



IMPORTANCIA DE LAS GRASAS Y ACEITES EN LA DIETA Y LOS EFECTOS DE LA OPERACIÓN DE FRITURA SOBRE LA INOCUIDAD DE LOS ALIMENTOS

IMPORTANCE OF FATS AND OILS IN THE DIET AND THE EFFECTS OF THE FRYING OPERATION ON FOOD SAFETY

Sandra Lorena Blandón Navarro ^{1*}

(recibido/received: 26-mayo-2022; aceptado/accepted: 24-junio-2022)

RESUMEN: Las grasas y aceites forman parte importante de la dieta diaria. Los ácidos grasos desempeñan funciones biológicas y la ingestión de una proporción adecuada de omega-6/omega-3 puede contribuir con una condición saludable. El presente artículo es una revisión de las implicaciones para la salud relacionadas con la ingestión de ácidos grasos insaturados, saturados y trans. Además, se describen los parámetros que afectan a la toxicidad y la seguridad de los aceites y grasas debido a los procesos industriales. Asimismo, se indagó sobre las sustancias tóxicas que pueden formarse durante el calentamiento de los aceites y los efectos de su consumo para el organismo humano. A partir de esto, se recomienda que durante el proceso de fritura se controle la temperatura para llevar a cabo la operación por debajo de 170 °C. También se sugiere la retirada de los restos de alimentos de los recipientes usados en la fritura y del aceite de reuso. Para prevenir la inhalación del humo generado durante el proceso de fritura se recomienda la instalación de dispositivos de ventilación y extractores, de manera de contribuir con la disminución de los riesgos para la salud de las personas.

PALABRAS CLAVE: lípidos; toxicidad de aceites; acrilamida; acroleína

ABSTRACT: Fats and oils are an important part of the daily diet. The fatty acids perform biological functions and its ingestion in an adequate omega-6/omega-3 ratio can contribute to a healthy condition. This article is a review of the health implications related to the ingestion of unsaturated, saturated and trans fatty acids. In addition, the parameters that affect the toxicity and safety of oils and fats due to industrial processes are described. Likewise, the toxic substances that can be formed during the heating of the oils and the effects of their consumption on the human body were researched. From this, it is recommended that during the frying process the temperature should be controlled to carry out the operation below 170 °C. The removal of food scraps from the

¹ Profesora titular, Universidad Nacional de Ingeniería, Sede Regional UNI Norte, Estelí, Nicaragua. *Autora para correspondencia, email: sandra.blandon@norte.uni.edu.ni

containers used in frying and from the reuse oil is also suggested. To prevent the inhalation of smoke generated during the frying process, the installation of ventilation devices and extractors is recommended, in order to contribute to the reduction of risks for human health.

KEYWORDS: lipids; toxicity of oils; acrylamide; acrolein;

ABREVIATURAS:

AGE: Ácidos grasos esenciales

AGM: Ácidos grasos monoinsaturados

AGS: Ácidos grasos saturados

AGT: Ácidos grasos trans

HAPs: Hidrocarburos aromáticos policíclicos

LDL: Lipoproteínas de baja densidad

TAG: Triacilglicerol

VLDL: Lipoproteínas de muy baja densidad

OMS: Organización Mundial de la Salud

INTRODUCCIÓN

Los lípidos son reconocidos por su importancia biológica debido a las funciones que desempeñan en los organismos vivos como la protección de órganos y reserva de energía. Asimismo, son importantes desde el punto de vista nutricional por las calorías que aportan y por servir de medio de transporte de las vitaminas liposolubles, además los lípidos influyen en las propiedades sensoriales de los alimentos. No obstante, según Kitts (2005) el nivel de grasa ingerida puede representar un promotor o iniciador de algunas condiciones adversas que son un peligro para la salud.

Por otro lado, los procesos agroalimentarios impactan en las propiedades físicas y químicas de los lípidos. Así, el sobrecalentamiento de grasas y aceites conduce a su degradación. Según Marques et al. (2009) la degradación de aceites y grasas puede ser consecuencia de las reacciones de oxidación, hidrólisis, polimerización, pirólisis, absorción de olores y sabores extraños. Esto puede conducir a cambios indeseados en las propiedades sensoriales, además de representar un riesgo para la salud del consumidor por las sustancias tóxicas que se pudieron producir.

