



Recibido: 01/04/2020 | Aceptado: 04/05/2019

Accesible en línea: junio 2020

DOI: 10.37066/ralap.v24i1.388

ISSN: 1853-4961

Evaluación del contenido de acrilamida en chips de papa (*Solanum tuberosum* L.) elaborados por fritura convencional y al vacío

Elena Villacrés-Poveda^{1*}; Gabriela Zurita-Sorrosa²; Iván Samaniego-Maigua³; José Angós-Iturgaiz⁴

Resumen

La fritura es un método de cocción con mayor aceptación a nivel mundial, confiere a los alimentos y específicamente a la papa ciertas características únicas de aroma, sabor y textura, destruye los microorganismos e inactiva las enzimas. Sin embargo, este proceso a nivel doméstico y agroindustrial se realiza a temperaturas que superan los 120 °C, lo que puede propiciar la formación de acrilamida, a niveles que superan los límites permisibles para el consumo humano. Por lo que el objetivo de este estudio fue determinar el contenido de acrilamida en siete variedades de papa procesadas por fritura convencional y al vacío. Esta investigación se desarrolló en el Departamento de Nutrición y Calidad de la Estación Experimental Santa Catalina, INIAP. Con el plan de experiencias de Doehler, se determinó las siguientes condiciones de tiempo y temperatura para la fritura convencional: variedades Diacol Capiro, INIAP-Rubí, Superchola e INIAP-Victoria (175 °C, 2.75 min), Josefina y Natividad (162 °C y 3.13 min) e INIAP-Libertad (175 °C, 2.00 min). La fritura al vacío se realizó 125 °C, 6 min y 11,30 kPa. El contenido de acrilamida varió dependiendo de la variedad de papa y las condiciones de fritura. En INIAP-Natividad y Superchola, procesadas por fritura convencional (162-175 °C), sobre-fritura (188 °C) y al vacío (125 °C), la concentración de acrilamida no superó el límite de detección. Mientras que en Diacol Capiro, INIAP-Josefina, INIAP-Rubí e INIAP-Victoria fritas a 188 °C, los niveles de acrilamida superaron el límite de detección (316.12 µg·kg⁻¹), con valores de 2412.60, 1107.20, 1114.89, 1684 µg·kg⁻¹, respectivamente. Se determinó un alto grado de correlación (0.79) entre el porcentaje de azúcares y el contenido de acrilamida, no así entre este parámetro y el contenido de proteína.

Palabras clave: oxidación, fritura al vacío, Doehler, detección

* Autor para correspondencia. Correo electrónico: elena.villacres@iniap.gob.ec

¹ Elena Villacrés-Poveda . Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias -INIAP, Quito, Ecuador.

² Gabriela Zurita-Sorrosa . Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias -INIAP, Universidad Técnica de Ambato (UTA). Quito, Ecuador.

³ Iván Samaniego-Maigua . Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias -INIAP. Quito, Ecuador.

⁴ José Angós-Iturgaiz . Universidad Técnica de Ambato (UTA).



Evaluation of acrylamide content in potato chips (*Solanum tuberosum* L.) processed by conventional and vacuum frying

Abstract

Frying is a cooking method that gives to food and specifically to potatoes certain unique characteristics of aroma, flavor and texture, as well as it destroys microorganisms and inactivates enzymes. However, at the domestic and agro-industrial level this process is carried out at temperatures over the 120 °C, which can lead to the formation of acrylamide, at levels that exceed the permissible limits for human consumption. Thus, the objective of this study was to determine the acrylamide content in seven potato varieties processed by conventional and vacuum frying method. This research was carried out at the Nutrition and Quality Department, of Santa Catalina Experimental Station, INIAP. Using the Doehler experience plan, the following time and temperature conditions were determined for conventional frying: Diacol Capiro, INIAP-Rubí, Superchola and INIAP-Victoria varieties (175°C, 2.75 min), Josefina and Natividad (162°C, 3.13 min) and INIAP-Libertad (175°C, 2.00 min). The vacuum frying method was performed 125 °C, for 6 min and 11.30 kPa. Acrylamide content varied depending on the potato variety and the frying conditions. In the varieties INIAP-Natividad and Superchola, processed by normal frying (162-175°C), over-frying (188°C) and under vacuum (125°C), the acrylamide concentration did not exceed the detection limit. While in the varieties Diacol Capiro, INIAP-Josefina, INIAP-Rubí and INIAP-Victoria fried at 188 °C, the acrylamide content exceeded the detection limit (316.12 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$), with values of 2412.60, 1107.20, 1114.89, 1684 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, respectively. A high degree of correlation (0.79) was found between the percentage of sugars and the acrylamide content, but not between this parameter and the protein content.

