

## Nuevas tecnologías de freído para reducir el contenido de grasa en alimentos fritos

Aguilera Bocanegra Sandra Paola<sup>1</sup>, Belteton Urbina David Gerardo<sup>2</sup>, Monrroy García María Emma<sup>1</sup>, Muñoz Roa José Fernando<sup>1</sup>, Solares Alvarado Ana Paola<sup>1</sup>, Vega Villagomez Yesica<sup>3</sup> y Sosa-Morales María Elena<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Lic. en Ingeniería en Alimentos, Departamento de Alimentos, División de Ciencias de la Vida, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato, México. \*Asesora: msosa@ugto.mx

<sup>2</sup> Lic. en Ingeniería Química, Universidad San Carlos, Guatemala.

<sup>3</sup> Lic. en Nutrición, División de Ciencias de la Salud e Ingenierías, Campus Celaya-Salvatierra, Universidad de Guanajuato, México.

### Resumen

México ocupa el primer lugar en obesidad adulta e infantil en el mundo. El aumento de peso en la población se debe a la baja actividad física y dietas altas en calorías, que incluyen diversos alimentos, entre ellos, productos ricos en grasas. Los alimentos fritos se caracterizan por su color, sabor y textura únicos, y son obtenidos por la cocción por inmersión en grasas o aceites; contienen del 25 al 40% en peso de grasa. Para reducir el problema de sobrepeso y obesidad, se debe modificar la dieta, activarse físicamente y buscar alimentos más saludables. Para dar opciones más saludables a los consumidores, se han propuesto estrategias de proceso para reducir el contenido de grasa en productos fritos. El reto es lograr alimentos más saludables, pero impactar lo menos posible las propiedades físicas, ya que la reducción de grasa reduce la palatabilidad y el sabor de los alimentos fritos. El objetivo del presente proyecto es revisar las estrategias más novedosas propuestas para freído de alimentos, como freído al vacío, freído asistido con microondas, freído asistido con ultrasonido, freído con centrifugación y freído por aspersión.

**Palabras clave:** freído, freído al aire, freído al vacío, freído asistido con microondas, freído asistido con ultrasonido, freído con centrifugación, freído por aspersión.

### Introducción

El freído es el método de cocción más practicado y la técnica más rentable para la conservación de alimentos (Mujumdar y Devahastin, 2008). El freído de alimentos puede prolongar la vida útil de las frutas y verduras, y el aceite para freír puede aumentar los sabores de los productos; sin embargo, un aceite de freído inadecuado puede tener efectos perjudiciales para la salud del consumidor. De acuerdo a lo anterior, la Organización Mundial de la Salud, ha dado a conocer que desde el año de 1975 la prevalencia de obesidad y el sobrepeso se ha triplicado, y se resalta que este es un problema que no únicamente aqueja a la población adulta, sino que se encuentra presente desde la infancia y adolescencia en gran parte de la población a nivel mundial; aunado a lo anterior se ha dado a conocer por dicha organización que, el aumento en el consumo de alimentos ricos en grasa y por tanto, hipercalóricos, son parte de las principales causas de la gran presencia del sobrepeso y obesidad en la población, por lo que es imprescindible el abordaje en la reducción del consumo de grasas en alimentos fritos a raíz de la gran cantidad de enfermedades cardiovasculares, cánceres y trastornos del aparato locomotor, que se desarrollan por el alto consumo de grasas en los alimentos en combinación con la vida sedentaria (WHO, 2021).

Para reducir el problema de sobrepeso y obesidad, se debe modificar la dieta, activarse físicamente y buscar alimentos más saludables. Para dar opciones más saludables a los consumidores, se han propuesto estrategias de proceso para reducir el contenido de grasa en productos fritos. El reto es lograr alimentos más saludables, pero impactar lo menos posible las propiedades físicas, ya que la reducción de grasa reduce la palatabilidad y el sabor de los alimentos fritos. Por ello, se han desarrollado nuevas tecnologías para el freído de alimentos, en los que se logre reducir la absorción de aceite y tratando de conservar las características especiales de los productos fritos. Entre las tecnologías desarrolladas, se encuentran freído al vacío, freído asistido con microondas, freído asistido con ultrasonido, freído con centrifugación y freído por aspersión. Su principio, modo de aplicación y ejemplos de resultados obtenidos en diversos alimentos en los últimos años se muestran a continuación.

