



Enfoque UTE

E-ISSN: 1390-6542

enfoque@ute.edu.ec

Universidad Tecnológica Equinoccial

Ecuador

Coronel, Manuel

Fritura al Vacío: Un enfoque nutricional

Enfoque UTE, vol. 5, núm. 3, julio-septiembre, 2014, pp. 15-24

Universidad Tecnológica Equinoccial

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=572260844002>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Fritura al Vacío: Un enfoque nutricional

(Vacuum Frying: A nutritional approach)

Manuel Coronel¹

Resumen:

Uno de los más grandes rubros de la industria alimenticia es la producción de snacks, pero estos presentan, generalmente, un perfil nutricional poco adecuado dentro de una alimentación saludable. La tecnología de Fritura al vacío se presenta como una clara opción de procesamiento para el desarrollo de nuevos productos y de los ya existentes. Este artículo de revisión presenta las ventajas del uso de la Tecnología de Fritura al Vacío en diferentes tipos de alimentos, especialmente en relación al contenido de algunos micronutrientes y grasa. Se mencionan además los trabajos efectuados en Ecuador, especialmente en productos autóctonos.

Palabras clave: fritura al vacío, aperitivo, fritura profunda, contenido nutricional.

Abstract:

One of the largest areas of the food industry is the production of snacks, but these have generally an inadequate nutritional profile in healthy eating. The vacuum frying technology is presented as a clear option processing for the development of new products and existing ones. This review article presents the advantages of using technology in Vacuum frying different types of food, especially in relation to the contents of some micronutrients and fat. They also mention the work done in Ecuador, especially in local products.

Keywords: vacuum frying, snacks, deep frying, nutritional content.

1. Introducción

Los temas nutricionales se encuentran en primera línea, tanto en el campo científico (líneas de investigación) como en medicina preventiva, clínica y terapéutica. En las últimas décadas, se han producido cambios significativos en los hábitos alimenticios de la población, debido a diversos factores como el ritmo de vida, la incorporación de la mujer al ámbito laboral y la influencia de los medios de comunicación y publicitarios. Dentro de los hábitos adquiridos a la hora de alimentarse, aparecen los agrupados en la denominada “comida rápida”, de gran aceptación por parte de los consumidores. Las de mayor consumo, entre los jóvenes, son las papas fritas, hamburguesas o hot dogs y que pueden a su vez, estar elaborados con grasas de elevados niveles de ácidos grasos saturados, o también con grasas vegetales parcialmente hidrogenadas (Barrado, Mayo, Tesedo, Romero, & De la Rosa, 2008).

El consumo excesivo de grasa, componente principal en los alimentos fritos, es un factor dietético clave en la incidencia de enfermedades coronarias y, probablemente, en algunos tipos de cáncer.

¹ Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito – Ecuador (cfma7065@ute.edu.ec)

A esto se añade que los consumidores están interesados en alimentos más saludables pero no están dispuestos a renunciar a la parte organoléptica (Dueik & Bouchon, 2011).

2. Fritura

La fritura es un ejemplo de deshidratación y una de las operaciones unitarias más utilizadas en la industria alimentaria (Ibarz & Barbosa-Cánovas, 2005) Además, es uno de los métodos más difundidos en el mundo, especialmente por la generación de propiedades muy particulares como la formación de corteza, aromas o el aspecto visual (Mallikarjunan, Ngadi, & Chinnan, 2010).

La aplicación industrial del proceso de fritura, presenta amplias ventajas ya que, al introducir el alimento en un medio constituido por una materia grasa (aceite) calentada a temperaturas entre 170 - 180 °C , y por un tiempo relativamente corto, cambia rápidamente sus características físicas, químicas y sensoriales (Robert et al., 2001).

2.1. Fritura profunda

Durante la fritura por inmersión o también denominada profunda, el alimento se cocina debido a la transferencia de calor directa desde el aceite caliente hacia el alimento; cuando el alimento se introduce en el aceite caliente, la temperatura de este último baja, la humedad superficial del alimento se vaporiza súbitamente, mientras que el agua en el interior se difunde hacia la superficie, para finalmente pasar a la fase de vapor y viajar a través del aceite de fritura al ambiente externo, lo que se evidencia, a su vez, por la presencia de abundantes burbujas en el aceite. Simultáneamente, mientras avanza el proceso, el alimento comienza a desarrollar su color característico (Rojas & Narváez, 2011).