Keywords: oxidation, vacuum frying, Doehler, detection.

Introducción

Últimamente, niveles relativamente altos de acrilamida han sido determinados en diferentes alimentos y productos alimenticios (Konings *et al.*, 2003; SNFA, 2002; FDA, 2004, 2018; Vinci *et al.*, 2012), por lo que intensa investigación en varias áreas se realizan y se enfocan principalmente en los mecanismos de formación de acrilamida (Friedman, 2015). La toxicología de este compuesto (biodisponibilidad, evaluación de la ingesta y márgenes de exposición), el desarrollo de técnicas analíticas de gran exactitud (desarrollo de un método estandarizado aplicable a todas las matrices alimentarias, económico y rápido) y el efecto de la composición de

los alimentos en el rendimiento de acrilamida (variaciones debido a las variedades y temperatura de almacenamiento (Claeys *et al.*, 2005, Qi Y, 2018) son algunas de las investigaciones realizadas en este tema. Recientes investigaciones epidemiológicas encontraron una asociación entre la ingesta de acrilamida y el riesgo de contraer cáncer (Capuano & Fogliano, 2011). El Comité Mixto FAO / OMS de Aditivos Alimentarios (JECFA) evaluó que la exposición dietética media de acrilamida para la población general de todo el mundo es de 1 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ bs por día y el margen de exposición para la acrilamida (valor MOE 180) mostró un riesgo para la salud humana (JECFA,

2011). Los productos de la papa son fuertemente susceptibles a la formación de acrilamida, debido a que el tubérculo contiene los precursores de acrilamida (asparragina y azúcares reductores) y por otro lado las condiciones de preparación como la fritura y el horneado superan los 120 °C, lo que favorece la reacción de Maillard, que está enlazada a la formación de acrilamida (Vinci *et al.*, 2012). En la papa, las concentraciones de asparragina están relativamente en exceso comparada al contenido de azúcares reductores. El control de estos últimos podría fuertemente limitar la formación de acrilamida en los productos derivados de la papa (Friedman, 2015).

En Ecuador, el consumo per capita de papa es 23.6 kg/año, de lo cual un 90% se consume en estado fresco y 10% procesada por fritura. De este porcentaje, el 4.19% de la producción nacional (17183 t/año), se destina a la producción en forma de chips (Andrade & Sherwood, 2002; Devaux *et al.*, 2010; ESPAC, 2014; Jácome, 2008; Pumisacho & Sherwood, 2002). La fritura es un método de cocción con mayor aceptación a nivel mundial, confiere a los alimentos ciertas características únicas de aroma, sabor y textura, destruye los microorganismos e inactiva las enzimas (Vasquez, 2008; Fellows, 2009; Sutaerma Hurtado, 2009; Tirado *et al.*, 2012). Sin embargo, durante la fritura aumenta la viscosidad del aceite, disminuye la tensión superficial y desde el punto de vista químico el aminoácido asparragina reacciona con diversos azúcares reductores lo que genera un compuesto carbonílico, el N-glicosil y un conjugado o base de Schiff, que da lugar a la formación de acrilamida (Qi Y, 2018), la cual es neurotóxica,