Para la elaboración del presente artículo de revisión se formularon las siguientes preguntas de investigación: ¿Qué recomendaciones hay en relación a la ingesta de los diferentes tipos de ácidos grasos? ¿Cuál es la mejor proporción de omega-3/omega-6 que se recomienda para tener una dieta saludable? ¿Cómo impacta la operación de fritura en la inocuidad del producto? ¿Qué parámetros se deben monitorear para contribuir con la producción de alimentos más seguros para los consumidores?

Por consiguiente, la finalidad de la presente revisión es presentar los estudios que describen la relación entre la ingesta de ácidos grasos y la salud. Asimismo, recopilar los parámetros a tomar en cuenta para asegurar la inocuidad de los alimentos fritos, dada la importancia que tienen para la dieta de los latinoamericanos.

La presente es una investigación descriptiva, con un enfoque documental. Por ello se realizó búsqueda de información utilizando Google Académico para localizar artículos científicos, además se usó el Sistema Integrado de Bibliotecas (SIBI) del Programa para el Fortalecimiento de la Información para la Investigación (PERI-Nicaragua) para acceder a las bases de datos internacionales, de manera que el contenido revisado sea oportuno y relevante para dar respuesta a las cuestiones planteadas en el presente artículo.

DESARROLLO

Ingestión de ácidos grasos y los efectos sobre la salud

Las grasas son importantes en la dieta como fuente primaria de energía, ácidos grasos esenciales (AGE) y vitaminas liposolubles. Por otra parte, las grasas de la dieta aportan importantes cualidades organolépticas a los alimentos y proveen una fuerte señal de saciedad en el consumidor. Al mismo tiempo es válido resaltar que las grasas son un componente principal de las membranas celulares (Kitts, 2005). Según Chang et al. (2009) el cerebro humano es casi un 60 % de grasa. De esta manera, la inclusión de alimentos que contienen ácidos grasos determina la integridad y la capacidad del cerebro. Los AGE (omega-3 y omega-6) son necesarios para mantener una salud óptima, pero el cuerpo no los puede sintetizar y deben obtenerse de los alimentos.

Los AGE son ácido linoleico (LA), alfa-linolénico (ALA), araquidónico (AA), eicosapentaenoico (EPA) y docosahexaenoico (DHA). El ácido linoleico y alfa-linolénico pueden estar presentes en aceites vegetales, Cxs 210-1999 (FAO/WHO, 2021). El ácido araquidónico se encuentra en las carnes y el ácido eicosapentaenoico y docosahexaenoico se puede encontrar en la grasa de los peces.

Los triacilgliceroles son la estructura molecular predominante de la grasa en la dieta (~95 %) y se componen de tres ácidos grasos esterificados en un esqueleto de glicerol. Las propiedades físicas y bioquímicas de una molécula TAG dependen de la posición que ocupen los ácidos grasos que la componen, la longitud de la cadena de los ácidos grasos, el grado de saturación (número de dobles enlaces) y su configuración (*cis* o *trans*) (Berry et al., 2019).

La ingestión de ácidos grasos saturados (AGS) se ha asociado al aumento del peso corporal, resistencia a la insulina, respuesta glucémica anormal y capacidad inflamatoria del tejido adiposo, además se ha observado que tiene asociación positiva con concentraciones de colesterol en plasma, así como riesgo de enfermedades cardiovasculares. Todo esto sugiere que la ingestión de los AGS debe restringirse a menos del 10 % de la energía total, siendo recomendado que los

grupos de alto riesgo reduzcan su consumo a menos del 7 % de la energía total (Hammad et al., 2016).

En relación a los ácidos grasos monoinsaturados, su ingesta se ha asociado con la reducción del colesterol plasmático y las concentraciones de triglicéridos. Además, modifican el perfil de las lipoproteínas, limitando la formación de trombos (Kitts, 2005). Tomando en cuenta los beneficios de la ingestión de los ácidos grasos monoinsaturados (AGM) encontrados en diversos estudios, Hammad et al. (2016) sugieren que la ingesta de AGM puede ser mayor del 20 % de la energía total.

