



Transformaciones fisicoquímicas durante el freído por inmersión en aceite y sus implicaciones en la inocuidad alimentaria en Panamá

Physicochemical transformations during deep-fat frying and their implications for food safety in Panama

Gabriela Reyes

<https://orcid.org/0009-0003-4230-8855>

Yovelis Sandoval

<https://orcid.org/0000-0003-3719-0074>

Universidad Autónoma de Chiriquí. Maestría en Ciencias Químicas con Énfasis en Inocuidad Alimentaria.

Autor correspondiente: gabriela.reyes@unachi.ac.pa

Enviado: 14 de mayo de 2026. Aceptado: 20 de julio de 2026.

<https://doi.org/10.59722/rcvn.v4i1.1216>

Resumen

El freído por inmersión es una de las técnicas culinarias más utilizadas en el mundo y, en Panamá, forma parte habitual de la alimentación mediante preparaciones tradicionales como patacones, carimañolas, hojaldras y empanadas. Esta revisión analiza los mecanismos de absorción de aceite durante el freído, su comportamiento cinético y la influencia de la viscosidad y degradación del medio de fritura. Asimismo, examina las estrategias empleadas para disminuir la incorporación de aceite, incluidos los pretratamientos, el freído al vacío y otras tecnologías alternativas. Se describen las principales transformaciones físicas y químicas del proceso, con énfasis en la reacción de Maillard, la oxidación lipídica y la degradación térmica. Se comparan la composición y estabilidad de diferentes aceites, los perfiles de ácidos grasos más adecuados para fritura y la función de los antioxidantes en la conservación de su calidad. Además, se aborda la formación de compuestos de interés para la inocuidad alimentaria, como acrilamida, hidrocarburos aromáticos policíclicos y ácidos grasos trans, junto con los factores que favorecen su generación y las estrategias disponibles para reducirlos. La revisión incorpora el contexto panameño al considerar los hábitos de consumo, la disponibilidad y el uso de aceites comestibles, el marco regulatorio vigente y las implicaciones del freído para la inocuidad alimentaria y la salud pública. A partir de este análisis, se reconocen necesidades de investigación y de fortalecimiento de las prácticas de control asociadas con este proceso en el país.

Palabras clave

Acrilamida, degradación de aceites, freído por inmersión, inocuidad alimentaria, oxidación lipídica, reacción de Maillard

Abstract

Deep-fat frying is one of the most widely used culinary techniques in the world and, in Panama, it is a common part of the diet through traditional preparations such as patacones, carimañolas, hojaldras, and empanadas. This review analyzes the mechanisms of oil absorption during frying, its kinetic behavior, and the influence of the viscosity and degradation of the frying medium. It also examines the strategies used to reduce oil uptake, including pretreatments, vacuum frying, and other alternative technologies. The main physical and chemical transformations of the process are described, with emphasis on the Maillard reaction, lipid oxidation, and thermal degradation. The composition and stability of different oils, the fatty acid profiles most suitable for frying, and the role of antioxidants in preserving their quality are compared. In addition, the formation of compounds of interest for food safety, such as acrylamide, polycyclic aromatic hydrocarbons, and trans fatty acids, is addressed, together with the factors that favor their generation and the strategies available to reduce them. The review incorporates the Panamanian context by considering consumption habits, the availability and use of edible oils, the current regulatory framework, and the implications of frying for food safety and public health. Based on this analysis, research needs and the need to strengthen control practices associated with this process in the country are recognized.

Keywords

Acrylamide, deep-fat frying, food safety, lipid oxidation, Maillard reaction, oil degradation

Introducción

El freído por inmersión consiste en sumergir el alimento en aceite o grasa caliente, típicamente entre 150 y 200 °C, muy por encima del punto de ebullición del agua (Cui et al., 2022). A esas temperaturas se producen simultáneamente transferencia de calor y masa, deshidratación superficial y desarrollo de la corteza que define los atributos sensoriales del producto (Tirado et al., 2015; De Mendonça Lima et al., 2024). Es un método de cocción rápido y eficiente ya que la transferencia de calor va desde el aceite hacia la superficie del alimento y, luego, hacia el interior de su matriz (Asokapandian et al., 2019).

La cinética y el resultado del proceso dependen de variables interdependientes como el tipo de aceite, la relación superficie-volumen del alimento, temperatura, modo de calentamiento, tiempo de inmersión y materiales del recipiente (Xu et al., 2020).

La reutilización de aceites es una práctica frecuente, influenciada por razones económicas, de educación, experiencia y falta de capacitación sobre cómo se deben hacer los descartes (Oladunjoye y Aluko, 2024). Lo cual plantea una pregunta sanitaria concreta: ¿cuántos ciclos de fritura soporta

un aceite en condiciones tropicales antes de generar compuestos polares por encima de los límites recomendados? Este vacío es uno de los que motiva la presente revisión.

El objetivo de esta revisión es ofrecer una síntesis crítica de las transformaciones físicas y químicas del freído por inmersión y de sus implicaciones para la inocuidad alimentaria. Los objetivos específicos son: (1) describir los mecanismos de transferencia de calor y masa, incluida la absorción de aceite; (2) revisar las reacciones químicas que afectan la matriz alimentaria y el aceite, con énfasis en la reacción de Maillard y la oxidación lipídica; (3) analizar la formación de compuestos de interés toxicológico (acrilamida, HAP y ácidos grasos trans); (4) discutir estrategias para reducir el riesgo asociado al consumo de fritos; y (5) identificar líneas de investigación pendientes para el contexto panameño.

La búsqueda bibliográfica se realizó en bases de datos científicas como Scopus, Web of Science, PubMed, ScienceDirect y Google Scholar. Se emplearon combinaciones de términos en español e inglés relacionados con el freído por inmersión, la absorción de aceite, la transferencia de calor y masa, la oxidación lipídica, la reacción de Maillard, acrilamida, hidrocarburos aromáticos policíclicos, ácidos grasos trans y la reutilización de aceites de fritura. Se consideraron principalmente artículos científicos y revisiones publicados entre 2015 y 2026, con especial énfasis en publicaciones a partir del año 2020. También, se consultaron documentos técnicos, informes estadísticos y bases de datos oficiales de instituciones nacionales, con el propósito de incorporar información sobre prácticas alimentarias, consumo de alimentos fritos y condiciones relevantes para el contexto nacional.

2. Mecanismos de absorción de aceite durante el freído

La absorción de aceite es un fenómeno complejo, gobernado por la calidad del aceite, la temperatura y duración del freído, la geometría del alimento, el contenido inicial de humedad y grasa y las propiedades físicas de la corteza en formación (Rani et al., 2023; S. Zhang et al., 2025). Comprender estos mecanismos es la base para diseñar estrategias que reduzcan el contenido graso del producto sin comprometer su textura.

2.1. Cinética de absorción de aceite

En determinados alimentos y bajo condiciones específicas, la pérdida de humedad y la absorción de aceite presentan comportamientos cinéticos estrechamente relacionados al tiempo que dure el

freído, a su vez la temperatura a la que se realice el proceso puede modificar la velocidad de evaporación del agua, la cantidad de aceite que se absorbe y la formación de la corteza (Li et al., 2022). El porcentaje de aceite absorbido por las papas fritas alcanza hasta un 40 % de su peso total (Abrante-Pascual et al., 2024). Sin embargo, la cantidad de aceite que se absorbe varía dependiendo del tipo de alimento y a la viscosidad del aceite utilizado (Wang et al., 2024).

La cinética de absorción del aceite durante el freído describe la velocidad con la que el aceite se distribuye, penetra y permanece en el alimento a lo largo de la cocción y durante el enfriamiento. No es un fenómeno que ocurra de manera aislada, sino que está estrechamente relacionado a factores como el calor, la pérdida de humedad, la formación de la corteza y los cambios estructurales del alimento. En el proceso de freído cuando el alimento entra en contacto con el aceite caliente, el calor se va transfiriendo desde el medio de fritura hacia su superficie y hasta llegar al interior. En donde a medida que aumenta la temperatura del aceite, el agua presente en el alimento se va evaporando. Por lo que, aunque el vapor actúa como una barrera temporal que limita la entrada de aceite, la pérdida de agua va dejando poros y microgrietas que posteriormente son ocupados por el aceite (Dangal et al., 2024; Li et al., 2022). No obstante, la cantidad de agua que pierde el alimento durante el freído no equivale a la cantidad de aceite que absorbe, debido a que se producen cambios en el volumen, la densidad, la porosidad y la presión interna del alimento.