### Freído al aire (*Air frying*)

El freído al aire es una nueva técnica de freído, la cual usa aire caliente en lugar de aceite como el medio de transferencia de calor. Comparado con el freído tradicional, el freído al aire requiere mucho menor cantidad de aceite, reduciendo hasta en un 80% el contenido de grasa de los alimentos, por lo cual es una opción de freído bastante

saludable (Cao *et al.*, 2020). El principio del freído al aire consiste en calentar el aire en la parte superior de una freidora eléctrica usando un ventilador de alta potencia que hace que circule rápidamente el calor en la cámara cerrada, asegurando que los productos entren en contacto directo con el aire caliente y las gotas de aceite dispersas en él promoviendo un contacto homogéneo entre ambas fases, así, la corteza crujiente característica de los alimentos fritos se forma debido a la deshidratación (Abd Rahman *et al.*, 2016, Andrés *et al.*, 2013).

Se ha encontrado que los productos fritos tales como, papas a la francesa, nuggets de pollo, papas fritas y donas presentan propiedades similares a los que son freídos por inmersión en aceite, sin embargo, el tiempo requerido es mayor para alcanzar las características sensoriales aceptables en el freído al aire. Esta nueva tecnología también puede ser usada para cocinar otros alimentos como tocino, huevos, pollo o para deshidratar frutas o verduras como manzana, plátano, zanahoria, entre otras.

**Tabla 1.** Reportes de alimentos freídos al aire.

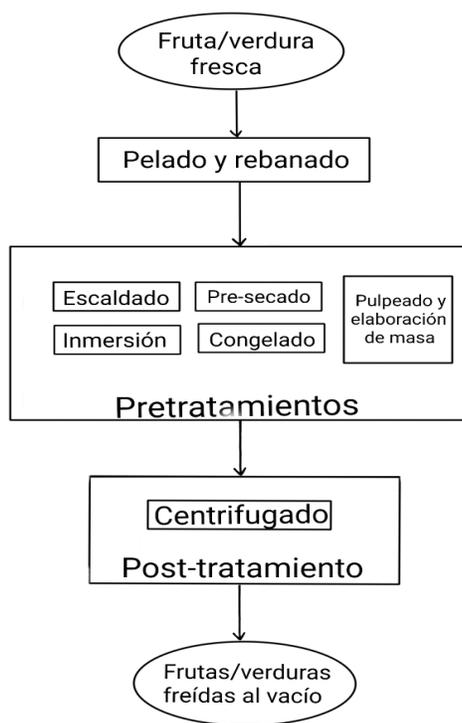
Alimento	Condiciones probadas	Resultados	Referencia
<b>Nuggets de pollo</b>	Se usaron Nuggets congelados comerciales y una freidora de aire Philips HD9467, la cual se precalentó a 180°C, no se le agregó aceite debido a que los Nuggets ya tienen cierto porcentaje de grasa congelada.	El contenido de aceite se encontró que fue 25% menor en comparación con el freído tradicional. Sin embargo, las características sensoriales y la aceptación fueron muy diferentes, el tiempo en el freído al aire de 9 minutos fue el que más se acercó para obtener un producto similar al freído tradicional de 3 minutos.	Cao <i>et al.</i> , 2020
<b>Papas a la francesa</b>	Se experimentó con papas frescas, papas escaldadas y papas prefritas comerciales congeladas. Se usó una freidora de aire Tefal AH-9000 precalentada a 180°C y con 0.003kg de aceite por cada kg de papas.	En las papas congeladas se redujo contenido de aceite como resultado de la fusión de la capa de grasa y no se perdió tanto volumen. En las papas sin tratamiento se encontró que tuvieron menor pérdida de agua y de volumen que las papas escaldadas debido a la deshidratación y poca cantidad de aceite absorbido.	Andrés <i>et al.</i> , 2013
<b>Donas</b>	Se elaboraron donas y se frieron por inmersión a 150, 165 y 180°C por 4, 6, y 8 minutos por ambos lados; y por aire a 150, 165 y 180°C por 4-8 minutos usando una HD9240 Philips, el aire penetró a toda la dona y no hubo necesidad de que se volteara.	El grosor y dureza de la costra aumentaba a medida que incrementaba el tiempo y la temperatura en ambos métodos debido a la transferencia de calor, ya que unas partes recibían más que otras, por lo cual la capa no era uniforme ni el color y superficie de las donas. A los 150°C, los tiempos para ambos métodos fueron iguales.	Ghaitaranpour A. <i>et al.</i> , 2018