contaminante pro-cancerígena en humanos y con propiedades mutagénicas (Matthäus *et al.*, 2004). La neurotoxicidad de la acrilamida derivada de la exposición ocupacional y los accidentes en humanos es bien conocida. Además, los estudios experimentales con acrilamida en animales, han mostrado propiedades genotóxicas y carcinogénicas del compuesto (Ruden, 2004; Tareke, 2003). Científicos de Inglaterra, Suiza y Alemania identificaron diferentes factores que afectan la formación de acrilamida en los alimentos (Weißhaar & Gutsche, 2002; Semdla *et al.*, 2017). Adicionalmente a la presencia de componentes proteicos de bajo peso molecular (como aminoácidos, especialmente asparragina) y azúcares reductores (fructuosa, glucosa), una temperatura alta y una baja disponibilidad de agua en el interior de los alimentos son criterios relevantes para la formación de acrilamida (Weisshaar & Gutsche 2002). Otros autores reportan que la acrilamida está presente en los alimentos elaborados y se forma durante el procesamiento bajo condiciones que inducen la reacción de oscurecimiento de Maillard, de gran interés en la química, bioquímica e inocuidad alimentaria (Matthäus *et al.*, 2004). Este hecho genera una gran preocupación entre los consumidores, ya que los procesos de fritura u horneado que se realizan a temperaturas mayores a 120 °C, propician la formación de acrilamida (Mestdagh *et al.*, 2007; Romero *et al.*, 2006; Sharma & Mulvaney, 2003; Semla *et al.*, 2017). En este estudio, se evaluó el contenido de este compuesto en chips de siete variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) elaborados por fritura convencional y al vacío.

Materiales y métodos

Material vegetal

Se trabajó con las siguientes variedades de papa: Diacol Capiro, INIAP-Libertad, INIAP-Josefina, INIAP-Natividad, INIAP-Rubí, INIAP-Victoria, Superchola, proporcionadas por el Programa Nacional de Raíces y Tubérculos, INIAP.

Esta investigación se desarrolló en el Departamento de Nutrición y Calidad, Estación Experimental Santa Catalina, INIAP, Cantón Mejía, parroquia Cutuglahua, Ecuador.

Optimización del proceso de fritura convencional

La optimización del proceso de fritura convencional se realizó utilizando un plan de experiencia de Doehler (Gabrielsson et al., 2002) con dos variables (tiempo y temperatura), con la finalidad de establecer una superficie de respuesta de los efectos de estas variables sobre el proceso de fritura en las diferentes variedades de papa, para lo cual se tomó como respuesta experimental la humedad. En la Figura 1, se presentan los ensayos realizados durante el experimento definiendo el rango de trabajo para la variable temperatura entre 160 a 190 °C y para la variable tiempo entre 2 a 3.5 minutos.

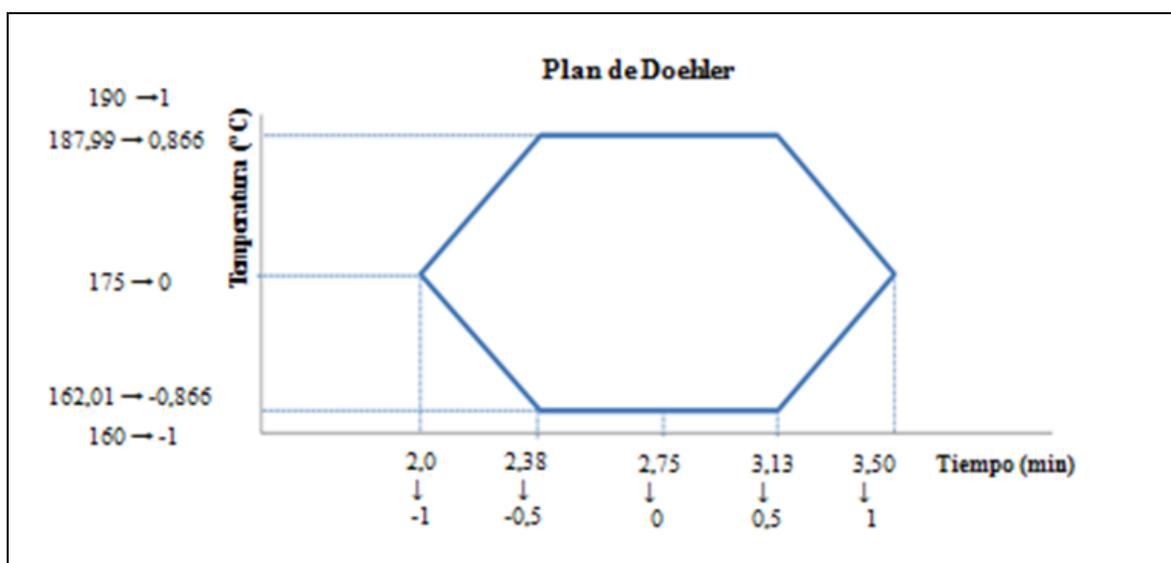


Figura 1. Proyección del Plan de experiencias de Doehler.