En un estudio realizado por Verma et al. (2025), mediante el uso de tomografía computarizada de alta velocidad se ha observado este fenómeno y han confirmado que la penetración del aceite está fuertemente relacionada con los cambios de presión y con la red porosa formada durante la cocción. Por esta razón, una parte considerable del aceite retenido en el producto puede penetrar después de que este ha sido retirado del medio de fritura.

2.2. Influencia de la viscosidad y la degradación del aceite

La viscosidad del aceite influye en su adhesión a la superficie del alimento; un aceite viscoso puede formar una película superficial persistente, lo que deja una mayor cantidad de aceite disponible sobre la corteza. Por lo que, durante el enfriamiento, parte de este aceite puede penetrar a través de los poros formados en el alimento. En bastones de papa frita se observó una correlación positiva entre la viscosidad del medio de fritura y el contenido total de aceite del producto, lo que indica que

tanto la composición lipídica como las propiedades reológicas del aceite influyen en su distribución y absorción (Yang et al., 2020).

El grado de degradación del aceite influye en la cinética de absorción y en el contenido final de aceite dentro de un alimento. Yang et al. (2022), observó que el deterioro del aceite incrementó su retención en la superficie y en la corteza. No obstante, la fracción de aceite que penetró desde la superficie hacia el interior disminuyó, lo que demuestra que la degradación no afecta de igual manera todas las vías de absorción. A su vez los autores identificaron un mayor deterioro de la microestructura superficial y una mayor formación de asociaciones entre el aceite degradado y el almidón. Por lo que, el efecto de la degradación parece estar relacionado principalmente con el aumento de la adhesión y retención superficial, los cambios microestructurales de la corteza y las interacciones entre los productos de degradación del aceite y los componentes del alimento.

2.3. Estrategias para reducir la absorción de aceite

Debido a que una parte del aceite durante el freído queda adherida a la superficie del alimento, existen estrategias para disminuir la absorción que van orientadas a modificar las características superficiales del alimento. Estas intervenciones buscan controlar la evaporación del agua, reducir la formación de poros y grietas, incrementar la resistencia de la corteza a la penetración del aceite o facilitar su drenaje después del freído. Por el contrario, la eficacia de cada tratamiento depende de la composición, geometría y humedad inicial del alimento, así como de las condiciones de tiempo y temperatura aplicadas durante el proceso (Liberty et al., 2019; Manoharan et al., 2024).

Entre los pretratamientos más empleados se encuentra el presecado, que disminuye parcialmente la humedad inicial y favorece la formación de una corteza compacta, reduciendo los espacios disponibles para la entrada del aceite (Zhang & Fan, 2021). También se emplean los recubrimientos elaborados con hidrocoloides que actúan como barreras frente a la transferencia de aceite, mientras que el escaldado y la deshidratación osmótica modifican la estructura celular y reducen el tiempo necesario de fritura. Además, el control de la temperatura y tiempo es fundamental, ya que un tratamiento excesivamente prolongado puede producir grietas y poros que favorezcan la absorción del aceite. Por tanto, estas estrategias buscan acondicionar la materia prima o controlar el proceso sin sustituir la fritura por inmersión tradicional (Omidiran et al., 2023; Wang et al., 2023).

2.4. Freído al vacío y tecnologías alternativas

A diferencia de los pretratamientos anteriores, el freído al vacío y las tecnologías alternativas modifican directamente el medio, la fuente de energía o el mecanismo mediante el cual se frie el alimento. En el freído al vacío, la reducción de la presión disminuye el punto de ebullición del agua, permitiendo trabajar a temperaturas inferiores a las empleadas en el freído convencional. Esto puede reducir el deterioro térmico, la formación de acrilamida y la oxidación y favorecer la conservación del color; sin embargo, el contenido final de aceite depende también de la presión, la temperatura, el tiempo y la etapa secado posterior (Ayustaningwarno et al., 2020; Devi et al., 2020).

Entre las tecnologías más recientes se encuentran el vacío asistido por microondas con pulso de chorro y el freído al vacío asistido por ultrasonido, que producen alimentos con menor contenido de aceite y mejor textura que el freído convencional (Zhang et al., 2020). Donde el freído con aire alcanza color y sabor comparables a los del freído en aceite, con menor contenido de grasa y menor formación de compuestos polares (Zaghi et al., 2019). Aunque requiere tiempos de procesamiento más largos, alrededor de 21 minutos frente a los 9 minutos del freído profundo, lo que produce alimentos con un contenido de grasa sustancialmente menor (Del Rocío Teruel et al., 2015). En estudios comparativos entre freído profundo y freído con aire usando aceites comerciales (girasol, soya, canola y oliva), los productos obtenidos por aire presentaron en promedio un 70 % menos de grasa y una menor oxidación lipídica, en especial cuando se usó aceite de oliva (Santos et al., 2017). La combinación del presecado con otras tecnologías produce efectos superiores a los que se pueden obtener usando un tratamiento individual. Esto se puede ver en el estudio de Zhang et al. (2024), donde se encontró que la combinación de ambos produjo una disminución en la absorción de aceite de chips de papa en un 39,17, 26,78 y 50,62 %, respectivamente. Estos resultados muestran que no solo debe considerarse la humedad eliminada antes del freído, sino también la forma en que el pretratamiento modifica el tamaño, la distribución y la conectividad de los poros.

3. Reacciones físicas y químicas durante el freído

El sabor de los alimentos fritos depende del tipo de aceite, el perfil de ácidos grasos, la temperatura y la duración del freído. En este intervalo térmico se desarrollan, simultáneamente, reacciones físicas (deshidratación, formación de corteza) y químicas (Maillard, oxidación lipídica, hidrólisis, polimerización) que definen las propiedades sensoriales y la inocuidad del producto (Xu et al., 2021).

3.1. Reacción de Maillard

La reacción de Maillard, característica de las altas temperaturas del freído, ocurre entre aminoácidos y azúcares reductores y produce compuestos como pirazinas, furanos y aldehídos, responsables del aroma y sabor de los fritos. Esta reacción también contribuye a la textura crujiente al deshidratar la superficie y formar la red proteica de la corteza. Procede en tres etapas: condensación de grupos amino con grupos carbonilo, reordenamientos intermedios que producen compuestos de Amadori o de Heyns, y reacciones finales que generan melanoidinas, pigmentos pardos responsables del color del producto (Kathuria et al., 2023; Shakoor et al., 2022).

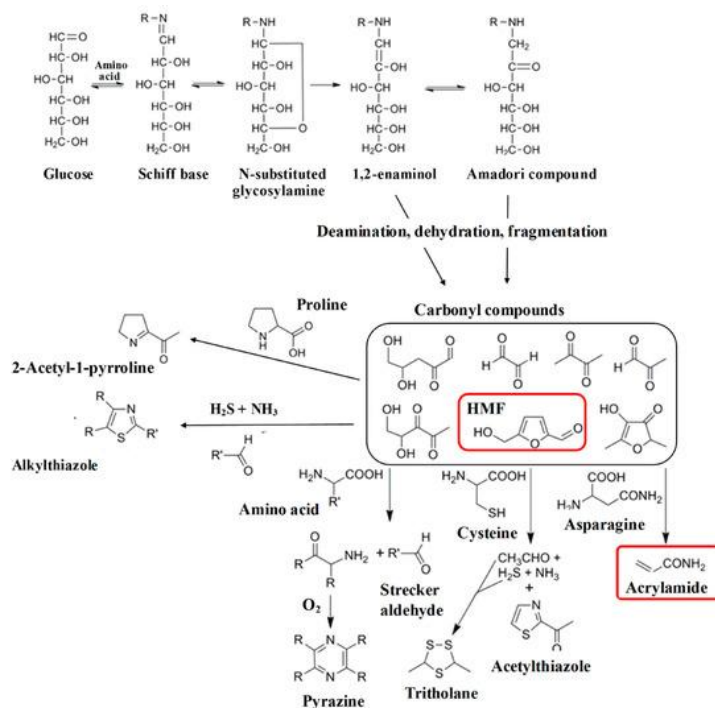


Figura 1. Ilustración simplificada de la reacción de Maillard que muestra la formación de acrilamida, HMF en rojo y otros subproductos, muchos de los cuales contribuyen al sabor y aroma de los alimentos fritos, horneados, asados y tostados. La posterior desaminación, deshidratación y fragmentación de estos compuestos generan compuestos carbonílicos altamente reactivos, incluido el HMF. Estos pueden interactuar además con aminoácidos libres, dando como resultado una amplia gama de productos (Hosry et al., 2025).