Los medios de fritura, por ejemplo aceites, poseen alta capacidad calorífica, esto permite transferir energía para superar el punto de ebullición del agua. Debido a la evaporación en la frontera (entre la corteza formada y el aceite), el agua difunde desde el interior hacia el medio de fritura, es decir, se genera una transferencia de masa. Apenas finaliza la transferencia de agua, se superan los 100 °C de temperatura y se inicia la producción de aromas, sabores y color característicos. A partir de los 120 °C, empiezan a producirse ciertas sustancias, como la acrilamida, compuesto potencialmente carcinógeno (Gertz & Matthäus, 2008).

La Figura 1 esquematiza el fenómeno de transferencia de masa y energía donde se aprecia el gradiente de temperatura entre el interior del alimento y el medio de fritura (aceite) con la corteza o costra en la zona de frontera.

En el proceso de fritura además ocurren transformaciones en la composición del alimento y en el medio de fritura (aceite) en niveles que dependen de las condiciones de proceso (temperatura, tiempo), de la naturaleza del producto a freír y de la calidad / cantidad de aceite. Además, en el

periodo de enfriamiento, algunas investigaciones demostraron que el alimento absorbe la mayor cantidad de grasa en esta fase (Suaterna, 2008).

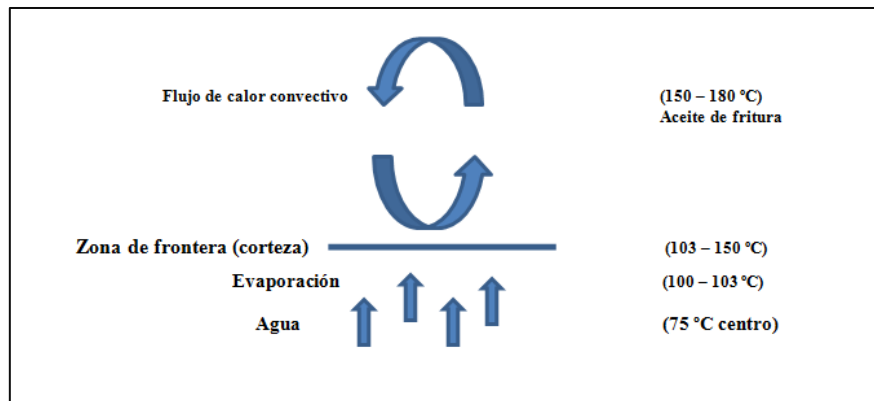


Figura 1. Transferencia de masa y calor en fritura profunda ($P = 101.3 \text{ kPa}$).

Suaterna (2009), señala que todos los aceites, presentan cambios en el contenido de nutrientes y que pueden generar compuestos tóxicos, los que a su vez, pasan al alimento. Las transformaciones se presentan lenta o rápidamente, según las condiciones de proceso, donde las más críticas son: temperatura; tipo de alimento, relación aceite / alimento, materiales de fabricación de freidoras, reposición de aceite de fritura (por pérdida en proceso), limpieza y condiciones de almacenamiento del aceite.

2.2. Fritura al vacío

En esta técnica, el alimento es procesado bajo condiciones de presión reducida (subatmosférica) en un sistema cerrado. Esto permite disminuir el punto de ebullición del agua contenida en el alimento y conseguir así, temperaturas más bajas de fritura (Bravo, Sanjuán, Clemente, & Mulet, 2011).

En este tipo de proceso, la temperatura del aceite se encuentra en promedio a 110 °C y 3,1 kPa (presión donde el agua hierve a 25 °C) (Garayo & Moreira, 2002). El mecanismo de transferencia de calor, en la fritura al vacío, es similar a la fritura convencional (presión atmosférica) pero con la diferencia que la temperatura del aceite de fritura será menor (en condición subatmosférica) (Yamsaengsung & Rungsee, 2006).

Según Dueik & Bouchon (2011), esta tecnología es prometedora en cuanto a la producción de snacks más saludables, según la materia prima de origen y conservando además sus particulares características originales. Estos beneficios se deben a las bajas temperaturas de proceso y la menor exposición al oxígeno. Por esta razón, los nutrientes de vegetales y frutas, por ejemplo vitaminas, que son sensibles a las condiciones de proceso en la fritura convencional, hacen que la fritura al vacío sea una clara opción de procesamiento para este tipo de alimentos.