Con base a los datos de la Figura 1, se estableció la matriz de ensayos con la que se llevó a cabo la optimización del

proceso de fritura convencional para cada variedad de papa (Tabla 1).

Tabla 1. Matriz de tratamientos para el plan de experiencias de Doehler con dos puntos centrales, tiempo y temperatura

Tratamiento N°	Valores Código*		Valores reales	
	Tiempo	Temperatura	Tiempo	Temperatura
1	0	0	2,75	175,00
2	0	0	2,75	175,00
3	0	0	2,75	175,00
4	1	0	3,50	175,00
5	0,5	-0,866	3,13	162,01
6	0,5	0,866	3,13	187,99
7	-1	0	2,00	175,00
8	-0,5	-0,866	2,38	162,01
9	-0,5	0,866	2,38	187,99

*Valores generados automáticamente por el paquete estadístico usando los valores del Plan Doehler

Fritura convencional: Se realizó en una freidora eléctrica (Croydon) a diferentes tiempos y temperaturas establecidas según el plan de experiencias de Doehler, con dos puntos centrales para la respuesta experimental de humedad.

Proceso de fritura al vacío: Se realizó en un equipo de construcción nacional, utilizando 13 litros de aceite de maíz, en baches de 250 g de rodajas de papa. El proceso se realizó a 125 °C, 11.30 kPa de presión y centrifugado posterior de los chips por 8 min. Estas condiciones se establecieron tomando como referencia los parámetros de trabajo establecidos por Villacrés *et al.* (2013).

Estandarización de la metodología analítica para determinación de acrilamida

Para la validación del método de análisis por Cromatografía Líquida de Alta Resolución HPLC, utilizando Detector de Arreglo de Diodos (DAD), se trabajó con estándares certificados de acrilamida, estableciendo un conjunto mínimo de parámetros (linealidad, límite de cuantificación, precisión, exactitud) para asegurar la confiabilidad de los resultados.

Preparación de las muestras para la determinación de acrilamida: Previo a la determinación de la muestra, en un tubo de ensayo de borosilicato con tapa

rosca, se homogenizó y adicionó el QuEChERS 1 (Agilent, Madrid, España). Se añadió 5 ml de hexano grado HPLC y 10 ml de acetonitrilo grado HPLC a cada tubo. Se agitó el conjunto en un vórtex por 15 min y posteriormente en un baño ultrasonido durante 5 min. Se centrifugó el contenido de los tubos a 3500 rpm por 15 min. Se recuperó los sobrenadantes de los tubos mediante una pipeta Pasteur y se colocaron en tubos de vidrio de punta cónica de 15 ml. Se concentraron las muestras a sequedad en un baño maría a temperatura de 40°C, con corriente de nitrógeno. Para disolver los extractos, a cada tubo se le añadió 1 ml de acetonitrilo grado HPLC, se adicionó el QuEChERS 2 (Agilent, Madrid, España), se agitaron las muestras en vórtex durante 5 min, luego en baño ultrasónico por 5 min. Se centrifugaron las muestras a 3500 rpm por 5 min. Se adaptó una jeringa de polipropileno de 5 ml a una membrana HV (Durapore) EM PVDF (0,22 µm). Se transfirió cuantitativamente el contenido de las muestras a la jeringa y se aplicó presión por medio del émbolo. Los extractos purificados se dispusieron en viales, que se llevaron al equipo HPLC para su análisis.