En la figura 1 se muestra de manera simplificada la reacción de Maillard, desde la interacción inicial entre la glucosa y el grupo amino hasta la formación de la base de Schiff, la glucosilamina N-sustituida y el compuesto de Amadori. La posterior desaminación, deshidratación y fragmentación

de estos intermediarios genera compuestos carbonílicos reactivos que participan en distintas rutas de formación de aldehídos de Strecker, pirazinas, tiazoles y otros productos asociados con el aroma y el sabor de los alimentos sometidos a calentamiento. El esquema evidencia que esta reacción puede originar compuestos de interés sanitario, como el 5-hidroximetilfurfural y la acrilamida. Por tanto, la reacción de Maillard contribuye tanto al desarrollo de las características sensoriales deseables de los alimentos fritos como a la generación de productos cuya formación debe controlarse mediante las condiciones del proceso (El Hosry et al., 2025).

3.2. Oxidación lipídica y degradación térmica

Durante el freído ocurren reacciones que degradan el aceite. La oxidación térmica produce hidroperóxidos y compuestos carbonílicos de bajo peso molecular; la hidrólisis genera ácidos grasos libres; y la polimerización forma compuestos polares de alto peso molecular. Estos procesos consumen los antioxidantes presentes y deterioran progresivamente la calidad del aceite, lo que afecta tanto el sabor como las propiedades nutricionales del alimento (Rani et al., 2023; Wu et al., 2019).

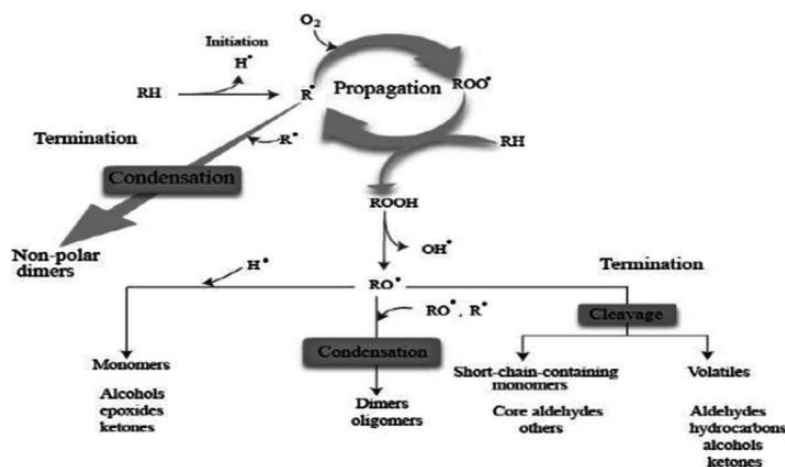


Figura 2. Esquema general de la oxidación lipídica y de las rutas de formación de productos volátiles, monómeros, dímeros y oligómeros durante la degradación térmica del aceite (Bazina et al., 2025).

Como se observa en la figura 2, la oxidación lipídica ocurre mediante reacciones radicalarias que generan hidroperóxidos inestables. Su descomposición origina aldehídos, cetonas, alcoholes y otros compuestos volátiles, mientras que la combinación de radicales favorece la formación de dímeros y oligómeros. Estos procesos explican el deterioro progresivo, el aumento de la viscosidad y los

cambios de olor y sabor del aceite reutilizado (Grootveld, 2022).

Durante el freído, las elevadas temperaturas y la exposición al oxígeno favorecen la oxidación de los ácidos grasos insaturados del aceite. Este proceso genera inicialmente hidroperóxidos, compuestos inestables que posteriormente se descomponen en aldehídos, cetonas, alcoholes, ácidos y otras sustancias responsables de cambios en el aroma, el sabor y la calidad del alimento frito (Bazina et al., 2025). Entre ellas se incluyen la transferencia de calor y masa, la evaporación de agua, la formación de la corteza, la absorción de aceite, la reacción de Maillard y la oxidación lipídica. La tabla 1 presenta un resumen de los cambios físicos y químicos que ocurren durante el freído y de sus principales efectos sobre el alimento.

Tabla 1. Resumen de los cambios físicos y químicos durante el freído por inmersión.

<i>Tipo de cambio</i>	<i>Fenómeno</i>	<i>Consecuencias principales</i>	<i>Referencias</i>
Físico	Transferencia de calor y masa	Calentamiento del núcleo, cocción interna y migración de humedad.	(Huang et al., 2023; Verma et al., 2025)
Físico	Deshidratación superficial	Formación de corteza, reducción de humedad y textura crujiente.	(Huang et al., 2023; Verma et al., 2025)
Físico	Cambios de porosidad	Formación de poros y grietas que facilitan la entrada de aceite.	(Touffet et al., 2020; Verma et al., 2025)
Físico	Absorción de aceite	Aumento del contenido graso, principalmente en la corteza.	(Cui et al., 2022; Verma et al., 2025)
Químico	Reacción de Maillard	Color pardo, aromas, sabores y posible formación de acrilamida.	(Liu et al., 2024; Mesías et al., 2020)
Químico	Oxidación lipídica	Formación de hidroperóxidos, aldehídos y pérdida de calidad.	(Chen et al., 2025; Wang et al., 2026)
Químico	Hidrólisis	Formación de ácidos grasos libres y aumento de la acidez.	(Chen et al., 2025; Wang et al., 2026)

Químico	Polimerización	Compuestos polares, mayor viscosidad y oscurecimiento del aceite.	(Chen et al., 2025; Wang et al., 2026)
Químico	Isomerización cis-trans	Posible formación de ácidos grasos trans por calentamiento repetido.	(Manzoor et al., 2023; Szabó et al., 2022)

4. Características y estabilidad de los aceites de fritura

4.1. Estabilidad comparativa de diferentes aceites

Los aceites vegetales presentan comportamientos diferentes durante la fritura debido a su composición lipídica. El estudio Aşkın y Kaya (2020) compararon aceite refinado de girasol alto oleico, aceite de girasol rico en ácido linoleico y aceite de oliva refinado durante cinco días de freído. El aceite de girasol alto oleico presentó la mayor estabilidad térmica, comportamiento atribuido principalmente a su menor contenido de ácido linoleico y a su menor índice de yodo a diferencia del otro aceite empleado. Estos resultados muestran que la denominación botánica del aceite no determina por sí sola su resistencia al calentamiento, porque dos aceites procedentes del girasol pueden presentar comportamientos muy diferentes según su variedad y perfil de ácidos grasos. Esta diferencia también fue observada por Graña et al. (2025); donde después de 24 horas, el aceite de girasol alto oleico presentó un valor de oxidación total de 87,79, frente a 222,36 presente en el aceite de girasol convencional. Además, el aceite convencional superó el 25 % de compuestos polares después de 24 horas, mientras que el alto oleico alcanzó ese nivel después de 48 horas. Por consiguiente, la sustitución de aceites convencionales ricos en ácido linoleico por aceites con alto contenido de ácido oleico puede prolongar su estabilidad y vida útil durante el freído. Zhou et al. (2024) compararon aceites de colza alto oleico obtenidos por prensado en frío y en caliente con aceite de soya, aceite de salvado de arroz y aceite de palma. Como resultado se obtuvo que los aceites de colza alto oleico presentaron menores niveles de oxidación y una combinación favorable de ácidos grasos monoinsaturados y compuestos antioxidantes. Por ello, no puede establecerse que un solo tipo de aceite sea siempre el más estable; ya que debe considerarse su contenido de antioxidantes, el método de obtención, el alimento frito y las condiciones de operación.

