas tipo "french" y "chips". Respecto al estudio de la fritura de productos cárnicos, existen menos investigaciones realizadas<sup>45-50</sup>, lo cual suma interés a cualquier trabajo que se desarrolle sobre el tema.

Determinar el tiempo necesario para que los aceites alcancen su máximo y seguro nivel de deterioro sigue siendo un desafío. El tiempo es una variable que dependerá del método seleccionado y éste deberá estar fundamentado en la determinación de condiciones en las cuales el aceite empleado en fritura no constituya un riesgo para la salud. Existe una marcada necesidad de generar información sobre el comportamiento de las materias grasas empleadas en el proceso de fritura en profundidad y sus efectos nutricionales y toxicológicos.

Será, pues, interesante estudiar los cambios cualitativos y cuantitativos producidos en la materia grasa durante el proceso de fritura industrial y, en el caso de Argentina, será interesante estudiar los cambios en alimentos cárnicos de alto consumo como es algún preparado de carne vacuna y producir datos

confiables de composición de alimentos procesados, a fin de incorporarlos en la Tabla de Composición de Alimentos Nacional y en la base de datos de LATINFOODS.

## Bibliografía

1. Bognár A. Comparative study of frying to other cooking techniques influence on the nutritive value. *Grasas y Aceites* 1998;49(3-4):250-60.
2. Perkins EG, Erickson MD. Volatile and Flavor Components Formed. En *Deep Frying Chemistry, Nutrition and Practical Applications*, Chapter 3, Perkins E.G. and Erickson M.D. (Ed.). AOCS Press, Champaign, Illinois, USA 1996:43-8.
3. Pokorny J. Transformations by cooking of foods. *Atti del Convegno internazionale sugli alimenti montani*. 1996.
4. Varela G, Bender AE, Morton ID. En *Frying of Foods: principles, changes, new approaches*, ed. Varela, Bender, and Morton. New York. VCH Publishers. (1988).
5. Márquez-Ruiz G, Pérez-Camino V, Dobarganes MC. Absorción de grasas termooxidadas. II. Influencia del nivel de alteración y porcentaje de grasa en la dieta. *Grasas y Aceites* 1992;43(4):198-203.
6. Julia Araya. Lípidos. En: *Nutrición y Salud*, ed. Ruz, Araya, Atalah and Soto, Departamento de Nutrición, Facultad de Medicina, Universidad de Chile 1996;45-61.
7. <http://colombiacompite.gov.co/archivos/OLEAGINOSAS.pdf>. Acceso Junio de 2006.
8. Secretaría de Agricultura Ganadería Pesca y Alimentación. <http://www.sagpya.gov.ar/new/Oagricultura/otros/estimaciones/infsoja.php>. Acceso Junio de 2006.
9. Dobarganes MC, Márquez-Ruiz G, Velasco J. Interactions between fat and food during deep fat frying. *European Journal of Lipid Science and Technology* 2000;102(8-9):521-8.
10. Mellema M. Mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried foods. *Trends in Food Science & Technology* 2003;14:364-73.
11. Kochhar SP, Gertz C. New theoretical and practical aspects of the frying process. *European Journal of Lipid Science and Technology* 2004;106(11):722-727.
12. Sakurai H, Yoshihashi T, Nguyen HTT, Pokorny J. A New Generation of Frying Oils. *Czech. J Food Sci* 2003; 21(4):145-51.
13. Stevenson S, Vaisey-Genser M, Eskin NAM. Quality control in the use of deep frying oils. *J Am Oil Chem. Soc* 1984;61(6):1102-8.
14. Paul S, Mittal GS. Dynamics of fat/oil degradation during frying based on physical properties. *J Food Process Eng* 1996;19:201-221.

