

4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

4.1 Proceso de freído

El proceso de freído se ha realizado, tanto en restaurantes y establecimientos como en la industria alimenticia, durante años, como un método de cocción que resulta en alta palatabilidad de los alimentos. El papel de los aceites en el freído es importante, pues sirven como medio de transferencia de calor al mismo tiempo que contribuyen con factores de calidad como la textura y sabor característicos del alimento (Tseng *et al.*, 1996). Sin embargo, las altas temperaturas y los largos periodos de tiempo durante el freído pueden producir compuestos dañinos en grasas y aceites, así como un producto con calidad sensorial inaceptable.

El freído es un proceso de cocción de alimentos que resulta de la inmersión de éstos en grasa o aceite que tiene una temperatura de entre 150 y 200°C. Durante el freído, ocurren dos mecanismos de transferencia de calor: conducción y convección. La conducción inestable se realiza en el alimento sólido y depende de las propiedades físicas y la magnitud del material. Inicialmente el material alcanza temperaturas

superiores al punto de ebullición del agua debido a la presencia de solutos. Cuando inicia el burbujeo del aceite, aumenta la temperatura del alimento hasta acercarse a la temperatura del medio. La convección ocurre entre el aceite y la superficie del alimento. Continuamente hay producción de burbujas, lo cual, al provocar turbulencia en el medio, favorece la transferencia de calor; sin embargo, la espuma formada disminuye la velocidad de transferencia de calor. Hay dos mecanismos que ocurren durante el freído: evaporación continua del vapor de agua, donde domina la transferencia de calor; y evaporación decreciente, donde domina la difusión de agua del interior del alimento hacia la superficie (Vélez y Hernández, 1999).

La primera fase del proceso de freído involucra la transferencia de humedad. En el momento en que ocurre la inmersión del alimento en el aceite, el flujo de calor ocurre del medio de freído a la superficie del alimento. Debido a la transferencia de calor el agua de la superficie se evapora y escapa al medio de freído, y el agua del interior del alimento migra hacia la superficie.

En la segunda fase ocurre la transferencia de aceite. El agua que sale a la superficie deja poros y capilares vacíos que son ocupados después por el aceite. La velocidad de entrada del aceite en el alimento depende de la viscosidad y de la tensión superficial del aceite. 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 de palatabilidad más importantes. En la última fase la parte más interna del alimento se

cuece, debido a la penetración de calor, más que a la absorción de aceite (Paul y Mittal, 1997).

4.1.1 Factores que afectan la penetración y la absorción de aceite en el alimento.

De acuerdo a Paul y Mittal (1997), los factores más importantes en penetración y absorción de aceite son los siguientes:

La geometría del alimento: la penetración del aceite depende en gran parte de la relación entre el área y el volumen del alimento. Una papa a la francesa contiene alrededor de 13.5% de aceite, a diferencia de una papa “chip” frita, que contiene hasta 40%, ya que la superficie de esta última es de 10 a 15 veces mayor.

La viscosidad del aceite de freído: es un factor importante, mientras mayor sea la viscosidad del aceite, mayor será el volumen de aceite en el alimento freído.

Gravedad específica del alimento: de manera general, un aumento en la gravedad específica del alimento significa un aumento en el contenido de humedad y, como consecuencia, una mayor cantidad de vapor que reduce el tiempo de contacto entre el aceite y el alimento. Lo anterior da como resultado una mayor absorción de aceite por parte del alimento.

Tipo de alimento: influye en la cantidad de aceite absorbido, debido a que las características de textura, porosidad y orientación de espacios capilares, entre otros, son diferentes para cada alimento.

Temperatura del medio de freído: la absorción de aceite disminuye con temperaturas mayores a 180-200°C, sin embargo, esta temperatura no es usada comúnmente en freído.

Tiempo de freído: la absorción de aceite aumenta con largos periodos de tiempo de freído.