A su vez, los ácidos grasos poliinsaturados, omega-6 y omega-3 inhiben el aumento de las concentraciones de colesterol total, lipoproteínas de baja densidad (LDL) y lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL) (Kitts, 2005). Sin embargo, Simopoulos (2016) sugiere que la alta ingestión de omega-6 y una proporción alta de omega-6/omega-3 están relacionados con la ganancia de peso en humanos y animales. Además, Chaves et al. (2019) mencionan que una proporción alta de omega-6/omega-3 en la dieta representa un factor de riesgo de enfermedad arterial coronaria, hipertensión, aterosclerosis, accidente cerebrovascular, diabetes mellitus tipo 2, cáncer y otras enfermedades crónicas.

En favor de la ingestión alta de omega-3 se sugiere que ésta disminuye el riesgo de ganancia de peso (Simopoulos, 2016). De esta manera, Simopoulos (2016) señala que proporciones bajas de ácido linoleico (18:2 ω -6)/ácido alfa linolénico (18:3 ω -3) previenen el sobrepeso y la obesidad en animales. Por lo tanto, la proporción de omega-6/omega-3 en razón 1-2/1 podría contribuir en la prevención de la obesidad, junto con la actividad física (Simopoulos, 2016).

Los ácidos grasos insaturados tienen dobles enlaces carbono-carbono (-CH = CH-) y dependiendo de la orientación en el espacio de estos dobles enlaces pueden tener configuración *cis* o *trans* (Valenzuela B, 2008). Los ácidos grasos *trans* (AGT) se encuentran en alimentos de origen animal como la leche, queso, huevos, carne, pescado, mantequilla, y en alimentos elaborados con grasas parcialmente hidrogenadas como manteca vegetal, margarinas o donde se utilicen estos productos como ingredientes (Wanders et al., 2017). Estos autores mencionan que los niveles de AGT en alimentos de origen animal pueden comprender hasta el 6 % del contenido de grasa total, y en los productos industrializados puede ser de hasta el 60 %.

Según Belkacemi et al. (2006), el contenido de AGT de los aceites hidrogenados obtenidos mediante la tecnología industrial (utilizando Níquel como catalizador) es generalmente alto (15 - 30 % de los ácidos grasos totales). El nivel de ingestión de AGT recomendado por la OMS de 1 % de la energía total (Wanders et al., 2017).

La ingestión de ácidos grasos *trans* se ha asociado a un mayor riesgo de desarrollar enfermedades cardíacas, igualmente se ha relacionado al riesgo de cáncer de mama y se ha señalado de que podrían causar neoplasia colorrectal (Kitts, 2005). Wanders et al. (2017) subrayan que la determinación del contenido de AGT a menudo no se incluye en los análisis de rutina de ácidos grasos de los alimentos. Desde esta perspectiva y debido a los riesgos asociados

a la ingestión de AGT, su análisis y reporte en el etiquetado nutricional y en las tablas de composición de alimentos tiene que estar disponible para los consumidores.

Marques et al. (2009) refieren que cuanto más sólida es la grasa vegetal hidrogenada, mayor es la concentración de AGT. Por lo tanto, para reducir la cantidad de AGT se realiza la combinación de hidrogenación parcial e interesterificación química o enzimática. La interesterificación es un proceso que reorganiza los ácidos grasos en el esqueleto de glicerol de una molécula TAG, ya sea de forma aleatoria o específica, lo que confiere un punto de fusión más alto y una estructura cristalina alterada en la grasa interesterificada. La ventaja de este proceso tecnológico es que no genera AGT (Berry et al., 2019).

Influencia del proceso de fritura en el deterioro de aceites y grasas

La oxidación es uno de los principales mecanismos de degradación de aceites y grasas, alterando su calidad sensorial, valor nutritivo, funcionalidad y toxicidad. Esta implica una serie de reacciones en las cuales participan los ácidos grasos insaturados con el oxígeno atmosférico o aquel que pudiera estar disuelto en el aceite (Sousa et al., 2014). Dicha secuencia de reacciones puede ser acelerada por la operación de fritura, pero también puede ocurrir durante el almacenamiento en condiciones inadecuadas del aceite, grasa o alimento rico en grasas.