La Tabla 1, ilustra las diferencias fundamentales entre la fritura convencional y la de vacío. Aquí aparecen, por ejemplo, los compuestos polares, que son consecuencia del deterioro de los aceites de fritura, así como la acrilamida, un compuesto considerado potencial carcinógeno, y que se genera a partir de los 120 °C (se ha demostrado que su formación depende especialmente de la temperatura) (Dueik & Bouchon, 2011).

Tabla 1. Comparación de fritura, en condiciones atmosféricas y bajo presión reducida (vacío)

Presión atmosférica	Presión reducida
Temperatura (160 – 190 °C)	Temperatura (90 – 110 °C)
Abierto. Presión, según la altura sobre el nivel del mar. Quito (70 kPa)	Hermético. Presión según capacidad de generación de vacío del equipo (aprox. <7 kPa)
Contenido de grasa (Snacks), por encima del 24% (especialmente hojuelas de papas)	Contenido de grasa por debajo de 20% (papa de consumo industrial en hojuelas, hasta 6% combinado con centrifugación)
Sistema de calentamiento, muy común GLP (Gas Licuado de Petróleo)	Sistema de calentamiento eléctrico (mayor costo)

En términos generales, los beneficios por aplicación de esta tecnología son consecuencia de las bajas temperaturas y la menor exposición al oxígeno atmosférico. Maadyrad et al (2011), reconocen los siguientes:

- Reducción de los efectos adversos en la calidad del aceite de fritura.
- Conservación de componentes naturales de color y flavor.
- Reducción del contenido de acrilamida.
- Mejor conservación de nutrientes.

2.3. Micronutrientes

Entre los antioxidantes naturales se encuentran: ácido ascórbico, carotenoides, antocianinas y betalaínas. Estos pueden funcionar como inhibidores de radicales libres, previniendo así, ciertas enfermedades de tipo crónico. Estos componentes benéficos, están presentes en gran variedad de materias primas, pero son muy sensibles a las condiciones de la fritura convencional (Dueik & Bouchon, 2011).

Se cree que la relativa estabilidad de las vitaminas hidrosolubles en productos derivados de la fritura, comparado con métodos tradicionales de cocción en agua, se debe a los tiempos cortos de proceso y a la formación de la corteza o costra que logra un efecto de retención de líquidos del alimento (Han, Kozukue, Young, Lee, & Friedman, 2004).

Villamizar et al (2011), al trabajar con snacks de mango (T= 110 °C, t= 90 s) encontraron una pérdida de 43,2 % de vitamina C, comparado con un 93,8% en fritura convencional (T = 175 °C, t

= 30 s). Además, con panel de jueces semi entrenados, calificaron mejor a la fritura al vacío en cuanto a color y sabor, sin presentar diferencia significativa los atributos de aroma y textura.

En fritura de kiwi ($T = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t = 50\text{ min}$, $P = 2.3\text{ kPa}$), Diamante et al (2011) encontraron una pérdida de 51,7 % de vitamina C que se incrementa hasta 67,8% en condiciones de fritura a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 25 minutos, pero en estas mismas condiciones, la pérdida es de 61% si se somete a pre tratamiento con solución de malto dextrina (concentración 33%) por una hora (efecto protector de vitamina C).

Da Silva & Moreira (2008), estudiaron la retención de carotenoides en algunos vegetales (ejotes, chips de mango y camote) al someter a condiciones de fritura convencional y al vacío. Encontraron en condiciones de vacío una retención de hasta 51% para camote y de 18 y 19% respectivamente para ejotes y mango en comparación con la fritura convencional.

Por otro lado, durante la fritura al vacío, se ha conseguido retener 90% de alfa caroteno y 86% de beta caroteno en rodajas de zanahoria (la fuente dietética más importante), comparado con un 36% en condiciones atmosféricas. Además, se ha presentado una importante correlación entre color y contenido de carotenos (Dueik, Robert, & Bouchon, 2010).

En papas nativas ecuatorianas, variedades yanashungu y pucashungu, se ha logrado reducir, mediante fritura al vacío (4.41 KPa, $115 - 125\text{ }^{\circ}\text{C}$) la pérdida de ácido ascórbico y antocianinas frente a la fritura convencional (Villacrés, Untuña, & Bravo, 2013).