15. Pokorny J. Effect of substrates on changes of fats and oils during frying. *La Rivista Italiana Delle Sostanze Grasse* 1980, LVIII:222-225.
16. Márquez-Ruiz G, Pérez-Camino V, Dobarganes MC. Evaluación nutricional de grasas termooxidadas y de fritura. *Grasas y Aceites* 1990;41(6):432-9.
17. Moreira RG, Castell-Perez ME, Barrufet MA. Frying Oil Characteristics. En: Deep-Fat Frying, Fundamentals and Applications. Aspen Publishers, Inc. Gaithersburg, Maryland 1999;33-74.
18. Dobarganes MC, Márquez-Ruiz G. Dimeric and Higher Oligomeric Triglycerides en Deep Frying, Chemistry, Nutrition and Practical Applications, Chapter 5, E.G. Perkins and M.D. Erickson (Ed.), AOCS Press, Champaign, Illinois 1996:89-111.
19. Romero A, Cuestas C, Sánchez-Muniz FJ. Cyclic Fatty Acid Monomers and Thermoxidative Alteration Compounds Formed During Frying of Frozen Foods in Extra Virgin Olive Oil. *J Am Oil Chem Soc* 2000; 77(11):1169-75.
20. Nawar WW. Volatile components of the frying process. *Grasas y Aceites* 1998;49(3-4):271-4.
21. Nawar WW. Lipids. En Food Chemistry, Fenema, O.R. (ed), Marcel Dekker, New York 2000:225-319.
22. Masson L, Robert P, Romero N, Izaurieta M, Valenzuela S, Ortiz J, Dobarganes MC. Comportamiento de aceites poliinsaturados en la preparación de patatas fritas para consumo inmediato: formación de nuevos compuestos y comparación de métodos analíticos. *Grasas y Aceites* 1997;48(5):273-81.
23. Masson L, Robert P, Izaurieta M, Romero N, Ortiz J. Fat deterioration in deep fat frying of "french fries" potatoes at restaurant and food shop sector. *Grasas y Aceites* 1999; 50(6):460-468.
24. Dobarganes MC, Perez-Camino MC, Márquez-Ruiz G. Determinación de compuestos polares en aceites y grasas de fritura. *Grasas y Aceites* 1989; 40(1):35-38.
25. Paul S, Mittal GS. Regulating the Use of Degraded Oil/Fat in Deep-Fat/Oil Food Frying. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 1997;37(7):635-662.
26. IUPAC. (1987). Standard methods for the analysis oils and fats and derivates. 7th edition, Pergamon Press, Oxford, England.
27. Código Alimentario Argentino (CAA). [http://www.alimentosargentinos.gov.ar/0-3/programa\\_calidad/Marco\\_Regulatorio/CAA/CAPITULOVII.htm](http://www.alimentosargentinos.gov.ar/0-3/programa_calidad/Marco_Regulatorio/CAA/CAPITULOVII.htm). Acceso Diciembre de 2006.
28. Firestone D, Stier R, Blumenthal M. Regulation of Frying Fats and Oils. *Food Tech* 1991;45:90-94.
29. Firestone D. Regulation of Frying Fat and Oil. En Deep Frying Chemistry, Nutrition and Practical Applications, Chapter 19, Perkins E.G. and Erickson M.D. (Ed.). AOCS Press, Champaign, Illinois, USA 1996: 323-334.
30. Firestone D. Regulatory Requirements for the Frying Industry. En Frying Technology and Practices, Chapter 12, Gupta, M.K., Warner, K., and White, P.J. (Ed.). AOCS Press, Champaign, Illinois, USA 2004:200-216.
31. Reglamento Sanitario de los Alimentos. Ministerio de Salud. Diario Oficial de la República de Chile, Mayo, 1997; D.S. N° 977.
32. Roffo AH. The Carcinogenic Action of Oxidized Vegetable Oils. *Biol. Inst. Med. Exp.* 1938, 21:1-134. En Frying Technology and Practices, Chapter 11, Gupta, M.K., Warner, K. and White P.J (Ed.). AOCS Press, Champaign, Illinois, USA2004.:178-99.
33. Morris HP, Lassen CD, Lipponcott JW. Effects of Feeding Heated Lard to Rats. Histological Description of Lesions Produced. *J. Natl. Cancer Inst.*, 1943; 4:285. En Frying Technology and Practices, Chapter 11, Gupta, M.K., Warner, K. and White P.J (Ed.). AOCS Press, Champaign, Illinois, USA 2004:178-199.
34. Crampton EW, Common RH, Farmer FA, Wells AF, Crawford D. Studies to determine the nature of the damage to the nutritive value of some vegetable oil from heat treatment III. The segregation of toxic and nontoxic material from the esters of heat-polymerized linseed oil by distillation and by urea adduct formation. *J. of Nutrition* 1953; 49:333-346. En Frying Technology and Practices, Chapter 11, Gupta, M.K., Warner, K. and White P.J (Ed.). AOCS Press, Champaign, Illinois, USA 2004:178-199.
35. Crampton EW, Common RH, Pritchard ET, Farmer FA. Studies to determine the Damage to the Nutritive value of Some Vegetable Oils form Heat Treatment. *J. Nutrition* 1956; 60:1,13-24. En Frying Technology and Practices, Chapter 11, Gupta, M.K., Warner, K. and White P.J (Ed.). AOCS Press, Champaign, Illinois, USA 2004:178-99.
36. Johnson OC, Sakaragi T, Kummerow FA. A Comparative Study of the Nutritive Value of Thermally Oxidized Oils. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 1956; 33:433-435. En Frying Technology and Practices, Chapter 11, Gupta, M.K., Warner, K. and White P.J (Ed.). AOCS Press, Champaign, Illinois, USA 2004:178-99.
37. Firestone D, Horwitz W, Friedman L, Shue GM. Heated Fats I. Studies of the Effects of Heating on the Chemical Nature of Cottonseed Oil. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 1961; 38:253-257. En Frying Technology and Practices, Chapter 11, Gupta, M.K., Warner, K. and White P.J (Ed.). AOCS Press, Champaign, Illinois, USA 2004: 178-99.
38. Lang K, Billek G, Fuhr J, Henschel J, von Jan E, Scharman H, Strauss HJ, Unbehend M, Waibel J. Ernährungsphysiologische Eigenschaften von Fritierfetten. *U. Ernährungswiss* 1978; Supplement 21:1-61. En Frying Technology and Practices, Chapter 11, Gupta, M.K., Warner, K. and White P.J (Ed.). AOCS Press, Champaign, Illinois, USA 2004:178-99.
39. Taylor SM, Berg CM, Shoptaugh NH, Traisman E. Mutagen Formation in Deep-Fat Fried Foods as a