El proceso de freír alimentos consiste en la inmersión de estos en aceite caliente a temperaturas de 150 °C a 190 °C. Durante este proceso ocurre transferencia simultánea de calor y masa entre el aceite, el alimento y el aire, generando cambios en las propiedades organolépticas del producto final. Así, el aceite para freír actúa como un medio de transferencia de calor e influye en la textura y el sabor de los alimentos fritos (Choe y Min, 2007).

La calidad de los alimentos fritos depende de la calidad del aceite utilizado (Park et al., 2020). Según Marques et al. (2009) tres aspectos son responsables por los cambios que ocurren en los aceites: la humedad de los alimentos (promueve la hidrólisis de triacilglicerol), contacto de aceite o grasa con oxígeno (promueve cambios oxidativos) y la alta temperatura de proceso, alrededor de 180°C, ya que se produce la emisión de humos y la aparición de procesos oxidativos. Estos aceites que han pasado por varios ciclos de calentamiento y en diferentes intervalos de tiempo son llamados como aceites termoxidados (Falade et al., 2015).

Vieira et al. (2017) señalan que la operación de fritura profunda combina altas temperaturas y agua lo que acelera reacciones como la hidrólisis de los triacilglicerol, oxidación de ácidos grasos, isomerización de dobles enlaces y polimerización de ácidos grasos y ésteres de glicerol de ácidos grasos.

Varios productos de la degradación del aceite para freír son dañinos para la salud ya que destruyen vitaminas, inhiben enzimas, pueden causar mutaciones o son irritantes gastrointestinales (Park et al., 2020). A este respecto, caben mencionar los radicales libres y peróxidos, que son productos de la degradación de los aceites y que terminan afectando la salud de las personas que consumen estos productos con frecuencia. Castejon et al. (2010) refieren que “los radicales libres son moléculas inestables, porque sus átomos tienen un número impar de electrones. La ingestión de alimentos con radicales libres puede provocar un proceso degenerativo, como envejecimiento prematuro, artritis, problemas cardiovasculares e incluso

cáncer". Kitts (2005) menciona que los aceites ricos en ácidos grasos insaturados que se exponen a los radicales libres pueden crear reacciones en cadena que propagan el daño celular y contribuyen al envejecimiento de las mismas.

Macri et al. (2019) mostraron a través de resultados experimentales que las ratas alimentadas con una dieta que contenía aceite de girasol oxidado térmicamente no logran ganar el peso y la longitud adecuada. Además, las ratas desarrollan alteraciones en los perfiles de lipoproteínas séricas, la masa ósea y la competencia biomecánica ósea. En estudio previo realizado por Falade et al. (2015) se identificaron alteraciones en los índices bioquímicos en ratas alimentadas con dietas de aceite de palma oxidado térmicamente. Los efectos fueron más pronunciados en ratas alimentadas con dietas de aceite de palma oxidado térmicamente durante 20 minutos.

Si bien los bajos niveles de oxidación no causan problemas, el aceite que se ha reutilizado más allá de su límite de calidad no debe volver a utilizarse debido a su rancidez; sin embargo, es muy difícil establecer límites de uso uniformes para los aceites (Park et al., 2020).

La mayoría de los países de la Unión Europea han establecido un nivel máximo de total de compuestos polares del 25 % (Jiang et al., 2020). Algunos compuestos polares producidos durante la fritura son monómeros, dímeros de triacilgliceroles, triacilgliceroles oxidados y polímeros. Por lo tanto, la determinación de los compuestos polares totales es un análisis reconocido y confiable para monitorear el grado de degradación de los aceites y grasas utilizados en la fritura (Freire et al., 2013).

Jiang et al. (2020) determinaron que el aceite de maíz usado en la fritura de alas de pollo contenía compuestos polares totales del 11.3%, valor superior al del aceite de maíz sin usar, cuyo contenido de compuestos polares totales es del 2.5 %. Con este resultado los autores sugieren que reacciones de termoxidación ocurrieron en el aceite en la temperatura de fritura utilizada (180 °C).