Se ha reportado además, para antocianinas, una pérdida de 33,55% en yanashungu y 5% en pucashungu, a diferencia de los polifenoles totales (para ambas variedades) que se degradaron en promedio, en el orden del 99.35 % con la técnica de fritura al vacío y 98,52 % aplicando fritura convencional (Untuña, 2013).

2.4. Grasa

La absorción de aceite por parte del alimento, tiene un gran impacto nutricional. Productos como las papas fritas (chips o bastones), se consumen en grandes cantidades, y esto contribuye significativamente en la ingesta de lípidos, que se conoce tienen influencia en la prevalencia de sobrepeso (Cocio, 2006).

En fritura al vacío (10 kPa / 10 min) de papa, variedad *Fripapa INIAP*, Coronel (2012) redujo el contenido de grasa en un 72% en hojuelas (chips) y en un 65% en bastones en comparación con la fritura convencional (Quito, 70 kPa / 10 min). En ambos casos (hojuelas y bastones), se aplicó post tratamiento de centrifugación (1800 rpm / 10 min) en las mismas condiciones sub atmosféricas (10 kPa).

Villacrés, et al., (2013) aplicaron fritura al vacío durante 5 minutos en papas nativas ecuatorianas, variedades yanashungu (4.41 kPa, 125 °C) y pucashungu (4.41 kPa, 115 °C) y, obtuvieron en los chips u hojuelas, valores de 12,23% y 8,10% en contenido de grasa respectivamente. Se sabe que, las variedades mencionadas, presentan aptitud para el procesamiento de hojuelas fritas en condiciones atmosféricas y con resultados alentadores en el aspecto sensorial, comparado con la variedad Fripapa INIAP.

Serrano (2013), al desarrollar chips de Mashua, aplicó combinaciones de pretratamientos (deshidratación osmótica vs cocción) y obtuvo los menores niveles de grasa porcentual en chips obtenidos a partir de Mashua con deshidratación, pero sin cocción previa (8.23 ± 0.27).

Hay que mencionar que, tanto la calidad del aceite, como la del absorbido por el alimento después de la fritura, se ven influenciados por las variables de proceso en condiciones subatmosféricas.

Se ha conseguido snacks a base de Oca (*Oxalis tuberosa*) con pretratamientos (escaldado y deshidratación osmótica) que han permitido a su vez, llegar a productos con un promedio de grasa del 9% (A. Suntaxi & Bravo, 2014) y una reducción simultánea de hasta 92% de acidez (ácido oxálico) comparado con el producto en fresco (A. Suntaxi, Vernaza, & Bravo, 2014).

En Snacks a base de Mashua (*Tropaeolum tuberosum*), se redujo el nivel de grasa desde 28% (fritura convencional) hasta 11% en condiciones subatmosféricas, lo que representa un 60% de disminución (Serrano, Vernaza, & Bravo, 2013).

Reyes (2014), comparó la calidad del aceite de fritura al vacío (en desarrollo de snacks de cebolla paiteña y piña) frente al utilizado en fritura convencional al trabajar en la recuperación de este, con tierra de blanqueo natural, encontró que el grado de deterioro es significativamente menor en el aceite del proceso con vacío (% de ácidos grasos libres e índice de peróxido IP) y Quintana (2014), en el aceite usado en el desarrollo del mismo tipo de productos pero con tierra de blanqueo artificial (Trysil), comparó también con fritura convencional y encontró la misma tendencia en %AGL y e IP.

La Tabla 2, permite apreciar la tendencia al desarrollo de productos autóctonos ecuatorianos con tecnologías actuales, la reducción del contenido de grasa, reducción de acidez y de niveles de índice de peróxido y ácidos grasos libres del aceite de fritura.

Tabla 2. Fritura al Vacío en Ecuador (< 5 años)