4.1.2 Freído de papas a la Francesa

Las papas a la francesa son originarias de Bélgica y surgieron como sustituto de pescado frito tras la escasez de éste durante un invierno severo. En su estructura se visualizan dos regiones: una costra crujiente de 1 a 2 mm de espesor, donde se localiza la mayor parte del aceite, y una miga suave en la parte interior. Después de la selección, lavado, pelado, cortado y deshidratación de las papas, el proceso de freído se realiza por lotes en dos etapas, la primera para cocinar y la segunda para formar la costra. La primera freída generalmente es a 160°C durante 1 a 2.5 minutos, mientras que en la segunda la temperatura llega a 190°C y se mantiene hasta lograr el término crujiente deseado. La

mayoría de las papas a la Francesa están congeladas y requieren sólo un proceso de freído. El contenido de aceite en papas a la Francesa oscila entre 10 y 15%. Las papas a la Francesa crudas miden de 9.5 a 12.7 mm de ancho por 60 a 140 mm de largo. Después del freído el espesor de las papas puede aumentar hasta 65% de su tamaño en forma cruda. La composición de las papas también cambia; su contenido de humedad es de 44.7%, el de proteínas de 4.3%, 13.2% de grasa, 36% de carbohidratos y 1.8% de cenizas (Moreira *et al.*, 1999).

En 1983, Ohlson encontró que la absorción de grasa en papas se incrementaba por un mayor porcentaje de ácidos grasos libres y el tiempo de contacto entre el aceite y el alimento, además, que la absorción de aceite era mayor cuanto mayor era el tiempo de uso del aceite.

4.2 Deterioro de grasas y aceites

4.2.1 Degradación de grasas y aceites

Los aceites sufren cambios químicos que no solamente reducen su valor nutritivo, sino que además producen olores y sabores indeseables en los alimentos freídos en ellos. Estos cambios se clasifican en: lipólisis o rancidez hidrolítica y autoxidación o rancidez

oxidativa. La lipólisis es catalizada por lipasas y, en el caso del freído, por las altas temperaturas utilizadas, que, en presencia de agua, generan la hidrólisis del enlace éster de los triacilglicéridos y de los fosfolípidos, formando ácidos grasos libres, que son mucho más sensibles a la autooxidación que en forma esterificada.

La autooxidación es la forma más común de deterioro en grasas y aceites y ocurre cuando se oxidan los ácidos grasos insaturados, otorgando a la grasa un olor a oxidado. Esta reacción ocurre más rápidamente en aceites que tengan un alto contenido en ácidos esteárico, oleico, linoleico y linolénico, siendo mayor en los dos últimos, debido a que los ácidos grasos con más insaturaciones necesitan menos tiempo para absorber la misma cantidad de gas que los ácidos grasos con menos insaturaciones. Así, los aceites con ácidos grasos con muchas insaturaciones se oxidan más rápido (Badui, 2006).

La oxidación lipídica o autooxidación no se puede evitar completamente, ya que al producirse el primer radical libre durante la fase de iniciación la reacción no se detiene. Los radicales libres formados atacan a otra molécula de grasa convirtiéndola en un peróxido, que es también un radical libre con posibilidades de seguir atacando a otras moléculas de grasa hasta llegar a la fase de terminación, en la que se producen características de olor y sabor desagradables (S/a, 2009).

Durante la autooxidación se producen compuestos que además de mantener la reacción, la aceleran, sintetizando los compuestos que otorgan el olor rancio a las grasas oxidadas. Los factores que influyen en esta reacción son las altas temperaturas, metales como el Cu y el Fe, peróxidos de grasas oxidadas, la enzima lipoxidasa, la presión de

oxígeno, la luz y las poliinsaturaciones de los aceites, así como la distribución de los lípidos en el alimento.

Los hidroperóxidos interactúan con otras moléculas presentes, se polimerizan aumentando la viscosidad del medio de freído; se oxidan y generan epóxidos, aldehídos, cetonas, ácidos y compuestos de bajo peso molecular que otorgan olores rancios. Las reacciones que pueden llevarse a cabo durante la autoxidación no actúan de la misma manera: el índice de peróxidos hace una campana de Gauss, pero la viscosidad, la degradación y la generación de olores rancios siempre aumenta, por lo que para determinar el grado de degradación de un aceite es necesario hacer más de una prueba.

La velocidad de reacción se incrementa con un aumento en 15°C de temperatura; la presencia de peróxidos producidos por grasas oxidadas también acelera la reacción, por lo que no es recomendable mezclar un aceite nuevo con uno ya oxidado.

Debido a su naturaleza no polar, el aceite extrae los pigmentos y las vitaminas liposolubles de los alimentos freídos, al mismo tiempo que los vuelve más sensibles al calor y al oxígeno. Como resultado, hay un aumento en la viscosidad y los ácidos grasos libres del aceite de freído conforme se usa. Es por esto que las características que debe tener el aceite fresco utilizado son: índice de yodo < 100, índice de peróxido < 1.0, ácidos grasos libres < 0.05%, mínimo de 20 horas de AOM (Método Oxígeno Activo) y punto de humeo de 200°C, entre otros (Badui, 2006).