Cuantificación de acrilamida: método propuesto por Barber et al., (2001), utilizando un sistema de extracción y purificación mediante los QuEChERS y posterior cuantificación utilizando estándar de acrilamida pureza > 99% (Sigma A3553) y Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC), equipo Agilent, Serie 1200, acoplada a Detector de Arreglo de Diodos (DAD), columna Nucleoshell® hilic (50 x 4 mm), tamaño de partícula 2.7 µm, temperatura de la columna 35°C, longitud de onda 200 nm, fase móvil, Acetonitrilo (100% v/v), flujo 0.7 ml·min⁻¹.

En la papa cruda y procesada por fritura se realizaron las siguientes determinaciones:

Humedad: Se utilizó el método Nro. 934.06 de la AOAC, (1997), basado en la determinación de la cantidad de agua existente en la muestra, la cual se deshidratada en una estufa a 105°C por 12 horas. Al término del proceso la muestra se enfría en un desecador y se pesa. La diferencia de peso entre la muestra húmeda y la muestra seca, permite determinar el contenido de humedad.

Proteína: Se utilizó el método de la AOAC, (2000). Las muestras se hirvieron con ácido sulfúrico concentrado en presencia de un catalizador, el nitrógeno se convirtió en amoníaco, mientras que la materia orgánica se oxidó hasta agua y CO₂. El nitrógeno, en forma de sulfato amónico, se determinó agregando un exceso de NaOH y se destiló el amoníaco producido. Este amoníaco fue retenido por el ácido bórico y el borato amónico formado se neutralizó directamente con una disolución de ácido clorhídrico valorada y con la ayuda de un indicador de pH.

Azúcares Reductores: La muestra se trató con alcohol etílico al 80%, se utilizó ácido dinitrosalisílico que reacciona con los azúcares reductores, formando un compuesto de color intenso que fue leído en un fotómetro marca MN, Machery-Nagel a 510 nm. Para la preparación de la curva se utilizó, estándar de glucosa, pureza > 99.5% (Sigma G8270) (Megazyme, 2004).

Análisis Estadístico

Se realizaron análisis de regresión y correlación. Se establecieron los límites de confianza mediante el parámetro estadístico “t Student” al 5 %. Cada muestra se analizó en triplicado. Se

verificó que la diferencia absoluta entre valores de réplicas para una muestra dada, se encuentren en 95% de todos los casos dentro de la desviación de estándar de la capacidad de repetición. Los diseños Doehler se procesaron en el programa estadístico Statgraphics Centurion XVIII.

Resultados y discusión

Optimización del proceso de fritura

En la Tabla 2 se muestran las condiciones apropiadas de tiempo y temperatura para el proceso de fritura convencional de cada variedad de papa. Los chips de las variedades Diacol Capiro, Rubí, Superchola e INIAP-Victoria presentaron un contenido de humedad menor al 5%, procesada a 175 °C por 2.75 min, INIAP-Josefina e INIAP-Natividad a 162 °C y 3.13 min e INIAP-Libertad a 175 °C por 2 min.

Tabla 2. Optimización del proceso de fritura convencional para siete variedades de papa

Tiempo (s)	Temp. (°C)	Humedad residual de los chips (%)						
		Capiro	Josefina	Natividad	Libertad	Rubí	Superchola	Victoria
165	175	1.41	1.37	1.21	1.34	1.57	1.08	0.88
165	175	1.41	1.37	1.21	1.34	1.57	1.08	0.88
165	175	1.41	1.37	1.21	1.34	1.57	1.08	0.88
210	175	1.86	1.32	1.43	1.25	1.42	1.10	1.06
188	162	2.18	1.41	2.29	2.57	2.51	2.00	1.23
188	188	0.59	0.83	1.16	1.09	1.30	1.05	0.73
120	175	1.70	1.43	1.37	1.69	2.12	1.85	0.79
143	162	3.41	1.73	3.53	3.18	3.53	3.69	3.13
143	188	1.29	1.04	1.27	1.14	1.07	1.83	0.62

La exposición de hojuelas a 188 °C por un tiempo mayor a 3 min provocó una disminución de la humedad a valores

entre 0.59 a 1.83%, que se manifestó en el pardeamiento de los chips. Cuando el proceso de fritura se realizó al vacío

(125°C, 11.30 kPa, 6 min) el contenido de humedad disminuyó a valores que variaron entre 2.45 a 4.71%, con ausencia de pardeamiento y producción de acrilamida (Tabla 3). Un estudio acerca del efecto de la concentración de azúcares reductores y la temperatura de fritura sobre el pardeamiento superficial de los chips de papa y la formación de

acrilamida mostró una alta correlación entre la capacidad antioxidante, los niveles de acrilamida y el color superficial de los chips, sugiriendo que las mediciones de color o el contenido de azúcares reductores podrían ser usados para optimizar las condiciones de fritura (Friedman, 2015).