Autor	Aplicación	Resultado
Suntaxi, Vernaza & Bravo (2014)	Chips de Oca	Reducción de acidez
Suntaxi & Bravo (2014)	Pre tratamientos de Oca	Disminución de acidez en producto elaborado. Reducción del contenido de grasa.
Reyes (2014)	Recuperación de aceite de fritura al vacío con tierras de blanqueo natural	Aceite de fritura al vacío con menores niveles de AGL, IP
Quintana (2014)	Recuperación de aceite de fritura al vacío con tierras de blanqueo artificial	Aceite de fritura al vacío con menores niveles de AGL, IP
Villacrés et al. (2013)	Atributos de calidad de los chips de papa en Ecuador	Chips bajos en grasa
Serrano (2013)	Productos tipo snack de mashua (<i>Tropaeolum tuberosum</i>)	Chips de mashua (dulce y salada) con menores niveles de grasa
Serrano, Vernaza & Bravo (2013)	Pretratamientos a Mashua (<i>Tropaeolum tuberosum</i>) para fritura al vacío.	Reducción del contenido de grasa en producto elaborado
Suntaxi (2013)	Productos tipo aperitivo a base de Oca (<i>Oxalis tuberosa</i>)	Chips de Oca
Garcés (2013)	Obtención de chips de cebolla Perla (<i>Allium cepa</i> L.)	Snack en aros de cebolla perla
Untuña (2013)	Atributos de calidad de chips de papa nativa.	Chips con mayores niveles de antioxidantes y menor contenido de grasa.
Coronel (2012)	Reducción de grasa en Papa variedad Frippa INIAP	Chips y Bastones con menores niveles de grasa
Jibaja (2010)	Cinética de Absorción de aceite durante la fritura de Tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i> Cav.)	Chips de tomate de árbol, con menores niveles de grasa.

3. Conclusiones

La presión reducida, la temperatura del medio (aceite), los niveles de oxígeno conseguidos, entre otros aspectos, han logrado, para diferentes alimentos, perfiles de calidad nutricional significativos. Estos resultados permiten suponer el desarrollo de productos tipo aperitivo (Snacks) con menores niveles de grasa, mayor contenido en antioxidantes y vitaminas (usualmente escasas en los productos obtenidos a presión atmosférica), perfiles sensoriales mejorados o aceites de fritura menos alterados.

El reglamento de etiquetado en Ecuador, pretende facilitar el acceso a una información nutricional más clara y precisa, y que los consumidores, al momento de elegir sus alimentos, puedan hacerlo con mejores criterios. La fritura al vacío posee la capacidad de retener determinados nutrientes de interés para un consumidor cada vez más informado y para sistemas de salud pública más exigentes con la industria alimentaria.

Hace falta valorar la factibilidad del proceso en nuestro medio (Ecuador) para explotar su potencial. Los costos deberán ser consecuencia de los sistemas alimentarios involucrados, de la eficiencia energética conseguida, de los materiales y equipos elegidos, de la soberanía energética en marcha, en fin, de todos los recursos que pueden hacer posible alimentos más saludables y atractivos.

La aplicación en productos autóctonos se hace necesaria, sobre todo, por el perfil nutricional y el incentivo a la soberanía alimentaria. La recuperación de tubérculos andinos (oca, mashua), el interés por las frutas exóticas ecuatorianas o las nuevas fuentes para extraer aceites y grasas de consumo humano (por ejemplo, sachu inchi), abren un camino muy amplio a una tecnología relevante a la realidad local y global.

Bibliografía

- Barrado, E., Mayo, M., Tesedo, A., Romero, H., & De la Rosa, F. (2008). Composición grasa de diversos alimentos servidos en establecimientos de “comida rápida”. *Nutrición Hospitalaria*, 23(2), 148-158.
- Bravo, J., Sanjuán, N., Clemente, G., & Mulet, A. (2011). Pressure Effect on Deep Fat Frying of Apple Chips. *Drying Technology: An International Journal*, 29(4), 472 - 477.
- Cocio, C. (2006). Estudio de la distribución del aceite en rodajas de papa frita. Universidad de Chile, Santiago.
- Coronel, M. (2012). Reducción del contenido de grasa mediante fritura al vacío en snacks de papa. Universidad Central del Ecuador, Quito.
- Da Silva, P., & Moreira, R. (2008). Vacuum frying of high-quality fruit and vegetable-based snacks. *Food Science and Technology* 41(10).
- Diamante, L., Presswood, H., Savage, G., & Vanhanen, L. (2011). Vacuum fried gold kiwifruit: Effects of frying process and pretreatment on the physico-chemical and nutritional qualities *International Food Research Journal*, 18.
- Dueik, V., & Bouchon, V. (2011). Development of Healthy Low-Fat Snacks: Understanding the Mechanisms of Quality Changes During Atmospheric and Vacuum Frying. *Food Reviews International*(27), .
- Dueik, V., Robert, P., & Bouchon, P. (2010). Vacuum frying reduces oil uptake and improves the quality parameters of carrot crisps. *Food Chemistry*, 119(3).