Sebastian et al. (2014) analizaron muestras de aceites para freír frescos, en uso y descartados por restaurantes de Toronto, Canadá. Todas las muestras de aceite en uso y descartadas presentaron valores altos de p-anisidina (p-AV) ($7.6 < p\text{-AV} < 56.5$). Además, los autores sugieren que el 30-35 % de los aceites para freír en uso y el 45-55 % de los aceites descartados no estaban dentro de los niveles aceptables dado que encontraron valores altos de peróxido (mayor de 10 meq/kg) y niveles de ácidos grasos libres (mayor de 1%). El *Codex Alimentarius* establece valor de peróxido de hasta 10.0 meq de oxígeno activo/kg aceite refinado y de hasta 15 meq de oxígeno activo/kg aceite virgen o prensado en frío (FAO/WHO, 2021). El valor de acidez máximo permitido es del 1.0 %, m/m, expresado como ácido oleico (World Food Programme, 2021).

Sousa et al. (2014) a través de evaluación de la estabilidad oxidativa de los aceites de soja y babasú en la fritura de papas cortadas en bastones observaron que los aceites son susceptibles a degradarse a medida que el número de frituras aumenta. Esto fue notado en el aumento del índice de acidez, dado que éste indica la producción de ácidos grasos libres. Los autores reportaron que estos aceites después de diez frituras (2.5 Horas) presentaron índice de acidez cercano a 1%. Este valor está en el límite máximo permitido.

Tadesse Zula y Fikre Teferra (2022) en estudio del efecto de la estabilidad del aceite de palma en la fritura de tilapia (*Oreochromis niloticus*) condujeron sus experimentos con seis ciclos de reutilización del aceite. El reuso del aceite provocó en el pescado frito un aumento de los niveles de peróxido de 0 a 3.94 meq/kg y de los ácidos grasos libres de 0.595 a 4.88 % de la grasa total. Además, Tadesse Zula y Fikre Teferra (2022) determinaron niveles decrecientes de ácidos grasos cis, omega 3, omega 6 y vitamina A en las muestras de pescado frito. Los autores sugieren que esta disminución de los nutrientes esenciales con el aumento de los ciclos de reutilización del aceite, se debe a la destrucción térmica de los ácidos grasos mono y poliinsaturados debido a la presencia de dobles enlaces en su estructura.

Los estudios mencionados indican la necesidad de establecer y normar el número de reusos apropiados del aceite para asegurar la inocuidad de los alimentos fritos. En ese sentido, los esfuerzos han sido dirigidos al establecimiento de normativas en algunos países para limitar los valores máximos permitidos de compuestos polares (de 24 a 27 %), índice de peróxido de 15 meq/kg y acidez (de 1.0 % a 2.5 %, expresado como ácido oleico), además de punto de humo entre 170-180 °C, como en el caso de Austria, Bélgica y Japón (Firestone, 2007).

La regulación de la temperatura en el proceso de fritura figura como un parámetro de proceso para asegurar la inocuidad del alimento, dada su relación con la producción de acroleína y acrilamida. La acroleína es un α , β - aldehído insaturado altamente electrofílico, en dosis bajas inhibe la proliferación celular y puede o no causar apoptosis por toxinas secundarias. En altas dosis conduce a carcinogénesis y muerte celular (Kehrer y Biswal, 2000). La formación de este compuesto es uno de los efectos adversos del sobrecalentamiento grasas vegetales y animales, según Moghe et al. (2015), son fuentes de acroleína los alimentos cocidos, fritos y carbonizados, al igual que la cerveza, el vino, el ron y el pan. La ingesta diaria tolerable de acroleína es 7.5 mg/kg de peso corporal (Moghe et al., 2015).

Los compuestos de carbonilo, como la acroleína, promueven la formación de acrilamida mediante una reacción de Maillard, con aminoácidos como las asparaginas, esto conduce a una disminución del valor nutricional y la inocuidad del alimento (Yasuhara et al., 2003). Gertz y Klostermann (2002) realizaron experimentos para demostrar que se forma acrilamida en el proceso de fritura de papas por el método de fritura profunda. Choe y Min (2007) señalan que la acroleína y los carbonilos formados durante la fritura no son los principales precursores de la acrilamida. Al respecto, Gertz y Klostermann (2002) sugieren que la velocidad de la reacción de Maillard depende de muchas condiciones, siendo las más importantes el rango de temperatura, el pH, el tipo de azúcar y la actividad del agua. Los autores mencionan que la acrilamida es un monómero sospechoso de ser cancerígeno, genotóxico y productor de neuropatía periférica.