4.2. Perfiles ideales de ácidos grasos para fritura

En términos nutricionales, el perfil de ácidos grasos más conveniente sería aquel en el que predomine el ácido oleico, mantenga un bajo contenido de ácidos grasos poliinsaturados altamente susceptibles a la oxidación y no se recurra a la hidrogenación parcial para aumentar la estabilidad. Aunque los ácidos grasos saturados aumentan la resistencia térmica, una concentración excesiva no resulta necesariamente deseable desde la perspectiva nutricional. Por tanto, los aceites altos en ácido oleico pueden representar un equilibrio entre estabilidad durante el freído, estado líquido a temperatura ambiente y menor contenido de grasas saturadas en comparación otros aceites. (Aşkın & Kaya, 2020; Zhou et al., 2024).

4.3. Antioxidantes en la estabilidad del aceite de fritura

Los aceites contienen antioxidantes naturales, como tocoferoles, tocotrienoles, polifenoles y otros componentes menores. Aunque un elevado contenido de ácido oleico mejora la resistencia del aceite frente a la oxidación, su estabilidad durante el freído también depende de la conservación de los antioxidantes naturales. Las altas temperaturas aceleran la degradación de los tocoferoles y de otros componentes minoritarios, disminuyendo progresivamente la protección del aceite y favoreciendo la formación de productos de oxidación (Alberdi-Cedeño et al., 2025; Kreps et al., 2025).

Los antioxidantes en los aceites pueden ser añadidos, pero su adición no compensa un perfil de ácidos grasos poco estable. Esto se puede observar en el estudio de Lužaić et al. (2025) que comparó el aceite de girasol refinado sin aditivos, con el aceite de girasol enriquecido con TBHQ y extracto de romero, aceite de girasol alto oleico y oleína de palma. Antes de del freído, la oleína de palma y el aceite de girasol alto oleico presentaron periodos de inducción de 27 y 26,2 horas, respectivamente, frente a 9,6 horas en el aceite de girasol convencional. La adición de TBHQ elevó este valor a 23,4 horas, mientras que el extracto de romero lo aumentó a 11,5 horas. Estos resultados indican que la estabilidad más efectiva se obtiene combinando un perfil de ácidos grasos apropiado con antioxidantes naturales o autorizados, en lugar de depender exclusivamente de la incorporación de aditivos a un aceite altamente poliinsaturado.

5. Formación de acrilamida durante el freído

La acrilamida es un contaminante químico del proceso que se forma principalmente en alimentos vegetales ricos en carbohidratos cuando son sometidos a temperaturas elevadas y condiciones de baja humedad. Su formación no depende de un único factor, sino de la interacción entre la composición de la materia prima, las condiciones de almacenamiento, los tratamientos previos y la intensidad del proceso térmico (Nahid & Bhuiyan, 2025).

5.1. Factores que influyen en la formación de acrilamida

Uno de los factores que determina la cantidad de acrilamida que se puede generar durante el freído es el contenido de asparagina libre y azúcares reductores que posea el alimento. Aunque esta no es una relación lineal, debido a que estos valores cambian según el alimento. Un ejemplo es la papa, sus niveles de glucosa, fructosa y asparagina varía entre variedades ya sean sometidas a freído u horneado (Liyanage et al., 2021; Orsák et al.; 2022).

La temperatura y el tiempo de procesamiento constituyen factores determinantes en la formación de acrilamida, por lo que su efecto debe evaluarse de manera conjunta. Lee et al. (2024) observaron que un tratamiento a 170 °C durante 13 minutos produjo menos acrilamida que el procesamiento a 150 °C durante 19 minutos, lo que demuestra que disminuir la temperatura sin ajustar adecuadamente el tiempo puede aumentar la carga térmica total y favorecer la formación del contaminante. No obstante, la combinación de temperaturas elevadas con tiempos prolongados generó las mayores concentraciones de acrilamida. Por otra parte, Li et al. (2025) comprobaron que su distribución en tiras de papa no es uniforme, sino que se concentra principalmente en las zonas externas y los bordes, donde la pérdida de humedad es mayor y las condiciones favorecen las reacciones responsables de su formación.

5.2. Estrategias de mitigación

El control de las condiciones de fritura continúa siendo una de las medidas más accesibles de mitigación. Pero existen estrategias como el lavado, remojo y escaldado que pueden reducir la formación de acrilamida al favorecer la extracción de sus precursores hidrosolubles. En tiras de papa, Negoitǎ et al. (2022) observaron que el escaldado en agua a 70 °C durante 10 minutos redujo la acrilamida aproximadamente en un 89 %, mientras que tratamientos de 10 a 15 minutos a 70–80 °C alcanzaron reducciones de hasta 96 %. No obstante, la eficacia del escaldado depende de las

condiciones de procesamiento, como la temperatura y el tiempo de freído. Esto es debido a que si el tratamiento es demasiado intenso pueden perderse nutrientes, ocurrir cambios indeseables en la textura, color y sabor del alimento (Saini et al., 2023).

6. Formación de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) durante el freído

La formación de HAP durante el freído es un proceso complejo cuyo mecanismo todavía no ha sido completamente esclarecido. La evidencia disponible indica que el calentamiento del aceite provoca oxidación, ruptura térmica y generación de radicales libres. Los hidroperóxidos producidos inicialmente por la oxidación de los ácidos grasos son inestables y se descomponen en aldehídos, cetonas, hidrocarburos y otros compuestos de bajo peso molecular. Algunos de estos productos pueden experimentar reacciones posteriores de condensación, ciclización y aromatización, originando estructuras con varios anillos. Se ha propuesto que los hidrocarburos insaturados y los radicales derivados de la degradación lipídica actúan como precursores importantes de los HAP durante el freído (Xu et al., 2023).

Un punto para considerar es la composición de ácidos grasos, ya que influyen en la formación de estos compuestos. Los aceites con mayor proporción de ácidos grasos poliinsaturados son generalmente más susceptibles a la oxidación que aquellos en los que predomina el ácido oleico o los ácidos grasos saturados. Pero, la estabilidad no depende únicamente del grado de insaturación, sino que intervienen antioxidantes naturales, tocoferoles, el grado de refinación y las condiciones de freído. Al comparar doce aceites comerciales, Xin et al. (2022) observaron diferencias en la formación de HAP, la acumulación de compuestos polares y la conservación de los tocoles durante el freído. Estos resultados indican que la denominación comercial del aceite no es suficiente para predecir su comportamiento térmico, ya que este depende también de su composición en ácidos grasos y compuestos minoritarios.

7. Formación de ácidos grasos trans durante el freído

En la formación de ácidos grasos trans, la temperatura de calentamiento constituye un factor determinante. Bhat et al. (2022), mediante una revisión que incluyó 21 tipos de aceites, encontraron

que el calentamiento a temperaturas iguales o inferiores a 200 °C se produjeron cambios mínimos en el contenido total de ácidos grasos trans. En cambio, a 200 y 240 °C estos aumentaron progresivamente, especialmente cuando el calentamiento se prolongó. Estos resultados indican que un proceso de freído adecuadamente controlado no genera necesariamente cantidades elevadas de grasas trans.

La formación de ácidos grasos trans durante la fritura repetida varía según el tipo de aceite empleado. Después de tres ciclos de fritura de papas, los aceites de soya y salvado de arroz presentaron incrementos en estos compuestos, mientras que la oleína de palma los mostró únicamente en el tercer ciclo y el aceite de girasol no presentó formación detectable. Estos resultados evidencian que la composición lipídica inicial condiciona la respuesta de cada aceite al calentamiento repetido (Lisa et al., 2022).