- Function of Frying Conditions. *J. Am Oil Chem. Soc.* 1983;60: 576-80. En *Frying Technology and Practices*, Chapter 11, Gupta, M.K., Warner, K. and White P.J (Ed.). AOCS Press, Champaign, Illinois, USA 2004:178-99.
40. Goethart RLD, Hoekman H, Sinkeldam EJ, van Gameerdt LJ, Hermus RJJ. Cooking in Oils: The Stability of Frying Oils with a High Linoleic Acid Content. *Voeding* 1985; 46:300-306. En *Frying Technology and Practices*, Chapter 11, Gupta, M.K., Warner, K. and White P.J (Ed.). AOCS Press, Champaign, Illinois, USA 2004: 178-99.
  41. Hageman G, Kikken R, ten Hoor F, Kleinjans J. Mutagenicity of Deep Frying Fat, and Evaluation of Urine Mutagenicity in Man After Consumption of Fried Potatoes, *Food Chem Toxicol*, 28: 75-80. En *Frying Technology and Practices*, Chapter 11, Gupta, M.K., Warner, K. and White P.J (Ed.). AOCS Press, Champaign, Illinois, USA 1990:178-99.
  42. Márquez-Ruiz G, Dobarganes MC. Nutritional and Physiological Effects of Used Frying Fats. En *Deep Frying: Chemical, Nutrition and Practical Applications*, ed. E.G. Perkins and Erickson M.D., AOCS Press Champaign, IL. (1996).
  43. Stier RF. Toxicology of Frying Fats and Oils. En *Frying Technology and Practices*, Chapter 11, Gupta, M.K., Warner, K. and White P.J (Ed.). AOCS Press, Champaign, Illinois, USA 2004: 178-199.
  44. <http://www.conicet.gov.ar/NOTICIAS/ACTUALIDAD/2006/enero/031.php>. Acceso Marzo de 2006.
  45. Smith LM, Clifford AJ, Hamblin CL, Creveling RK. Changes in physical and chemical properties of shortenings used for commercial deep-fat frying. *J. Am Oil Chem. Soc* 1986;63(8):1017-23.
  46. Al-Hardi MM, Al-Kahtani Hassan A. Chemical and biological evaluation of discarded frying palm oil from commercial restaurants. *Food Chemistry* 1993; 48:395-401.
  47. Ammu K, Raghunath MR, Sankar TV, Laalitha KV, Devadasan K. Repeated use of oil for frying fish. Effects of feeding the fried fish to rats. *Nahrung* 2000; 5(S):368-72.
  48. Bastida S, Sánchez-Muniz FJ. Thermal oxidation of olive oil, sunflower and a mix of both oils during forty discontinuous domestic fryings of different foods. *Food Sci Tech Int* 2001;7(1):15-21.
  49. Bastida S, Sánchez-Muniz FJ, Trigueros G. Aplicación de un test colorimétrico al estudio del rendimiento y vida útil en fritura de alimentos precocinados y frescos de aceite de oliva, aceite de girasol y su mezcla. *Grasas y Aceites* 2003;54(1):32-40.
  50. Juárez, MD., Masson, L., Sammán, N. (2005). Deterioro de aceite de soja parcialmente hidrogenado empleado en la fritura de un alimento cárnico. *Grasas y Aceites*,56(1):53-8.