Marques et al. (2009) recomiendan para los procesos de fritura que la temperatura del aceite vegetal no supere los 170 °C. A mayores temperaturas se tiene emisión de humos e inicio de procesos oxidativos. Otra sugerencia es que los restos de comida se retiren del recipiente de fritura y del aceite en reuso, además de que no debe haber residuos de detergente ni materiales de limpieza en el recipiente en el que se calentará el aceite. Gertz y Klostermann (2002) recomiendan no utilizar aceites y grasas para freír que contengan silicona (dimetilpolisiloxano, DMPS). También se debe evitar el uso de papas más viejas, que tienen un mayor contenido de

azúcares reductores, para hacer papas fritas, ya que esta medida puede ayudar a minimizar la posible formación de acrilamida y otros compuestos peligrosos para la salud del consumidor.

Dado que los procesos de degradación de aceites y grasas se pueden acelerar por la exposición al aire, la humedad, luz y calor (Sousa et al., 2014), se recomienda que estos productos sean almacenados en envases que los protejan del efecto de estos factores, prolongando de esta manera su vida útil.

Formación de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs) en el humo de aceites calentados

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) son compuestos orgánicos con dos o más anillos de benceno fusionados (Yao et al., 2015). Los HAPs son dañinos para la salud humana y varios de ellos son cancerígenos, mutagénicos y genotóxicos (Jiang et al., 2018). Así, la exposición de dichos compuestos se ha relacionado con un mayor riesgo de cáncer de pulmón (Kitts, 2005).

Chen y Chen (2003) realizaron experimentos de fritura de piernas de pollo a 163 °C, usando aceites de soja, canola o girasol. Los autores reportaron la presencia de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs) en el humo, siendo el aceite de soja con el que se produjo mayor cantidad, seguido de la canola y el girasol.

Yao et al. (2015) identificaron 16 compuestos HAPs en los humos emitidos durante la fritura con aceite de colza, soja, maní y oliva en experimentos realizados bajo una campana extractora de laboratorio. Este hallazgo es relevante debido a que la contaminación del aire en interiores tiene un impacto más sustancial en la salud humana que la contaminación exterior.

A partir de los resultados experimentales, Yao et al. (2015) proponen la necesidad instalar dispositivos de ventilación de humos en todas las cocinas de los hogares, y adoptar medidas de protección entre los operadores de cocina, en aras de disminuir los riesgos por inhalación de los componentes del humo de los aceites de fritura.

CONCLUSIONES

La inclusión en la dieta de la proporción de omega-6/omega-3 en razón 1-2/1 puede desempeñar un papel esencial en el mantenimiento de un estilo de vida saludable. No obstante, se debe tener especial cuidado si se aplica calor a los alimentos ricos en ácidos grasos insaturados, ya que estos participan en las reacciones de oxidación y deterioro de aceites y grasas.

Los hallazgos de los estudios realizados en la temática de la ingestión de aceites y grasas y su uso en la elaboración de frituras pueden contribuir a crear mayor conciencia de los consumidores sobre la salud y la seguridad del consumo de aceites, grasas y alimentos fritos.

Las recomendaciones sobre el control y monitoreo de los parámetros de proceso y condiciones de almacenamiento de los aceites, grasas y frituras son estrategias que pueden ser aplicadas para disminuir los riesgos de exposición y consumo de productos de la degradación de grasas y aceites.