Un antecedente importante es el estudio realizado por Bhardwaj et al. (2016), quienes analizaron seis aceites y grasas sometidos a calentamiento y freído a 180 y 220 °C. La formación de ácidos grasos trans aumentó en todas las muestras y fue mayor con temperaturas elevadas y calentamientos repetidos; simultáneamente, disminuyeron los ácidos grasos insaturados en configuración cis. Este estudio contribuyó a demostrar que la reutilización y el sobrecalentamiento modifican el perfil lipídico, aunque las cantidades producidas varían ampliamente según el aceite y las condiciones aplicadas.

8. Consideraciones para el contexto panameño

8.1. Alimentos fritos tradicionales y patrones de consumo

Los alimentos fritos forman parte habitual de la alimentación panameña. Esto queda en evidencia por un estudio realizado en adultos de las provincias de Panamá y Colón, en el cual se documentó que el consumo de preparaciones fritas como tortillas, hojaldres, empanadas, papas, plátano y yuca es común en esta población. Incluyendo, además, proteínas fritas como pollo, pescado, carne de res, cerdo, embutidos y chicharrón. La presencia conjunta de estos productos refleja que la fritura se utiliza tanto en alimentos tradicionales como en productos de preparación rápida (Mc Donald et al., 2015).

En un estudio realizado con 100 bomberos de la provincia de Panamá Oeste, el 97 % de los

participantes reportó consumir preparaciones fritas (Burgos et al., 2023). Sin embargo, el consumo de alimentos fritos no solo se ha observa en regiones urbanas, sino también en poblaciones indígenas. Esto se observó en los adultos gunas de Ustupu y Ogobsucum, donde el 47 % informó consumir alimentos fritos diariamente, lo que evidencia la incorporación habitual de estas preparaciones en su pdieta (Neitzel et al., 2019). Y a nivel nacional, la Encuesta Nacional de Salud de Panamá (ENSPA-2019) se evidenció que, entre las personas de 15 años y más, el 45,8 % consumía alimentos fritos entre uno y tres días por semana, el 10,6 % entre cuatro y cinco días y el 12,1 % seis o más días por semana. En total, el 68,5 % reconoció consumir semanalmente alimentos fritos. En la población de 2 a 14 años, el consumo semanal alcanzó el 68,6 %, y el 13,0 % consumía alimentos fritos entre seis y siete días por semana (Instituto Conmemorativo Gorgas de Estudios de la Salud [ICGES] et al., 2019). Estos datos sugieren que la ingesta de alimentos fritos constituye un patrón de conducta alimentaria generacional, que se forma desde la infancia hasta consolidarse en la vida adulta. Donde el consumo de alimentos fritos abarca desde la cocina tradicional, así como productos procesados y comida rápida.

8.2. Aceites comúnmente utilizados y consideraciones de mercado

En Panamá se comercializan distintos aceites vegetales, entre ellos los de soya, palma, girasol, canola, oliva, coco y maíz. La Hoja de Balance de Alimentos de Panamá registró para 2023 una disponibilidad alimentaria de 69 497 toneladas métricas de aceites vegetales, equivalente a un aporte diario estimado de 41,8 g de grasa por habitante. Dentro de la disponibilidad nacional, el aceite de soya ocupó la primera posición, con 32 128 toneladas métricas, seguido por el aceite de palma, con 16 959 toneladas, y la categoría de otros aceites de cultivos oleaginosos, con 12 586 toneladas. En proporciones menores se registraron el aceite de almendra de palma, con 3 160 toneladas; el aceite de oliva, con 1 876 toneladas; el aceite de girasol, con 1 242 toneladas; el aceite de colza y mostaza categoría en la que se incluye la canola, con 789 toneladas; el aceite de coco, con 530 toneladas; y el aceite de germen de maíz, con 129 toneladas. Este indicador representa la cantidad potencialmente disponible para alimentación después de considerar la producción, las importaciones, las exportaciones, la elaboración de alimentos, los usos industriales y otras utilidades. Por tanto, no equivale necesariamente a la cantidad realmente ingerida por cada persona ni al volumen empleado exclusivamente en procesos de fritura, pero da un vistazo de los aceites que más se consumen en el país (Instituto Nacional de Estadística y Censo [INEC], 2026).

La vida útil efectiva de un aceite depende de otros factores como su composición de ácidos grasos, calidad inicial, estabilidad oxidativa, contenido de antioxidantes y comportamiento ante ciclos sucesivos de calentamiento y enfriamiento. Por lo que, un aceite con mayor estabilidad puede soportar más ciclos antes de alcanzar los criterios de descarte, lo que modifica el costo real asociado con su reposición. Pero, desde una perspectiva de mercado, la elección del aceite de fritura suele estar condicionada por su disponibilidad, precio, presentación comercial y rendimiento durante.

8.3. Marco regulatorio del uso de aceites comestibles en Panamá

La normativa panameña sobre el uso de aceites es el Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 87-2021, aprobado mediante la Resolución No. 179 de 6 de octubre de 2021. Donde se establecen las características que deben cumplir los aceites y grasas comestibles reutilizados en restaurantes, fondas, establecimientos de comida rápida y otros comercios dedicados a la preparación de alimentos. Tiene como propósito evitar que el aceite sea utilizado después de alcanzar niveles de degradación que puedan afectar la inocuidad y calidad del alimento. Entre sus parámetros de control se encuentra un máximo permitido de 3 % de ácidos grasos libres, indicador relacionado con el deterioro hidrolítico del aceite. A su vez, la Autoridad de Protección al Consumidor y Defensa de la Competencia realiza verificaciones en los establecimientos mediante la toma de muestras o pruebas de campo, por lo que el reglamento tiene carácter obligatorio y no constituye únicamente una recomendación técnica (Autoridad de Protección al Consumidor y Defensa de la Competencia [ACODECO], 2021; Ministerio de Comercio e Industrias [MICI], 2021).

8.4 Implicaciones en la inocuidad alimentaria y en la salud de la población panameña

La relación entre los aceites de fritura y la inocuidad alimentaria no se limita al contenido de grasa del producto. También comprende los peligros químicos generados cuando el aceite permanece expuesto durante periodos prolongados a temperaturas elevadas, oxígeno, agua procedente del alimento y residuos de la fritura. Investigaciones confirman que la temperatura elevada, la fritura prolongada y la utilización discontinua del aceite aceleran la formación de estos productos de degradación (Abrante Pascual et al., 2024; Chen et al., 2025). Por consiguiente, el control de los ácidos grasos libres y de otros indicadores de deterioro contemplado en el Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 87-2021 constituye una medida de inocuidad y no únicamente un criterio relacionado con el sabor, olor o apariencia del aceite.

La elevada frecuencia de consumo de frituras debe analizarse en el contexto de la situación epidemiológica de Panamá. Datos oficiales recientes indican que el 71,7 % de la población adulta presenta exceso de peso y el 35,3 % vive con obesidad. Asimismo, la ENSPA 2019 estimó que la hipertensión arterial afecta al 42,3 % de los adultos (Ministerio de Salud [MINSA], 2026; Organización Panamericana de la Salud [OPS], 2026).

La magnitud de estas enfermedades también se observa en las estadísticas de mortalidad. En 2024 se registraron 23 206 defunciones en Panamá, de las cuales 7 240 correspondieron a enfermedades del sistema circulatorio. Dentro de este grupo se notificaron 2 304 muertes por enfermedades isquémicas del corazón, 1 875 por enfermedades cerebrovasculares y 924 por enfermedades hipertensivas. (Instituto Nacional de Estadística y Censo [INEC], 2026). Pero, no es correcto afirmar que el consumo de frituras causó directamente los casos de obesidad, hipertensión, diabetes o las defunciones cardiovasculares. Sin embargo, la combinación de una exposición frecuente a frituras y una elevada prevalencia de enfermedades cardíacas respalda la necesidad de fortalecer las políticas de prevención, vigilancia de los aceites reutilizados y educación alimentaria.