<b>Snacks de pescado</b>	Se usó el pescado <i>Nemipterus japonicas</i> para elaborar los snacks en una freidora de aire HD9220 Philips con aceite de girasol. Se realizaron 9 experimentos alterando tiempos y temperaturas (5-12 min y 160-200°C) y también se realizó un freído por inmersión.	De acuerdo con la evaluación sensorial realizada, las muestras más aceptadas fueron a 180°C por 12 min. Respecto a los parámetros de apariencia, color, textura y sabor, no se encontraron diferencias significativas ( $p>0.05$ ) entre las muestras freídas al aire (180°C por 12 min) y freídas por inmersión.	Joshy C.G. <i>et al.</i> , 2020
<b>Papas Chips</b>	Se experimentó con papa fresca ( <i>Solanum tuberosum</i> L., Spunta variety). Se utilizó una freidora de aire Tefal SERIE 001 ActiFry precalentada a 180°C con 0.03kg de aceite por kg de papa durante 40 minutos.	Se demostró que el contenido de humedad y de aceite en el freído al aire disminuye significativamente, asimismo el color y textura deseables son muy bajos en comparación con el freído por inmersión. Sin embargo, existe menos degradación oxidativa en el aceite.	Mohamed-Basuny y Hazam Al-Otabi, 2016

### Freído al vacío (*Vacuum frying*)

El freído al vacío es una técnica alternativa para mejorar la calidad de los alimentos deshidratados (Song *et al.*, 2007). Funciona a temperaturas relativamente más bajas (por ejemplo, 130°C), por lo que la textura, el color, el sabor y el valor nutricional se conservan mejor y de forma natural. Este proceso evita o reduce la formación de sustancias nocivas en el freído tradicional, como la acrilamida y el exceso de aceite saturado, por lo tanto, satisface las demandas de la salud pública moderna. El proceso que se sigue para esta tecnología se muestra en la Figura 1.

Los productos freídos al vacío tienen un bajo contenido de agua (<6%) y una baja actividad de agua ( $a_w < 0.3$ ) (Tawong, 2000; Piamkhla, 2004; Wongsuwan y Laosuksuwan, 2006). En condiciones de vacío, la temperatura de freído es constante y no supera los 100°C y el tiempo de freído no supera las 2 h. El freído al vacío es un proceso energéticamente eficiente. (Granda *et al.*, 2004). Los productos pueden absorber entre un 25 y un 55% menos de aceite (Garayo y Moreira, 2002; Dueik y Bouchon, 2010); y la ausencia de aire durante el freído puede inhibir la oxidación, incluida la oxidación de los lípidos y el oscurecimiento enzimático; por lo tanto, el color y los nutrientes de los alimentos pueden conservarse en gran medida. (Xu, 1996; Tarzi *et al.*, 2011). En términos económicos, el costo de inversión del proceso de freído al vacío es mayor que el del freído convencional. Esto se debe a que la técnica de freído al vacío está diseñada básicamente para la industria a gran escala, por lo que los elevados costos de inversión son una desventaja sustancial a la hora de aplicar esta técnica en la producción a pequeña escala (Inprasit, 2011).



**Figura 1.** Diagrama de flujo del proceso de freído al vacío (basado en Ayustaningwarno *et al.*, (2018))

Al freír al vacío, el punto de ebullición del agua puede reducirse hasta 35–40°C, por lo que la temperatura de freído puede ser tan baja como 90–100°C. Shyu y Hwang (2001) descubrieron que las condiciones óptimas para freír patatas fritas de manzana son una presión de 3,115 kPa, una temperatura de freído de 100–110°C, un tiempo de freído de 20–25 min y una concentración de la solución de fructosa de inmersión del 30–40%.

**Tabla 2.** Aplicación del freído al vacío en diferentes alimentos

Alimento	Condiciones probadas	Resultados	Referencia
Papas ( <i>Solanum tuberosum</i> )	Los experimentos de freído al vacío se realizaron a 118 °C, 125 °C y 140 °C a una presión de vacío de 10 Torr. Las papas se cortaron en rodajas (de 1,5 mm de grosor) y se frieron durante diferentes períodos de tiempo.	El contenido de acrilamida en las patatas fritas se redujo en un 63% al disminuir la temperatura de 140°C a 125°C en el freído al vacío. El aumento del tiempo de freído incrementó la formación de acrilamida durante el freído para todas las temperaturas y métodos. Sin embargo, el efecto sobre la concentración de acrilamida fue mayor en freído tradicional.	Granda <i>et al.</i> , 2004
Frijoles ( <i>Phaseolus vulgaris</i> )	Las mejores condiciones en freído al vacío son: 90°C por 30 minutos	Las frijoles fritos con esta variable tienen un sabor poco amargo, de color marrón verdoso, muy crujientes, y tienen un olor muy fuerte a frijol. El contenido de agua es del 8,62%	Septiyani, 2012