REFERENCIAS

- Belkacemi, K., Boulmerka, A., Arul, J., y Hamoudi, S. (2006). Hydrogenation of Vegetable Oils with Minimum trans and Saturated Fatty Acid Formation Over a New Generation of Pd-catalyst. *Topics in Catalysis*, 37(2–4), 113–120. <https://doi.org/10.1007/s11244-006-0012-y>
- Berry, S. E., Bruce, J. H., Steenson, S., Stanner, S., Buttriss, J. L., Spiro, A., Gibson, P. S., Bowler, I., Dionisi, F., Farrell, L., Glass, A., Lovegrove, J. A., Nicholas, J., Peacock, E., Porter, S., Mensink, R. P., y L Hall, W. (2019). Interesterified fats: What are they and why are they used? A briefing report from the Roundtable on Interesterified Fats in Foods. *Nutrition Bulletin*, 44(4), 363–380. <https://doi.org/10.1111/nbu.12397>
- Castejon, L. V., Delalibera, J. R., y Finzer, F. (2010). Estudo da transferência de massa no processo de fritura. *FAZU Em Revista, Uberaba*, 7, 139–144.
- Chang, C.-Y., Ke, D.-S., y Chen, J.-Y. (2009). Essential fatty acids and human brain. *Acta Neurologica Taiwanica*, 18(4), 231–241. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20329590>
- Chaves, H., Singh, R. B., Khan, S., Wilczynska, A., y Takahashi, T. (2019). High Omega-6/Omega-3 Fatty Acid Ratio Diets and Risk of Noncommunicable Diseases. En: R. B. Singh, R. Watson, y T. Takahashi (Eds.), *The Role of Functional Food Security in Global Health* (pp. 217–259). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813148-0.00014-1>
- Chen, Y. C., y Chen, B.-H. (2003). Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in fumes from fried chicken legs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(14), 4162–4167. <https://doi.org/10.1021/jf020856i>
- Choe, E., y Min, D. B. (2007). Chemistry of deep-fat frying oils. *Journal of Food Science*, 72(5), R77–R86. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00352.x>
- Falade, A. O., Oboh, G., Ademiluyi, A. O., y Odubanjo, O. V. (2015). Consumption of thermally oxidized palm oil diets alters biochemical indices in rats. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, 4(2), 150–156. <https://doi.org/10.1016/J.BJBAS.2015.05.009>
- FAO/WHO. (2021). *Standard for Named Vegetable Oils Cxs 210-1999*. Organización de Las Naciones Unidas Para La Agricultura y La Alimentación/Organización Mundial de La Salud. <https://www.fao.org>
- Firestone, D. (2007). Regulation of Frying Fat and Oil. En: *Deep Frying* (pp. 373–385). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-1-893997-92-9.50027-X>
- Freire, P. C. M., Mancini-Filho, J., y Ferreira, T. A. P. de C. (2013). Principais alterações físico-químicas em óleos e gorduras submetidos ao processo de fritura por imersão: regulamentação e efeitos na saúde. *Revista de Nutrição*, 26(3), 353–358. <https://doi.org/10.1590/S1415-52732013000300010>
- Gertz, C., y Klostermann, S. (2002). Analysis of acrylamide and mechanisms of its formation in deep-fried products. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 104(11), 762–771. [https://doi.org/10.1002/1438-9312\(200211\)104:11<762::AID-EJLT762>3.0.CO;2-R](https://doi.org/10.1002/1438-9312(200211)104:11<762::AID-EJLT762>3.0.CO;2-R)
- Hammad, S., Pu, S., y Jones, P. J. (2016). Current Evidence Supporting the Link Between Dietary