9. Perspectivas futuras

De la revisión emergen diversos vacíos de conocimiento que permiten definir líneas de investigación futuras para Panamá y otros países de la región. Primero, se requieren estudios que caractericen las condiciones reales de freído empleadas en los hogares especialmente en relación con la temperatura, el tiempo de calentamiento, la frecuencia de reutilización y los criterios utilizados para descartar el aceite. Segundo, es necesario determinar los niveles de acrilamida, hidrocarburos aromáticos policíclicos y productos de oxidación lipídica en alimentos fritos de consumo habitual, incluidas las preparaciones tradicionales elaboradas con plátano, tubérculos y masas. Tercero, deben desarrollarse y validarse métodos rápidos, accesibles y de fácil aplicación para evaluar el deterioro del aceite en pequeños establecimientos de servicio de alimentos. Cuarto, resulta pertinente estudiar el potencial de antioxidantes naturales obtenidos de especies vegetales nativas para mejorar la estabilidad oxidativa del aceite durante el freído. Quinto, se requieren investigaciones que comparen el desempeño de los distintos aceites disponibles en el mercado nacional y que evalúen tecnologías alternativas, como el freído al vacío y el freído con aire caliente. Sexto, son necesarias evaluaciones integrales de la exposición alimentaria a los contaminantes

generados durante el freído, con el fin de sustentar recomendaciones de consumo, prácticas de control y futuras medidas regulatorias adaptadas al contexto panameño.

Las líneas de investigación futuras deberían concentrarse en: (1) adaptar y validar el freído al vacío y el freído con aire para preparaciones tradicionales como patacones, carimañolas y hojaldras; (2) elaborar lineamientos regionales para el manejo del aceite de fritura; y (3) realizar estudios epidemiológicos que estimen el impacto sanitario de las prácticas actuales de freído en la población panameña.

Conclusión

El freído por inmersión es uno de los métodos de cocción más empleados en el mundo y, en Panamá, sostiene una parte fundamental de la dieta diaria. Esta revisión integró la evidencia disponible sobre las transformaciones físicas y químicas del proceso y sus implicaciones en la calidad y la inocuidad alimentaria.

La absorción de aceite ocurre principalmente durante el enfriamiento posterior al freído, no durante el freído activo. Este hecho abre una ventana concreta para reducir el contenido de grasa mediante presecado, recubrimientos con hidrocoloides y tecnologías alternativas como el freído al vacío y el freído con aire.

Las reacciones de Maillard y la oxidación lipídica son responsables de los atributos sensoriales del producto, pero también producen compuestos de interés sanitario. La formación de acrilamida puede mitigarse mediante control de temperatura, escaldado previo y selección de materias primas con baja maduración. La generación de HAP y ácidos grasos trans subraya la necesidad de manejar el aceite con criterios técnicos: temperaturas controladas, reposición con aceite fresco y descarte oportuno.

Para el contexto panameño, la combinación de alimentos fritos y reutilización del aceite plantea un escenario que aún no se ha caracterizado cuantitativamente. Las prioridades inmediatas son tres: medir niveles de acrilamida y compuestos polares en preparaciones locales, proponer a las instituciones gubernamentales que se establezcan en el país criterios técnicos para la calidad del aceite de fritura, y desarrollar materiales de educación al consumidor adaptados al contexto cultural. Estas acciones son la base para articular políticas de inocuidad alimentaria.

Agradecimientos

Expreso mi sincero agradecimiento a la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT) por el apoyo y financiamiento brindados a la Maestría en Ciencias Químicas con Énfasis en Inocuidad Alimentaria de la Universidad Autónoma de Chiriquí, los cuales han contribuido de manera significativa a mi formación académica y al desarrollo de este trabajo.

De manera especial, agradezco a la profesora Jacqueline Jones y al Dr. José Robinson Duggon por su orientación, acompañamiento y valiosas observaciones durante la elaboración y revisión de este manuscrito. Sus conocimientos, recomendaciones y aportes críticos permitieron enriquecer su contenido y mejorar la calidad de la versión final.

REFERENCIAS

- Abrante Pascual, S., Nieva-Echevarría, B., & Goicoechea-Oses, E. (2024). Vegetable Oils and Their Use for Frying: A Review of Their Compositional Differences and Degradation. *Foods*, 13(24), 4186. <https://doi.org/10.3390/foods13244186>
- Alberdi-Cedeño, J., Martínez-Yusta, A., Ruiz-Aracama, A., Goicoechea-Oses, E., & Nieva-Echevarría, B. (2025). Different effects of tocopherol natural extract on sunflower oil stability under frying and accelerated storage conditions: A comprehensive study on the fate of major and minor components of oil, and added tocopherols. *Food Chemistry*, 472, 142871. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.142871>
- Aşkın, B., & Kaya, Y. (2020). Effect of deep frying process on the quality of the refined oleic/linoleic sunflower seed oil and olive oil. *Journal Of Food Science And Technology*, 57(12), 4716-4725. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04655-4>
- Asokapandian, S., Swamy, G. J., & Hajjul, H. (2019). Deep fat frying of foods: A critical review on process and product parameters. *Critical Reviews In Food Science And Nutrition*, 60(20), 3400-3413. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1688761>
- Autoridad de Protección al Consumidor y Defensa de la Competencia. (2021). Verificación de aceites y grasas comestibles reutilizados conforme al Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 87-2021.
- Ayustaningwarno, F., Verkerk, R., Fogliano, V., & Dekker, M. (2020). The pivotal role of moisture content in the kinetic modelling of the quality attributes of vacuum fried chips. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 59, 102251. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102251>
- Bhardwaj, S., Passi, S. J., Misra, A., Pant, K. K., Anwar, K., Pandey, R., & Kardam, V. (2016). Effect of heating/reheating of fats/oils, as used by Asian Indians, on trans fatty acid formation. *Food Chemistry*, 212, 663-670. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.06.021>
- Bhat, S., Maganja, D., Huang, L., Wu, J. H. Y., & Marklund, M. (2022). Influence of Heating during Cooking on Trans Fatty Acid Content of Edible Oils: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Nutrients*, 14(7), 1489. <https://doi.org/10.3390/nu14071489>
- Bazina, N., Ahmed, T., Almdaaf, M., Hallalah, H. M. o. A., & Jibia, S. (2025). Chemical Changes in Deep-Fat Frying: Reaction Mechanisms, Oil Degradation, and Health Implications. *Food Science*