Tabla 3. Contenido de humedad residual de los chips obtenidos por fritura al vacío

Variedad	Valor promedio (%)
Rubí	2.76
Natividad	2.45
Superchola	3.30
Capiro	4.02
Libertad	3.95
Josefina	3.66
Victoria	4.71

Implementación del método para detección y cuantificación de acrilamida

En la implementación del método, con base a la pendiente (0.2071) y la ordenada al origen (-21.83) obtenidos del análisis

de regresión en chips de papa contaminados con acrilamida, se determinó un límite de detección de $316.12 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ y un límite de cuantificación de $635.50 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Tabla 4).

Tabla 4. Límites de detección y cuantificación del contenido de acrilamida en curva estándar y chips de papa.

Límite de detección (curva calibración) ($\text{ng}\cdot\text{ml}^{-1}$)	Límite de detección (chips de papa) ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	Límite de cuantificación (curva calibración) ($\text{ng}\cdot\text{ml}^{-1}$)	Límite de cuantificación (chips de papa) ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)
1.53	316.12	5.10	635.50

El porcentaje de recuperación promedio de acrilamida fue del 89.90%, valor que se enmarca en el criterio de aceptación de los métodos de análisis para residuos y contaminantes de alimentos a una concentración $\geq 100 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, que permite aceptar valores con porcentajes de recuperación en el intervalo del 80-110%, (Muñoz, 2015).

Análisis de acrilamida

El contenido de acrilamida en las variedades INIAP-Natividad y Superchola, procesadas por fritura convencional (162 °C, 3.13 min; 175 °C, 2.75 min), sobre-fritura (188 °C, 3.13 y 2.28 min) y al vacío (125 °C, 6 min), no superó el límite de detección ($316.12 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) (Tabla 5), lo cual podría estar relacionado con el menor contenido de azúcares reductores y asparragina de las mencionadas variedades. Estos resultados concuerdan con lo citado por Matthäus *et al.*, (2004) y Finotti *et al.*, (2008) quienes consideran a los azúcares reductores y la asparragina como parámetros antinutricionales, debido a su involucramiento en la reacción de pardeamiento de Maillard y en la formación de acrilamida.

Con base en estos resultados podría establecerse una clasificación de los cultivares de papa en función de su aptitud para el procesamiento, enmarcando a las variedades INIAP-Natividad y Superchola como cultivares aptos para procesamiento a altas temperaturas, los restantes cultivares presentan aptitud para el procesamiento a bajas temperatura. Rydberg *et al.* (2003)

añade que es posible modificar la composición química de variedades de papa, a través de los programas de mejora genética para obtener variedades con baja cantidad de los componentes iniciales que desencadenan la formación de acrilamida, como son los azúcares reductores y la asparragina.

Los cambios en los procesos de preparación también pueden ayudar eficientemente a reducir la formación de acrilamida en la papa, lo que se evidenció en las variedades Diacol Capiro, Josefina, Libertad, Rubí y Victoria procesadas bajo condiciones óptimas de tiempo (2-3.13 min) y temperatura (162-175 °C), cuya concentración no superó el límite de detección ($586.02 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$). Igualmente todas las variedades procesadas por fritura al vacío, presentaron niveles de acrilamida inferiores al límite de detección, a excepción de la variedad Libertad (Tabla 5), lo que evidencia que las condiciones de fritura moderadas conducen a un menor oscurecimiento de las papas fritas y a un menor contenido de acrilamida. Al respecto, Vinci *et al.*, (2012), sugieren dos alternativas para reducir el contenido de acrilamida en papas fritas: 1) modificar las condiciones de procesamiento y 2) Usar aditivos en la formulación previa a la fritura de los tubérculos.