- Fatty Acids and Cardiovascular Disease. *Lipids*, 51(5), 507–517. <https://doi.org/10.1007/s11745-015-4113-x>
- Jiang, D., Wang, G., Li, L., Wang, X., Li, W., Li, X., Shao, L., y Li, F. (2018). Occurrence, dietary exposure, and health risk estimation of polycyclic aromatic hydrocarbons in grilled and fried meats in Shandong of China. *Food Science & Nutrition*, 6(8), 2431–2439. <https://doi.org/10.1002/fsn3.843>
- Jiang, H., Chen, W., Jia, Z., y Tao, F. (2020). Physicochemical properties of short-term frying oil for chicken wing and its oxidative stability in an oil-in-water emulsion. *Food Science & Nutrition*, 8(1), 668–674. <https://doi.org/10.1002/FSN3.1355>
- Kehrer, J. P., y Biswal, S. (2000). The Molecular Effects of Acrolein. *Toxicological Sciences*, 57(1), 6–15. <https://doi.org/10.1093/toxsci/57.1.6>
- Kitts, D. D. (2005). Toxicity and Safety of Fats and Oils. En: F. Shahidi (Ed.), *Bailey's Industrial Oil and Fat Products* (Sexta Edición), pp. 513–564. John Wiley & Sons.
- Macri, E. V., Ramos, C., Bozzini, C., Zago, V., Giacomino, S., Pellegrino, N., Boyer, P. M., Lifshitz, F., y Friedman, S. M. (2019). Fried sunflower oil intake affects bone quality, in growing rats. *Current Research in Nutrition and Food Science*, 7(1), 52–65. <https://doi.org/10.12944/CRNFSJ.7.1.06>
- Marques, A. y C., Valente, T. B., y Rosa, C. S. da. (2009). Formação de toxinas durante o processamento de alimentos e as possíveis conseqüências para o organismo humano. *Revista de Nutrição*, 22(2), 283–293. <https://doi.org/10.1590/S1415-52732009000200010>
- Moghe, A., Ghare, S., Lamoreau, B., Mohammad, M., Barve, S., McClain, C., y Joshi-Barve, S. (2015). Molecular Mechanisms of Acrolein Toxicity: Relevance to Human Disease. *Toxicological Sciences*, 143(2), 242–255. <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfu233>
- Park, J. M., Koh, J. H., y Kim, J. M. (2020). Determining the reuse of frying oil for fried sweet and sour pork according to type of oil and frying time. *Food Science of Animal Resources*, 40(5), 785–794. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2020.e54>
- Sebastian, A., Ghazani, S. M., y Marangoni, A. G. (2014). Quality and safety of frying oils used in restaurants. *Food Research International*, 64, 420–423. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.07.033>
- Simopoulos, A. (2016). An Increase in the Omega-6/Omega-3 Fatty Acid Ratio Increases the Risk for Obesity. *Nutrients*, 8(3), 128. <https://doi.org/10.3390/nu8030128>
- Sousa, E., Pereira Jr, A., Silva, G., y Marques, A. (2014). Avaliação da qualidade de óleos de origem vegetal oriundos de frituras. *Acta Tecnológica*, 9(2), 58–62. <https://doi.org/10.35818/acta.v9i2.285>
- Tadesse Zula, A., y Fikre Teferra, T. (2022). Effect of frying oil stability over repeated reuse cycles on the quality and safety of deep-fried Nile tilapia fish (*Oreochromis niloticus*): a response surface modeling approach. *International Journal of Food Properties*, 25(1), 315–325. <https://doi.org/10.1080/10942912.2022.2034851>
- Valenzuela B, A. (2008). Ácidos grasos con isomería trans I: su origen y los efectos en la salud

- humana. *Revista Chilena de Nutrición*, 35(3), 162–171. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182008000300001>
- Vieira, S. A., Zhang, G., y Decker, E. A. (2017). Biological Implications of Lipid Oxidation Products. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 94(3), 339–351. <https://doi.org/10.1007/s11746-017-2958-2>
- Wanders, A., Zock, P., y Brouwer, I. (2017). Trans Fat Intake and Its Dietary Sources in General Populations Worldwide: A Systematic Review. *Nutrients*, 9(8), 840. <https://doi.org/10.3390/nu9080840>
- World Food Programme. (2021). *Technical Specifications for: Vegetable oil– Virgin olive oil*. WFP. <https://docs.wfp.org/api/documents/WFP-0000129850/download/>
- Yao, Z., Li, J., Wu, B., Hao, X., Yin, Y., y Jiang, X. (2015). Characteristics of PAHs from deep-frying and frying cooking fumes. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(20), 16110–16120. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4837-4>
- Yasuhara, A., Tanaka, Y., Hengel, M., y Shibamoto, T. (2003). Gas Chromatographic Investigation of Acrylamide Formation in Browning Model Systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(14), 3999–4003. <https://doi.org/10.1021/JF0300947>

SEMBLANZA DE LA AUTORA



Sandra Lorena Blandón Navarro: Es doctora en Ciencias en Ingeniería de Alimentos, Universidad de Sao Paulo (USP), Brasil (2016), con maestría en Procesamiento de Alimentos, Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), Nicaragua (2009) y graduada de Ingeniería Química en la misma universidad (2003). Actualmente es Profesora titular de la UNI a nivel de grado y posgrado, en la carrera de Ingeniería agroindustrial y en la maestría en Procesamiento de Alimentos de la Facultad de Ingeniería Química (FIQ-UNI). Ha realizado investigaciones en el área de Ciencia y Tecnología de Alimentos, con énfasis en desarrollo de productos, extracción de aceites vegetales, concentración de proteínas, análisis fisicoquímicos de alimentos, aprovechamiento de residuos de la agroindustria e ingeniería de separaciones.