- & Nutrition, 13(10), e70969. <https://doi.org/10.1002/fsn3.70969>
- Burgos, A., Ortega, I., Fontes, F., Valdés, V., Camaño-Cacó, E., & Ríos-Castillo, I. (2023). Malnutrición e inadecuados hábitos de alimentación en bomberos de Panamá. *Revista Chilena de Nutrición*, 50(4), 413-423. <https://doi.org/10.4067/s0717-75182023000400413>
- Chen, J., Zhang, L., Guo, X., Qiang, J., Cao, Y., Zhang, S., & Yu, X. (2025). Influence of frying conditions on quality attributes of frying oils: Kinetic investigation of polar compounds. *Food Chemistry: X*, 29, 102673. DOI: 10.1016/j.fochx.2025.102673.
- Cui, L., Chen, J., Zhai, J., Peng, L., & Hayes, D. G. (2022). Oil penetration of batter-breaded fish nuggets during deep-fat frying: Effect of frying oils. *Foods*, 11(21), 3369. <https://doi.org/10.3390/foods11213369>
- Dangal, A., Tahergorabi, R., Acharya, D. R., Timsina, P., Rai, K., Dahal, S., Acharya, P., & Giuffrè, A. M. (2024). Correction: Review on deep-fat fried foods: physical and chemical attributes, and consequences of high consumption. *European Food Research And Technology*, 250(11), 2893. <https://doi.org/10.1007/s00217-024-04583-z>
- De Mendonça Lima, L. E., Maciel, B. L. L., & Passos, T. S. (2024). Oil Frying Processes and Alternative Flour Coatings: Physicochemical, Nutritional, and Sensory Parameters of Meat Products. *Foods*, 13(4), 512. <https://doi.org/10.3390/foods13040512>
- Dehghannya, J., Ghaderi, A., & Ghanbarzadeh, B. (2025). Three-dimensional modeling of coupled momentum, heat, and mass transfer during potato frying: Effects of oil temperature, type, frying load, and fryer heating cycles. *Current Research in Food Science*, 10, 101097. DOI: 10.1016/j.crfs.2025.101097.
- Del Rocio Teruel, M., Gordon, M., Linares, M. B., Garrido, M. D., Ahromrit, A., & Niranjan, K. (2015). A Comparative Study of the Characteristics of French Fries Produced by Deep Fat Frying and Air Frying. *Journal Of Food Science*, 80(2), E349-58. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12753>
- Devi, S., Zhang, M., Ju, R., & Bhandari, B. (2020). Water loss and partitioning of the oil fraction of mushroom chips using ultrasound-assisted vacuum frying. *Food Bioscience*, 38, 100753. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100753>
- Graña, S. Á., Abarquero, D., Claro, J., Combarros-Fuertes, P., Fresno, J. M., & Tornadijo, M. E. (2025). Behaviour of sunflower (*Helianthus annuus* L.) oil and high oleic sunflower oil during the frying of churros. *Food Chemistry Advances*, 6, 100899. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2025.100899>
- Grootveld, M. (2022b). Evidence-Based Challenges to the Continued Recommendation and Use of Peroxidatively-Susceptible Polyunsaturated Fatty Acid-Rich Culinary Oils for High-Temperature Frying Practises: Experimental Revelations Focused on Toxic Aldehydic Lipid Oxidation Products. *Frontiers In Nutrition*, 8, 711640. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.711640>
- Hanna, D. R., Walker, R. J., Smalls, B. L., Campbell, J. A., Dawson, A. Z., & Egede, L. E. (2019). Prevalence and correlates of diagnosed and undiagnosed hypertension in the indigenous Kuna population of Panamá. *BMC Public Health*, 19(1), 843. <https://doi.org/10.1186/s12889-019-7211-5>
- Hosry, L. E., Elias, V., Chamoun, V., Halawi, M., Cayot, P., Nehme, A., & Bou-Maroun, E. (2025). Maillard Reaction: Mechanism, Influencing Parameters, Advantages, Disadvantages, and Food Industrial Applications: A Review. *Foods*, 14(11), 1881. <https://doi.org/10.3390/foods14111881>
- Hu, B., Wu, R., Sun, J., Shi, H., Jia, C., Liu, R., & Rong, J. (2023). Monitoring the oxidation process of soybean oil during deep-frying of fish cakes with ¹H nuclear magnetic resonance. *Food Chemistry: X*, 17, 100587. DOI: 10.1016/j.fochx.2023.100587.
- Huang, X., You, Y., Karrar, E., Zhang, H., Jin, Q., Wu, G., & Wang, X. (2023). Effect of moderate electric field voltage on the quality and heat transfer characteristics of potato strips during deep-frying



- process. Food Chemistry: X, 17, 100605. DOI: 10.1016/j.fochx.2023.100605.
- Instituto Conmemorativo Gorgas de Estudios de la Salud, Ministerio de Salud de Panamá, & Instituto Nacional de Estadística y Censo. (2019). Capítulo 8: Estado nutricional y prácticas alimentarias de la población de 15 años y más. Encuesta Nacional de Salud de Panamá (ENSPA 2019). <https://www.gorgas.gob.pa/wp-content/uploads/external/SIGENSPA/documentos/INFORME%20TECNICO%20ENSPA%202019/CAPITULO%208%20ESTADO%20NUTRICIONAL%20Y%20PRACTICAS%20ALIMENTARIAS%20DE%20LA%20POBLACION%20DE%2015%20A%C3%91OS%20Y%20MAS.pdf>
- Instituto Conmemorativo Gorgas de Estudios de la Salud, Ministerio de Salud, & Instituto Nacional de Estadística y Censo. (2021). Encuesta Nacional de Salud de Panamá 2019: Estado nutricional y prácticas alimentarias de la población de 15 años y más. Instituto Conmemorativo Gorgas de Estudios de la Salud.
- Instituto Nacional de Estadística y Censo. (2026). Estadísticas vitales: Volumen III. Defunciones, año 2024. Contraloría General de la República de Panamá.
- Kathuria, D., Hamid, Gautam, S., & Thakur, A. (2023). Maillard reaction in different food products: Effect on product quality, human health and mitigation strategies. Food Control, 153, 109911. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.109911>
- Kreps, F., Krepsová, Z., & Dubaj, T. (2025). Formation of oxidative and cytotoxic products of tocopherols and their adsorption onto the surface of French fries when fried with rapeseed oil. Food Chemistry, 478, 143701. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.143701>
- Lee, H. W., Baek, C. H., Ma, Y., Lee, J., Moon, B., Lee, K., & Jung, M. Y. (2024). Identifying high-risk factors and mitigation strategies for acrylamide formation in air-fried lotus root chips: Impact of cooking parameters, including temperature, time, presoaking, and seasoning. Journal Of Food Science, 89(3), 1473-1484. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16939>
- Li, Y., Guo, Q., Wang, K., Nverjiang, M., Wu, K., Wang, X., & Xia, X. (2022). Monitoring the Changes in Heat Transfer and Water Evaporation of French Fries during Frying to Analyze Its Oil Uptake and Quality. Foods, 11(21), 3473. <https://doi.org/10.3390/foods11213473>
- Liberty, J. T., Dehghannya, J., & Ngadi, M. O. (2019). Effective strategies for reduction of oil content in deep-fat fried foods: A review. Trends In Food Science & Technology, 92, 172-183. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.07.050>
- Lisa, S., Kabir, M., Rahman, M., & Rahman, S. (2022). Qualitative changes of different vegetable oils during repeated deep frying. Bangladesh Journal Of Scientific And Industrial Research, 57(1), 49-60. <https://doi.org/10.3329/bjsir.v57i1.58900>
- Liu, Y., Liu, C., Huang, X., Li, M., Zhao, G., Sun, L., Yu, J., & Deng, W. (2024). Exploring the role of Maillard reaction and lipid oxidation in the advanced glycation end products of batter-coated meat products during frying. Food Research International, 178, 113901. DOI: 10.1016/j.foodres.2023.113901.
- Liyanage, D. W., Yevtushenko, D. P., Konschuh, M., Bizimungu, B., & Lu, Z. (2020). Processing strategies to decrease acrylamide formation, reducing sugars and free asparagine content in potato chips from three commercial cultivars. Food Control, 119, 107452. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107452>
- Lužaić, T., Škrbić, J., Nakov, G., Petrović, J., & Romanić, R. (2025). Deep-frying performance of palm olein and sunflower oil variants: Antioxidant-enriched and high-oleic oil as potential substitutes. Processes, 13(10), 3285. doi: 10.3390/pr13103285.
- Mc Donald, A., Bradshaw, R. A., Fontes, F., Mendoza, E. A., Motta, J. A., Cumbreira, A., & Cruz, C. (2015). Prevalence of obesity in Panama: Some risk factors and associated diseases. BMC Public Health, 15, 1-10. DOI: 10.1186/s12914-015-0388-8.