<p><b>Manzana (<i>Malus domestica</i>)</b></p>	<p>El tiempo de freído fue de 35, 40, 45, 50 y 55 min. Con 750g de materia cruda a 80°C</p>	<p>Los resultados indican que el contenido de agua de las papitas había disminuido un 9,45%, 7,46%, 6,44%, 5,47% y 4,97 respectivamente. De la prueba organoléptica las chips de manzanas preferidas se procesaron con una temp. de 80°C y un tiempo de 50 min.; con un color favorable, un sabor era delicioso, y crujientes.</p>	<p>Shidqiana, 2012</p>
<p><b>Yaca (<i>Artocarpus heterophyllus</i>)</b></p>	<p>Las rodajas de de yaca se frieron en una freidora al vacío con centrifugadora. La presión de vacío de trabajo fue de 100 mbar para todas las condiciones experimentales. El aceite de freído se calentó a 3 diferentes T (80, 90 y 100°C) durante varios intervalos de tiempo (5, 10, 15, 20, 25 y 30 minutos). Las chips de yaca se centrifugaron a vacío a 500 rpm durante 8 minutos para eliminar el aceite.</p>	<p>Al final del freído (30 min), el % eliminado de humedad en las chips de Yaca fue de de 90, 95 y 97%; el % de contracción fue de 31, 38 y 49%; y el % de aceite era de 28,7, 34,79 y 35,15% a 80, 90 y 100°C, respectivamente.</p>	<p>Maity <i>et al.</i>, 2014</p>
<p><b>Garbanzo (<i>Cicer arietinum</i>)</b></p>	<p>se remoja en solución CaCl<sub>2</sub>. Para el método de aromatización en húmedo, el garbanzo fue hervido con el sabor, mientras que para el método de aromatización en seco, el garbanzo fue escaldado al vapor. A temp. de 65, 75 y 85°C con una presión de vacío de 72 cm Hg, y envasado en papel de aluminio. A un rango de tiempo de 1.08-1.41 h.</p>	<p>En ambos métodos de aromatización de garbanzo, la humedad fue de 6,33-7,39%; las cenizas, de 4,45-6,10%; la grasa, de 33,95-42,93%; proteínas, de 10,86-12,24%; la fibra bruta, de 11,94-14,10%; los ácidos grasos libres (AGL), de 0,62-0,70%; la vitamina C, de 0,27-0,46 mg/100g; y la vitamina A, de 135,54-265,39 ppm.</p>	<p>Widaningrum <i>et al.</i>, 2008</p>
<p><b>Donas</b></p>	<p>Se utilizaron tres niveles de vacío (3, 6 y 9 kPa) con tres diferentes T (150, 165 y 180°C) para freír al vacío. Se llenó el recipiente utilizado con 5,5 L de manteca líquida, se calentó a la T designada y se</p>	<p>La tasa de secado más alta se observó a 9 kPa de vacío y 180°C, donde la dona perdió alrededor del 23% de humedad en el primer minuto; por el contrario, la tasa de secado más baja, se observó alrededor del 17% de pérdida de humedad a 3 kPa de vacío y 150°C.</p>	<p>Tan y Mittal, (2006)</p>

	mantuvo constante durante 20 minutos antes del freído.	El contenido de humedad final de las donas varió entre el 32 y el 35%. La absorción de aceite aumentó al aumentar el nivel de vacío o al disminuir la T. Esta alcanzó un valor máximo de 20,3% a 9 kPa de vacío y 150°C después de 1 min.	
--	--	---	--

### Freído asistido por microondas (*Microwave-assisted frying*)

La radiación microondas es el término utilizado para denominar a las radiaciones electromagnéticas no ionizantes que se producen en la porción del espectro electromagnético en la gama de frecuencias entre 300 MHz y 300 GHz y longitudes de onda dadas por la velocidad de la luz ( $3 \times 10^8$  m/s) entre la frecuencia (Hz) (Tang, 2015), por lo que corresponden a longitudes de entre un 1 m y un 1 mm (Moreno et al., 2017). El calentamiento de los alimentos por microondas se genera a partir de la interacción del campo electromagnético y la materia, en este caso, los alimentos; esta interacción depende de las características, composición, estado físico y geometría de los alimentos. "Los alimentos que contienen moléculas polares como el agua se calientan rápidamente cuando se expone a la radiación de microondas, debido a la fricción molecular, generada por la rotación dipolar de moléculas en la presencia de un campo eléctrico alternativo" (Pérez y Sosa, 2013). Se ha demostrado que el freído asistido por microondas es hasta un 80% más eficiente en cuestión de energía que los métodos convencionales con respecto a la cocción de alimentos y que esto es gracias a la adición de energía de microondas en los alimentos, lo que genera un aumento en el coeficiente de transferencia de calor en el proceso de freído, por ello se cree que existe una amplia relación entre este método de cocción y la absorción de aceite y retención de agua (Luna, 2019).