- Garayo, J., & Moreira, R. (2002). Vacuum frying of potato chips. *Journal of Food Engineering*, 55(2), 181-191.
- Garcés, V. (2013). Obtención de chips de cebolla perla (*Allium cepa* L.). UTE, Quito.
- Gertz, C., & Matthäus, B. (2008). Optimum deep - frying. In DGF (Eds.)
- Han, J., Kozukue, N., Young, K., Lee, K., & Friedman, M. (2004). Distribution of Ascorbic Acid in Potato Tubers and in Home-Processed and Commercial Potato Foods. *J. Agric. Food Chem*, 52(21).
- Ibarz, A., & Barbosa-Cánovas, G. (2005). Operaciones Unitarias en la Ingeniería de Alimentos. Barcelona.
- Jibaja, H. (2010). Modelado de la cinética de absorción de aceite durante el proceso de fritura al vacío de hojuelas de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.). EPN, Quito.
- Maadyrad, A., Ghiassi, B., Bassiri, A., & Bamenimoghadam, M. (2011). Process Optimization in Vacuum Frying of Kiwi Slices Using Response Surface Methodology *Journal of Food Biosciences and Technology*, 1.
- Mallikarjunan, K., Ngadi, M., & Chinnan, M. (2010). Breaded Fried Foods.
- Quintana, N. (2014). Recuperación de aceite de fritura al vacío mediante la aplicación de tierra filtrante Trysil. Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito.
- Reyes, D. (2014). Recuperación de aceite de fritura al vacío mediante aplicación de tierra filtrante Bentonita Cálcica Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito.
- Robert, P., Masson, L., Romero, N., Dobarganes, M., Izaurieta, M., Ortiz, J., et al. (2001). Fritura industrial de patatas críps. Influencia del grado de insaturación de la grasa de fritura sobre la estabilidad oxidativa durante el almacenamiento. *Grasas y Aceites*, 52(6).
- Rojas, E., & Narváez, P. (2011). Método de análisis de calidad del aceite durante el freído por inmersión para pequeñas y medianas empresas. *INGENIERÍA E INVESTIGACIÓN*, 31(1), 83-92.
- Serrano, V. (2013). Obtencion de productos tipo aperitivo (snack) de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) mediante la aplicacion de fritura al vacío. ute, Quito.
- Serrano, V., Vernaza, G., & Bravo, J. (2013). Healthy chips of mashua (*Tropaeolum tuberosum*) obtained by vacuum frying. Paper presented at the Simposio Latinoamericano de Ciencia de Alimentos, Sao Paulo, Brasil.
- Suaterna, A. (2008). La fritura de los alimentos: pérdida y ganancia de nutrientes en los alimentos fritos. *PERSPECTIVAS EN NUTRICIÓN HUMANA*, 10(1).
- Suaterna, A. (2009). La fritura de los alimentos: el aceite de fritura. *PERSPECTIVAS EN NUTRICIÓN HUMANA*, 11(1).
- Suntaxi, A. (2013). Obtención de un producto tipo aperitivo (Snack) a partir de Oca (*Oxalis tuberosa*) mediante fritura al vacío. UTE, Quito.

- Suntaxi, A., & Bravo, J. (2014). Efecto de los pretratamientos en la fritura la vacío de chips de Oca (Oxalis tuberosa) Paper presented at the Congreso Iberoamericano De Ingeniería de Alimentos, Valencia, España.
- Suntaxi, A., Vernaza, G., & Bravo, J. (2014). reducción de la Ácidez de Chips de oca (Oxalis Tuberosa) por Fritura al Vacío. Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín, 67(2).
- Untuña, P. (2013). Estudio del efecto de la fritura al vacío sobre los atributos de calidad de chips de papa nativa. Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito.
- Villacrés, E., Untuña, P., & Bravo, J. (2013). Efecto de la fritura al vacío sobre los atributos de calidad de los chips de papa en Ecuador. Quito.
- Villamizar, R., Quiceno, M., & Giraldo, G. (2011). Comparación de la fritura al vacío y atmosférica en la obtención de pasabocas de mango (*Manguijera indica L.*). Tmas agrarios, 16(1).
- Yamsaengsung, R., & Rungsee, C. (2006). Modeling the heat and mass transfer during the vacuum frying of chips.