- Health, 15, Article 1075. <https://doi.org/10.1186/s12889-015-2397-7>
- Manoharan, S., Dubey, P. K., & Sharma, M. (2024). Recent advances in deep-fat frying through pretreatments and edible coating to reduce oil absorption. *Journal Of Food Process Engineering*, 47(8). <https://doi.org/10.1111/jfpe.14706>
- Manzoor, S., Masoodi, F. A., & Rashid, R. (2023). Influence of food type, oil type and frying frequency on the formation of trans-fatty acids during repetitive deep-frying. *Food Control*, 147, 109557. DOI: 10.1016/j.foodcont.2022.109557.
- Ministerio de Comercio e Industrias. (2021, 6 de octubre). Resolución No. 179, por la cual se aprueba el Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 87-2021: Aceites y grasas comestibles reutilizadas. *Gaceta Oficial Digital* No. 29396.
- Ministerio de Salud. (2026, 26 de febrero). Decreto Ejecutivo No. 8, que reglamenta la Ley 430 de 25 de abril de 2024, que crea la Dirección Nacional de Control de Alimentos y Vigilancia Veterinaria y dicta otras disposiciones. *Gaceta Oficial Digital* No. 30471-A.
- Navruz-Varlı, S., & Mortaş, H. (2024). Acrylamide formation in air-fried versus deep and oven-fried potatoes. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1297069. DOI: 10.3389/fnut.2023.1297069.
- Negoită, M., Mihai, A. L., & Horneț, G. A. (2022). Influence of Water, NaCl and Citric Acid Soaking Pre-Treatments on Acrylamide Content in French Fries Prepared in Domestic Conditions. *Foods*, 11(9), 1204. <https://doi.org/10.3390/foods11091204>
- Neitzel, A. L., Smalls, B. L., Walker, R. J., Dawson, A. Z., Campbell, J. A., & Egede, L. E. (2019). Examination of dietary habits among the indigenous Kuna Indians of Panama. *Nutrition Journal*, 18(1), 44. <https://doi.org/10.1186/s12937-019-0469-8>
- Oladunjoye, O. M., & Aluko, O. O. (2024). The perception of food vendors on the associated effects of used cooking oil in Lagos State, Nigeria. *International Journal Of Environmental Health Research*, 34(12), 4096-4109. <https://doi.org/10.1080/09603123.2024.2338888>
- Omidiran, A. T., Odukoya, O. J., Akinbule, O. O., & Sobukola, O. P. (2023). Effect of microwave-assisted pre-drying and deep-fat-frying conditions on some quality attributes of orange-fleshed sweet potato chips. *Food Chemistry Advances*, 3, 100534. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100534>
- Organización Panamericana de la Salud. (2026). Panamá lidera el cambio: Nueva herramienta científica para hacerle frente a la obesidad.
- Rani, L., Kumar, M., Kaushik, D., Kaur, J., Kumar, A., Oz, F., Proestos, C., & Oz, E. (2023). A review on the frying process: Methods, models and their mechanism and application in the food industry. *Food Research International*, 172, 113176. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113176>
- Saini, R., Kaur, S., Aggarwal, P., Dhiman, A., & Suthar, P. (2023). Conventional and emerging innovative processing technologies for quality processing of potato and potato-based products: A review. *Food Control*, 153, 109933. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.109933>
- Santos, C. S., Molina-Garcia, L., Cunha, S. C., & Casal, S. (2017). Fried potatoes: Impact of prolonged frying in monounsaturated oils. *Food Chemistry*, 243, 192-201. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.09.117>
- Saraç, M. G., Dedevas, T., & Can, Ö. P. (2026). Valorization of oleaster seed by-products as functional edible coatings: Impact on oxidation kinetics modeling of frying oil and quality attributes of fried mussels. *Journal of Food Measurement and Characterization*. Advance online publication. DOI: 10.1007/s11694-026-04590-6.
- Shakoor, A., Zhang, C., Xie, J., & Yang, X. (2022). Maillard reaction chemistry in formation of critical intermediates and flavour compounds and their antioxidant properties. *Food Chemistry*, 393, 133416. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133416>



- Szabó, Z., Marosvölgyi, T., Szabó, É., Koczka, V., Verzár, Z., Figler, M., & Decsi, T. (2022). Effects of repeated heating on fatty acid composition of plant-based cooking oils. *Foods*, 11(2), 192. DOI: 10.3390/foods11020192.
- Tirado, D. F., Acevedo, D., & Montero, P. M. (2015). Transferencia de Calor y Materia durante el Proceso de Freído de Alimentos: Tilapia (*Oreochromis niloticus*) y Fruta de Pan (*Artocarpus communis*). *Información Tecnológica*, 26(1), 85-94. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642015000100010>
- Verma, U., Riley, I. M., Lukić, B., Broche, L., Verboven, P., Delcour, J. A., & Nicolai, B. M. (2025). High-speed computed tomography to visualise the 3D microstructural dynamics of oil uptake in deep-fried foods. *Nature Communications*, 16, 2600. DOI: 10.1038/s41467-025-57934-z.
- Wang, X., McClements, D. J., Xu, Z., Meng, M., Qiu, C., Long, J., Jin, Z., & Chen, L. (2023). Recent advances in the optimization of the sensory attributes of fried foods: Appearance, flavor, and texture. *Trends in Food Science & Technology*, 138, 297–309. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.06.012>
- Wang, Z., Liu, Y., Li, Q., Liu, R., Cai, M., & Zhao, S. (2026). Comparative assessment of quality deterioration in various vegetable oils during deep-fat frying of crispy meat. *Foods*, 15(4), 771. DOI: 10.3390/foods15040771.
- Wu, G., Chang, C., Hong, C., Zhang, H., Huang, J., Jin, Q., & Wang, X. (2019). Phenolic compounds as stabilizers of oils and antioxidative mechanisms under frying conditions: A comprehensive review. *Trends In Food Science & Technology*, 92, 33-45. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.07.043>
- Xin, L., Hu, M., Ma, X., Wu, S., Yoong, J. H., Chen, S., Tarmizi, A. H. A., & Zhang, G. (2022). Selection of 12 vegetable oils influences the prevalence of polycyclic aromatic hydrocarbons, fatty acids, tocol homologs and total polar components during deep frying. *Journal Of Food Composition And Analysis*, 114, 104840. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104840>
- Xu, L., Wu, G., Zhang, Y., Wang, Q., Zhao, C., Zhang, H., Jin, Q., & Wang, X. (2020). Evaluation of glycerol core aldehydes formation in edible oils under restaurant deep frying. *Food Research International*, 137, 109696. DOI: 10.1016/j.foodres.2020.109696.
- Xu, L., Ji, X., Wu, G., Karrar, E., Yao, L., & Wang, X. (2021). Influence of Oil Types and Prolonged Frying Time on the Volatile Compounds and Sensory Properties of French Fries. *Journal Of Oleo Science*, 70(7), 885-899. <https://doi.org/10.5650/jos.ess20360>
- Xu, X., Xu, X., Liu, X., Liu, X., Zhang, J., Liang, L., Wen, C., Li, Y., Shen, M., Wu, Y., He, X., Liu, G., Xu, X., & Xu, X. (2023). Formation, migration, derivation, and generation mechanism of polycyclic aromatic hydrocarbons during frying. *Food Chemistry*, 425, 136485. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136485>
- Yang, D., Zhu, L., Wu, G., Li, X., Li, P., Zhang, H., & Liu, T. (2022). Whether the degradation of frying oil affects oil absorption: Tracking fresh and degraded oil in fried potato strips during frying and cooling and microstructure characterization. *Food And Bioproducts Processing*, 133, 87-99. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2022.03.001>
- Zaghi, A. N., Barbalho, S. M., Guiguer, E. L., & Otoboni, A. M. (2019). Frying Process: From Conventional to Air Frying Technology. *Food Reviews International*, 35(8), 763-777. <https://doi.org/10.1080/87559129.2019.1600541>
- Zhang, Y., Zhang, T., Fan, D., Li, J., & Fan, L. (2018). The description of oil absorption behavior of potato chips during the frying. *LWT*, 96, 119-126. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.04.094>
- Zhang, X., Zhang, M., & Adhikari, B. (2020). Recent developments in frying technologies applied to fresh foods. *Trends In Food Science & Technology*, 98, 68-81.



<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.02.007>

Zhang, J., & Fan, L. (2021). Effects of preliminary treatment by ultrasonic and convective air drying on the properties and oil absorption of potato chips. *Ultrasonics Sonochemistry*, 74, 105548.

<https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105548>

Zhang, S., Gong, Z., Wang, S., Zhao, S., Mao, W., Liu, B., & Liu, Y. (2025). Comprehensive insights into oil absorption in fried foods: The role of surface characteristics. *Food Chemistry*, 483, 144341.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.144341>

Zhou, Z., Gao, P., Zhou, Y., Wang, X., Yin, J., Zhong, W., & Reaney, M. J. T. (2024). Comparative analysis of frying performance: Assessing stability, nutritional value, and safety of high-oleic rapeseed oils. *Foods*, 13(17), 2788. doi: 10.3390/foods13172788.