**Tabla 3.** Alimentos utilizados para freído asistido por microondas

Alimento	Características evaluadas	Resultados	Referencia
Papa	Humedad, absorción de aceite, color, olor y dureza.  Mediante Técnica Taguchi	El contenido de humedad disminuyó mientras que el contenido de aceite, la dureza y el color de las papas aumentaron al aumentar el tiempo de fritura y el nivel de potencia de microondas. La condición óptima fue freír a un nivel de potencia de microondas de 550 W, durante 2.5 min en aceite de girasol.	Oztop et al., 2007
Aceite de girasol y papas	Perfil de ácidos grasos, ácidos grasos libres, coeficiente de extinción, compuestos polares, color, viscosidad e índice de refracción.	El freído en microondas provocó un mayor tiempo de procesamiento y niveles significativamente más altos de degradación del aceite de girasol en todos los niveles de potencia en comparación con la fritura profunda. Sin embargo, la fritura en microondas tiene la ventaja de reducir la absorción de aceite. El contenido de aceite de las papas fritas se redujo en un 20-33% (wb) en el nivel de potencia más alto	Aydinkaptan y Mazi, 2017

<b>Recubrimiento de pollo (rebozado con diferentes harinas)</b>	<p>Humedad, color y acrilamida.</p> <p>Utilizando harina de soya, garbanzo y arroz</p>	<p>Todos los tipos de harina, excepto la de soja, dio como resultado aproximadamente el mismo contenido de humedad y desarrollo de color después de 1,5 minutos. Esta reducción en el nivel de acrilamida fue la más alta (34,5%) para el rebozado de harina de arroz</p>	<p>Barutcu et al., 2009</p>
---	--	---	-----------------------------

### Freído asistido con ultrasonido (*Ultrasound-assisted frying*)

El ultrasonido es una forma de energía de vibración mecánica. El rango de frecuencia de este tipo de ondas es muy alto, por lo que el humano no las puede percibir, este rango ronda entre los 20 y los 100 kHz. Se utilizan varias frecuencias, diferentes tiempos de tratamiento y se utilizan las temperaturas más adecuadas para un determinado alimento. El sonido pasa a través de los alimentos en forma de ondas, estas ondas al pasar a través de un medio acuoso se generan cavidades grandes (cavitación) los cuales colapsan liberando una alta presión y temperatura (Wang *et al.*, 2019). El ultrasonido se usa para diferentes procesos en la industria alimentaria ya que, al propagarse las ondas a través del medio, se cambia este y así se mejora la eficiencia de procesos como cortado, fermentación, cristalización y hasta conservación. El principal factor que mejora estos procesos es la cavitación antes explicada, sin embargo, existen otros efectos como el efecto calentamiento y el efecto esponja, este último ayuda también porque gracias a él se generan micro canales en el alimento por los cuales se puede escapar la humedad más rápido (Huang *et al.*, 2018). Incluso se puede hablar de una forma de hacer la carne más tierna. Wang et al. encontró que la diferencia entre una carne suave y otra es la red miofibrilar y de tejidos conectivos, la cual se ve principalmente afectada por los cambios térmicos en estas redes y que los tratamientos con ultrasonido pueden ayudar a la destrucción de estas redes haciendo a la carne más suave. Algunos alimentos en los que se ha utilizado ultrasonido en alguna etapa del proceso se muestran en la siguiente Tabla 4.

**Tabla 4.** Algunos alimentos en los que se ha utilizado ultrasonido en alguna etapa del proceso.

Alimento	Tratamiento	Resultados	Cita
<b>Chips de calabaza fritas</b>	Freído al vacío con microondas y ultrasonido.	La aplicación de ultrasonido al freído al vacío si aumenta los parámetros de calidad y al combinarlo con microondas se obtienen tiempos de freído menores, menor contenido de humedad y menor absorción de aceite y mejor textura sin afectar el color del producto final, esto respecto a los otros freídos sin ultrasonido.	Huang et al., 2018
<b>Papas fritas en tiras</b>	Pretratamiento de secado por aire asistido con ultrasonido.	Los resultados muestran que las papas fritas con el pretratamiento con ultrasonido tuvieron los valores de contenido de aceite menores que las papas fritas sin el pretratamiento.	Dehghannya et al., 2015
<b>Chips de camote fritas</b>	Pretratamiento con ultrasonido a las rebanadas de camote en 100ml de agua con 3g de sal,	El aplicar ultrasonido como pretratamiento parece mejorar significativamente las cualidades sensoriales y la aceptación, el contenido de humedad y la absorción	Qui et al., 2018