El deterioro del aceite depende de varios factores: el tipo de proceso de freído, la temperatura, la intermitencia entre enfriar y calentar, el grado de insaturación del aceite utilizado, el alimento, la luz, el mantenimiento del equipo de freído y el uso de filtros (Paul y Mittal, 1996).

Perkins (1960) describió los tres tipos principales de degradación de las grasas y aceites: autooxidación por temperaturas mayores a 100°C; polimerización térmica, a temperaturas entre 200 y 300°C en ausencia de oxígeno; y oxidación térmica con temperaturas alrededor de 200°C en presencia de oxígeno.

Los factores que causan los cambios en la estructura del aceite durante el freído y, por lo tanto, su degradación, son: la humedad del alimento, que da lugar a alteraciones hidrolíticas; el oxígeno atmosférico, que entra al aceite produciendo reacciones oxidativas; las altas temperaturas (mayores a 90°C), que causan alteración térmica; y la contaminación por ingredientes del alimento (Tseng *et al.* 1996).

Gere (1982) encontró que se producen más de 400 compuestos químicos en grasas o aceites deteriorados por exposición a 160-180°C en presencia de aire y humedad. Muchos de estos productos de degradación son perjudiciales para la salud humana, ya que destruyen vitaminas, inhiben enzimas y pueden llegar a causar mutaciones o irritaciones gastrointestinales (Clark y Serbia, 1991). Los compuestos que son dañinos para la salud son los peróxidos, los radicales libres que se producen durante su formación y propagación, los malonaldehídos y algunos productos de oxidación de colesterol (Addis, 1986). Los peróxidos son un indicador de la rancidez oxidativa.

Paul y Mittal (1996), concluyeron que a temperaturas elevadas durante el freído, el vapor reacciona con los triglicéridos para formar ácidos grasos libres, monoglicéridos, diglicéridos y glicerol. La oxidación que resulta de la reacción entre el oxígeno atmosférico y la grasa de la superficie del alimento produce hidroperóxidos que pueden causar diferentes tipos de degradación: fisión, que genera alcoholes, aldehídos, ácidos e hidrocarbonos; deshidratación, que produce cuerpos cetónicos; y formación de radicales libres que forman monómeros oxidados, dímeros y polímeros oxidativos, trímeros, epóxidos, alcoholes, hidrocarbonos, dímeros y polímeros no polares.

4.2.2 Métodos para la determinación de la degradación de grasas y aceites

En algunos restaurantes o establecimientos donde se utiliza regularmente el freído, los métodos para determinar la vida útil del aceite se basan en el olor, la formación de espuma o el sabor de los alimentos freídos, sin embargo, se debe establecer un tiempo exacto, dependiendo del tipo de aceite, para evitar la producción de peróxidos y, con esto, formación de radicales libres que pueden ser dañinos para la salud.

El punto de humo es el método más sencillo y económico para evaluar la calidad del aceite. Un menor punto de humo representa un mayor contenido de ácidos grasos libres. Estos ácidos no deben estar presentes en un porcentaje mayor a 0.75% en aceite

de soya parcialmente hidrogenado para que la calidad sensorial y la vida útil de papa frita no se afecte (Flores Morales *et al.*, 2001).

Los métodos que se han utilizado para medir la degradación de grasas y aceites son el índice de peróxidos, el índice de acidez, el índice de yodo, la viscosidad, el porcentaje de polímeros y el porcentaje de compuestos carbonilos, entre otros.

Otros métodos aprobados y precisos utilizados por De la Cruz y Huamán, 2009 son:

Porcentaje de compuestos polares: A.O.A.C. (1984) y IUPAC (1987). Es usado para determinar la cantidad de compuestos polares contenidos en una muestra mediante cromatografía en columna de sílica gel.

Medición de ácidos dienoicos conjugados: IUPAC (1987) y A.O.C.S. (1983). Se usa para aceites con numerosas insaturaciones; cuando los ácidos grasos poli-insaturados se oxidan a altas temperaturas, dando como resultado dienos conjugados medibles por absorción ultravioleta a 232 nm.

Cromatografía de gases se usa para la determinación de triglicéridos diméricos, monómeros cíclicos y polímeros totales.

4.2.3 Influencia de la degradación de grasas y aceites en la salud

Las grasas son importantes en el consumo humano, pues aportan 9 kcal/g, más del doble de la energía que otorgan los carbohidratos o las proteínas. Los alimentos freídos son cada vez más consumidos debido a la practicidad, a las características sensoriales y a los requerimientos de energía en la dieta. Sin embargo, un elevado consumo de estos productos puede causar problemas a la salud.