	posteriormente secadas con papel absorbente y fritas al vacío asistido con microondas.	de aceite. A mayor potencia del ultrasonido la mejora es mejor, sin embargo, la pared celular parece ser dañada. Al final se produjeron chips de camote más saldables, más crujientes y con colores más naturales.	
<b>Chips de champiñones fritas</b>	Freído al vacío asistido con microondas y ultrasonido.	Las muestras obtenidas de este tratamiento muestran contenidos de humedad menores, una absorción de aceite menor, una fuerza de rotura menor (más crujientes) y tiempos de freído menores, esto comparado con las muestras obtenidas del freído al vacío asistido con microondas y del freído al vacío.	Devi et al., 2018
<b>Albóndigas fritas</b>	Freído asistido con ultrasonido.	La aplicación de diferentes potencias de ultrasonido al freído de las albóndigas produce mejoras en el rendimiento, reduce el tiempo de freído, una alta retención de humedad, se tienen características más apetecibles para el consumidor como una textura más suave y un color más apetecible.	Wang et al., 2019

### Freído con centrifugación (*G-frying*)

El término G-Frying se refiere a la aplicación de fuerzas centrífugas durante o después de la fritura (Khalilian *et al.*, 2021), con el fin de reducir el aceite que es absorbido por los alimentos. Al hablar de centrifugación tenemos un método por el cual se pueden separar sólidos de líquidos de diferente densidad por medio de una fuerza giratoria. Los componentes más densos se desplazan fuera del eje de rotación en la centrifuga, mientras que los componentes menos densos de la mezcla se desplazan hacia el eje de rotación. De esta manera es posible aumentar la fuerza de gravedad efectiva en los sólidos para producir una separación efectiva y reducir la cantidad de aceite absorbido durante y después del freído. El giro uniforme del aceite de fritura mediante la aplicación de la fuerza centrífuga debería tener la ventaja de aumentar y distribuir eficazmente los procesos de transferencia de calor y masa.

Según Khalilian *et al.* (2021), al utilizar la tecnología del G-Frying durante el proceso de freído y secado de berenjenas se puede reducir el contenido de aceite de las muestras finales de un 60 a 80% dependiendo si se colocan de forma paralela o perpendicular a la fuerza de centrifugación. Mientras que para hamburguesas tratadas térmicamente Oroszvári, *et al.* (2006) sugieren que la centrifugación proporciona una oportunidad para determinar la permeabilidad de grasa en las hamburguesas de carne.

### Freído por aspersión (*Spray frying*)

Es una técnica que consiste en rociar el aceite sobre el alimento. Uno de los productos en los que se ha estudiado los efectos del freído por aspersión son las galletas de arroz, que son muy populares en Tailandia, de forma general, su proceso de elaboración consiste en cocer el arroz al vapor, darle forma, deshidratarlo y freírlo. En este estudio las muestras se frieron con oleína de palma a  $190 \pm 3$  °C durante 10 min, la cual fue rociada sobre las galletas a diferentes flujos y velocidades de centrifuga, para dicho proceso se diseñó y fabricó una maquinaria (figura 1) la cual consta principalmente de un tanque de aceite (1), una cámara de freír con una canasta interior (2), un sistema de rociado de aceite (3), un sistema de filtro de aceite (4) y un sistema de control. (Udomkun *et al.*, 2019). Los responsables de esta investigación demostraron que en términos de absorción de aceite y color da resultados favorables, sin embargo, la textura y humedad se ven afectadas (Udomkun *et al.*, 2019). Cabe mencionar que se carece de información tanto a nivel de investigación como industrial sobre el freído por aspersión.