Durante el freído existe formación de polímeros de alto peso molecular. Según algunos estudios estos polímeros no atraviesan la pared intestinal pero sí disminuyen la capacidad de absorción de los nutrientes. Además, los monómeros y dímeros también producidos sí se digieren y resultan tóxicos para la salud del consumidor. Pueden aparecer también compuestos como el benzopireno, benoantraceno y dibenoantraceno, compuestos cancerígenos que afectan al colon, hígado y próstata y que se forman a partir de la ciclación y deshidrogenación del colesterol (Yagüe, 2003).

Las altas temperaturas catalizan reacciones químicas dañinas, como la oxidación y la degradación del aceite. Según estudios, un excesivo consumo de grasas oxidadas, sobre todo si son poliinsaturadas, causa daños a la salud como diarrea, pérdida del apetito, disminución y retraso en el crecimiento, disminución del valor hematocrito, hepatomegalia y daños en células de hígado y riñón (De la Cruz Rodríguez, s/a, en Yagüe, 2003).

Algunos estudios han demostrado que hay relación entre el cáncer de pulmón y la exposición a gases producidos durante dicho proceso (Zhu *et al.*, 2001). En 2008 Kimura *et al.*, estudiaron el efecto citotóxico de los gases producidos durante freído, usando hepatocitos de rata. Para el estudio se usó un sistema modelo con una mezcla de aceite de soya y de canola. El análisis químico indicó que los principales componentes fueron compuestos de carbonilos y se comprobó la actividad citotóxica en hepatocitos normales de ratas. Con un análisis con cromatografía líquida de alta resolución se pudo conocer que las sustancias citotóxicas importantes pueden ser aldehídos volátiles.

Los ácidos grasos poliinsaturados como el linoleico y linolénico, aunque buenos para la salud, son más susceptibles a oxidación y degradación, debido a la facilidad que tienen para formar radicales libres (Flores Morales *et al.*, 2001), por lo que es bueno consumirlos en forma cruda. El ácido oleico, por ser monoinsaturado, requiere más energía para oxidarse (Badui, 2006), resultando mejor que el linoleico o el linolénico para el proceso de freído.

4.2.4 Regulación del uso de grasas y aceites en México

En México, la Norma Oficial Mexicana NOM-187-SSA1/SCFI-2002 contiene las especificaciones para productos fritos de masa, tortillas, tostadas y harinas, así como de los establecimientos donde se procesan. Según esta norma, el uso de los aceites o grasas

usadas durante el freído debe detenerse cuando se presente color obscuro, sabor u olor desagradables y formación de espuma. Las especificaciones químicas permiten un límite máximo de ácidos grasos libres de 2% en aceites y 2.5% en grasas.

La Norma Mexicana NMX-F-252-SCFI-2005 contiene las especificaciones para el aceite comestible puro de soya fresco, entre las que se encuentran: el olor debe ser característico del producto, sin olores extraños o rancios, el sabor debe estar exento de sabores extraños o rancios y su apariencia debe ser la de un líquido transparente y libre de cuerpos extraños a 293 K (20°C). El contenido máximo de ácidos libres debe ser de 0.05%, el color en la escala Lovibond debe ser de 20A-2, 0R y el índice de peróxido menor a 2.0 meq/kg.

La norma mexicana PROY-NMX-F-020-SCFI-2005 establece las especificaciones que requiere la oleína de palma fresca, que incluyen un olor característico, ligero, no desagradable y una apariencia líquida, transparente y libre de cuerpos extraños a 30°C, semisólido graso a temperaturas menores a 15°C. El porcentaje máximo de ácidos grasos libres, como ácido palmítico, debe ser de 0.05% y el índice de peróxido no debe ser mayor a 1.0 meq/kg.

La norma mexicana NMX-F-154-1987 contiene la metodología necesaria para la determinación del índice de peróxido en aceites y grasas vegetales y animales y la NMX-F-051-SCFI-2008 establece los métodos para determinar el índice de p-anisidina en aceites y grasas vegetales o animales.

El índice de peróxido máximo permitido en tortillas o tostadas freídas, que es de 10 meq/kg, lo establece el proyecto de norma PROY-NOM-SSA1-187-2000 y el porcentaje de ácidos grasos libres permitido, de 2% para aceites y 2.5% para grasas, está establecido por la norma oficial mexicana NOM-187-SSA1/SCFI-2002.