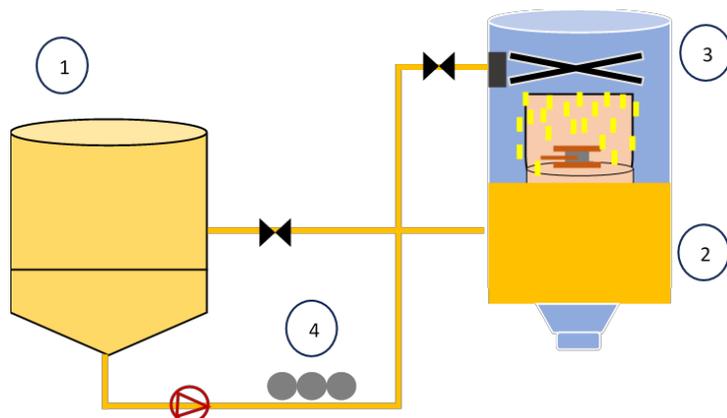


Figura 2. Esquema de freído por aspersión (adaptada de Udomkun et al., 2019)

## Conclusiones

Las nuevas tecnologías en freído pueden ayudar a reducir el contenido de grasa en alimentos fritos y en general, se mantienen las propiedades de los alimentos fritos. Sin embargo, aún son métodos costosos para llevarlos a cabo a nivel industrial. Se requieren más estudios multidisciplinarios para lograr su aplicación a mediano plazo y lograr alimentos con menor contenido de grasa que ayuden a mitigar los problemas de salud en México.

## Bibliografía/Referencias

- Andrés A., Arguelles A., Castello M. L., Heredia A. (2012). Mass transfer and volume change in French fries during air frying. *Food Bioprocess Technol*, 6, 1917-1924
- Aydinkaptan, E. y Mazi, IB (2017). Monitorización de las características fisicoquímicas del aceite de girasol y las patatas fritas durante la fritura repetida en microondas y la fritura profunda. *Grasas y Aceites*, 68 (3), e202-e202.
- Ayustaningwarno, F., Flogiano, V., Verkerk, R., y Dekker, M. (2018). Effect of Vacuum Frying on Quality Attributes of Fruits. *Food Engineering Reviews*, 10.
- Barutcu, I., Sahin, S. y Sumnu, G. (2009). Formación de acrilamida en diferentes formulaciones de rebozado durante la fritura en microondas. *LWT-Ciencia y tecnología de los Alimentos*, 42 (1), 17-22.
- Cao Y., Wu G., Zhang F., Xu L., Jin Q., Huang J., Wang X. (2020). A comparative study of physicochemical and flavor characteristics of chicken nuggets during air frying and deep frying. *J Am Oil Chem Soc* 97, 901-913.
- Dehghannya, J., Naghavi, E.-A., y Ghanbarzadeh, B. (2015). Frying of Potato Strips Pretreated by Ultrasound-Assisted Air-Drying. *Journal of Food Processing and Preservation (Vol. 40)*, 583-592.
- Devi, S., Zhang, M., y Lim, C. (2018). Effect of ultrasound and microwave assisted vacuum frying on mushroom (*Agaricus bisporus*) chips quality. *Food Bioscience (25)*, 111-117.
- Dueik, V., Robert, P., & Bouchon, P. (2010). Vacuum frying reduces oil uptake and improves the quality parameters of carrot crisps. *Food Chemistry*, 119(3), 1143-1149.
- Garayo, J., & Moreira, R. (2002). Vacuum frying of potato chips. *Journal of food engineering*, 55(2), 181-191.
- Ghaitaranpoura A., Koochekia A., Mohebbia M., Ngadib M. O. (2018). Effect of deep fat and hot air frying on doughnuts physical properties and kinetic of crust formation. *Journal of Cereal Science* 83, 25-31
- Granda, C., Moreira, R., y Tichy, S. (2004). Reduction of Acrylamide Formation in Potato Chips by Low-temperature Vacuum Frying. *Journal of Food Science*, 69: E405-E411.