4.3 Tipos de grasas y aceites usados en el proceso de freído

La textura y la apariencia son las características más importantes para la aceptación de los alimentos freídos. La calidad de un aceite depende de su contenido de ácidos grasos libres y compuestos polares, que debe ser bajo, así como de su resistencia al deterioro después de uso continuo. La aceptación del producto, en cuanto a sabor y textura, depende del tipo de aceite y del tiempo durante el cual ha sido utilizado (Moreira *et al.*, 1999).

Las grasas y aceites están constituidos principalmente de tri-ésteres de ácidos grasos de glicerol o triglicéridos. Las grasas son sólidas o semisólidas a temperatura ambiente, mientras que los aceites son líquidos. Algunos aceites son el de canola, maíz, algodón, soya y girasol (Lawson, 1995).

El aceite de algodón se obtiene por extracción mecánica y disolventes. Contiene muy pocos ácidos linolénicos, por lo que es altamente estable en el proceso de freído. Su

índice de yodo es de 99-119, el contenido de ácidos grasos libres máximo es de 0.05%, el valor de peróxidos al envasar es de 2.0 meq/kg de aceite como máximo y su estabilidad AOM es de 15 a 25 horas (Aniame, 2009).

El aceite de cacahuete también es usado para freír debido a su estabilidad. Se obtiene por prensado y por extracción con disolventes. Contiene 0.1% máximo de ácidos grasos libres, un valor máximo de peróxidos al envasar de 2.0 meq/kg de aceite y una estabilidad AOM de 25 horas (Aniame, 2009).

Otro aceite que se emplea comúnmente para freír es el de canola. Éste se obtiene de semillas de algunas variedades de nabo. Tiene bajo contenido en ácidos grasos saturados, 0.05% máximo de ácidos grasos libres, valor de peróxidos de 2 meq/kg de aceite y estabilidad AOM de 7 horas como mínimo (Aniame, 2009).

El aceite de cártamo se obtiene por extracción mecánica o disolventes, es alto en ácido linoleico y estable en el proceso de freído. Su contenido de ácidos grasos libres máximo es de 0.05%, su valor de peróxidos al envasar es de 2.0 meq/kg de aceite y su estabilidad AOM es de 10 horas (Aniame, 2009).

El aceite de girasol se ha utilizado durante muchos años en el proceso de freído debido a su estabilidad. Se obtiene de la semilla de girasol mediante extracción mecánica y disolventes. Contiene 0.05% de ácidos grasos libres y 2.0 meq de peróxidos/kg de aceite. Su estabilidad AOM es de 10 horas. Las semillas de girasol contienen aproximadamente 40% de aceite y 25% de proteína. El aceite de esta semilla

contiene alrededor de 4% de fosfolípidos, es rico en ácido linoleico y, por lo tanto, es fácilmente oxidable (Calvo, s/a).

El aceite de palma se obtiene del fruto de la palma por extracción mecánica y su producción mundial ocupa el segundo lugar después del aceite de soya. El contenido de ácidos grasos libres, como ácido palmítico, es de 0.05% y el valor de peróxidos no difiere de los aceites anteriores. Su estabilidad AOM puede llegar a ser de más de 50 horas (Aniame, 2009).

Uno de los aceites más usados en el proceso de freído es el de soya. Contiene un máximo de 0.05% de ácidos grasos libres, como ácido oleico; un valor de peróxido máximo 2.0 meq/kg de aceite y una estabilidad AOM de mínimo 10 horas. Está compuesto por triglicéridos. La mayoría de sus ácidos grasos, principalmente oleico y linoleico, son insaturados (Flores Morales *et al.*, 2001).

Olestra es un sustituto de grasa que puede ser usado para cocinar, se conoce como poliéster de sacarosa o mezcla de hexa-, hepta- y octa-ésteres que se forman de la reacción entre ácidos grasos con sacarosa (Rolls *et al.* 1992). Olestra tiene el mismo comportamiento que algunas grasas al ser sometida a altas temperaturas y es muy estable, por lo que puede usarse para reemplazar aceites comestibles en el freído de papas; tiene propiedades físicas y químicas similares a los triglicéridos, pero, a diferencia de éstos no aporta calorías a la dieta (Moreira, *et al.*, 1999).

En este trabajo los aceites utilizados fueron el aceite de soya y la oleína de palma debido a su estabilidad conocida durante el proceso de freído y a las recomendaciones realizadas por la industria AAK.