- Huang, M.-s., Zhang, M., & Bhandari, B. (2018). Synergistic effects of ultrasound and microwave on the pumpkin slices qualities during ultrasound-assisted microwave vacuum frying. *Journal of Food Process Engineering (Vol. 41)*, 382-389.
- Inprasit, C. (2011). Vacuum frying. Department of Food Engineering, Kasetsart University, Bangkok.
- Josh, C.G., Ratheesh, G., Ninan, G., Kumar K., Ravishankar C. N. (2020). Optimizing air-frying process conditions for the development of healthy fish snack using response surface methodology under correlated observations. *J Food Sci Technol* 57, 2651-2658.
- Khalilian, S., Mba, O. I., & Ngadi, M. O. (2021). g-Frying of eggplant (*Solanum melongena* L.). *Journal of Food Engineering*, 293, 110358.
- Kovácsné Oroszvári, B., Sofia Rocha, C., Sjöholm, I., & Tornberg, E. (2006). Permeability and mass transfer as a function of the cooking temperature during the frying of beefburgers. *Journal of Food Engineering*, 74(1), 1-12.
- Luna Marquez, E. E. (2019). Effect of Microwave Frying on Moisture Transport and Oil Uptake in Fried Foods. Food science and technology major. [Tesis, Zamorano]. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6569/1/AGI-2019-T036.pdf>
- Maity, T., Bawa, A. S., y Raju, P. S. (2014). Effect of Vacuum Frying on Changes in Quality Attributes of Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) Bulb Slices. *International Journal of Food Science*.
- Mohamed-Basuny A., Hazam Al-Otabi H. (2016). Effect of a novel technology (air and vacuum frying) on sensory evaluation and acrylamide generation in fried potato chips. *Banat's Journal of Biotechnology* 7 (14), 101-113.
- Moreno, Á. H., Hernández, R., & Ballesteros, I. (2017). Secado industrial con energía microondas. Aplicaciones Industriales del Calentamiento con Energía Microondas. 1st ed. Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi, 85-118.
- Mujumdar, A. S., y Devahastin, S. (2000). Fundamental principles of drying. *Exergex, Brossard, Canada*, 1(1), 1-22.
- Oztop, MH, Sahin, S. y Sumnu, G. (2007). Optimización de la fritura en microondas de rodajas de patata mediante la técnica de Taguchi. *Revista de ingeniería alimentaria*, 79 (1), 83-91.
- Pérez-Reyes, M. E., & Sosa-Morales, M. E. (2013). Mecanismos de transferencia de calor que ocurren en tratamientos térmicos de alimentos. *Temas selectos de ingeniería de alimentos*, 7(1), 37-47.
- Piamkhla, N. (2004). Study of appropriate condition for frozen ripe Durian chips in vacuum fryer (Doctoral dissertation, M. Sc. Thesis). Food Engineering Department, Faculty of Graduate Student, Kasetsart University, Bangkok. [Thai].
- Qui, L., Zhang, M., Wang, Y., & Bhandari, B. (2018). Effects of ultrasound pretreatments on the quality of fried sweet potato (*Ipomea batatas*) chips during microwave-assisted vacuum frying. *Journal of Food Process Engineering (Vol. 41, Issue 8)*.
- Septiyani, F. E. (2012). Influence of temperature and time on making chips beans with vacuum frying. [Hon. Thesis]. Faculty of Engineering, Diponegoro University, Semarang. [Indonesian].
- Setyawan, A. D. W. I., Sugiyarto, S., y Susilowati, A. R. I. (2013). Review: Physical, physical chemistries, chemical and sensorial characteristics of the several fruits and vegetables chips produced by low-temperature of vacuum frying machine. *Nusant Biosci*, 5(2), 86-103.
- Shidqiana, S. (2012). Time optimization in process of fruit apple chips (*Pyrus malus* L.) with vacuum fryng. [Hon. Thesis]. Faculty of Engineering, Diponegoro University, Semarang. [Indonesian].
- Shyu, S. L., y Hwang, L. S. (2001). Effects of processing conditions on the quality of vacuum fried apple chips. *Food research international*, 34(2-3), 133-142.
- Song, X. J., Zhang, M., y Mujumdar, A. S. (2007). Optimization of vacuum microwave predrying and vacuum frying conditions to produce fried potato chips. *Drying technology*, 25(12), 2027-2034.
- Tan, K. J., y Mittal, G. S. (2006). Physicochemical Properties Changes of Donuts During Vacuum Frying. *International Journal of Food Properties*, 9(1), 85-98.
- Tang, J. (2015). Unlocking Potentials of Microwaves for Food Safety and Quality. *Journal of Food Science*. 80(8), 1-18.
- Udomkun, P., Tangsantaskul, J., y Innawong, B. (2019). Influence of process parameters on the physico-chemical and microstructural properties of rice crackers: A case study of novel spray-frying technique. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*.
- Wang, Y., Zhang, W., & Zhou, G. (2019). Effects of ultrasound-assisted frying on the physicochemical properties and microstructure of fried meatballs. *International Journal of Food Science and Technology*, 54, 2915-2926.
- WHO. (2021). Organización Mundial de la Salud. Obtenido de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>

- Widaningrum, N. S., & Setyabudi, D. A. (2008). Effect of different technique of flavoring and vacuum frying temperature on chemical and sensory properties of young chickpea (*Phaseolus radiatus*) chips. *J. Pascapanen*, 5, 45-54.
- Wongsuwan, J., & Laosuksuwan, C. (2006). Oil uptake reduction of fruit chips in vacuum frying. Project study. Food Engineering Department, Faculty of Engineering, Kasetsart University (Kamphaengsaen Campus)(In Thai).
- Xu, M. D. (1996). Study on the main parameter of the processing of the vacuum frying potato chips. *Journal of the Northwest Institute of Light Industry*, 93-96.