En esta investigación se incursionó en la primera alternativa a través de la disminución de la temperatura de proceso y presión de vacío, que permitieron bajar el contenido de humedad de la papa a niveles entre 2.45-4.71%, lo que redujo la absorción de grasa y su hidrólisis.

Tabla 5. Contenido de acrilamida en chips de papa procesados por fritura convencional y al vacío.

Variedad de papa	Proceso de Fritura	Temperatura (°C)	Presión de vacío (KPa)	Tiempo (min)	Acrilamida
					(µg/kg)
Diacol Capiro	Convencional óptimo	175		2.75	< LD
	Convencional sobrefritura	188		3.13	2412.60
	Al vacío	125	10.30	6.00	< LD
INIAP Josefina	Convencional óptimo	162		3.13	< LD
	Convencional sobrefritura	188		3.13	1107.20
	Al vacío	125	10.30	6.00	< LD
INIAP Libertad	Convencional óptimo	175		2.00	< LD
	Convencional sobrefritura	188		3.13	1114.89
	Al vacío	125	10.30	6.00	586.02
INIAP Natividad	Convencional óptimo	162		3.13	< LD
	Convencional sobrefritura	188		3.13	< LD
	Al vacío	125	10.30	6.00	< LD
Rubí	Convencional óptimo	175		2.75	< LD
	Convencional sobrefritura	188		2.38	1683.93
	Al vacío	125	10.30	6.00	< LD
Superchola	Convencional óptimo	175		2.75	< LD
	Convencional sobrefritura	188		2.38	< LD
	Al vacío	125	10.30	6.00	< LD
Victoria	Convencional óptimo	175		2.75	< LD
	Convencional sobrefritura	188		2.38	859.5
	Al vacío	125	10.30	6.00	< LD

Este hecho, limitó la formación de acrilamida ya que se redujo el tiempo de proceso para alcanzar la misma calidad de producto en términos de color y crocancia. Palazoğlu & Gökmen, (2008), determinaron una reducción del 50 % en los niveles de acrilamida en papas fritas a la francesa, aplicando una menor temperatura al final de la etapa de fritura y sugirieron realizar modelamientos para diseñar condiciones de fritura que minimicen el contenido de acrilamida.

Correlación entre el contenido de azúcares reductores, nitrógeno total y acrilamida

Los datos de la Tabla 6 muestran una correlación entre la pérdida de azúcares reductores y nitrógeno total con la formación de acrilamida, especialmente en las variedades Diacol Capiro e INIAP-Rubí.

Tabla 6. Correlación entre el contenido de azúcares reductores y nitrógeno total con el nivel de acrilamida durante la sobre-fritura de variedades de papa.

	Azúcares reductores (%)	Nitrógeno total (%)	Acrilamida ($\mu\text{g kg}^{-1}$)
Diacol Capiro	0.1393	1.0626	2412.6
INIAP-Josefina	0.1099	0.8162	1107.2
INIAP-Libertad	0.1268	0.9036	1114.89
INIAP- Libertad	0.0988	0.3898	586.02
INIAP-Rubí	0.1251	1.0494	1683.3
INIAP-Victoria	0.098	0.9177	859.55

El análisis de correlación entre la variable azúcares reductores y contenido de acrilamida presentó un coeficiente de determinación significativo $R^2= 0.79$ (Figura 2), lo que evidencia que los azúcares reductores participan directamente en reacciones químicas que dan lugar a la formación de acrilamida. Fiedman *et al.* (2015) encontraron que los bastones de papa pre-frita ($177\text{ }^\circ\text{C}$, 165 s) con bajo contenido de azúcares, presentaron menor contenido de acrilamida ($322\ \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) que los bastones con un contenido normal de azúcares

reductores ($528\ \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) y concluyeron que la disminución del contenido de azúcares reductores es un método efectivo de controlar el contenido de acrilamida.

Al respecto, Martins & Van Boekel (2005) indican que en la reacción de Maillard la pérdida de azúcares parece que ocurre a mayor velocidad que la pérdida de aminoácidos, lo cual podría deberse a la regeneración de asparragina desde los productos de condensación iniciales y la posible formación de diglucosamina.

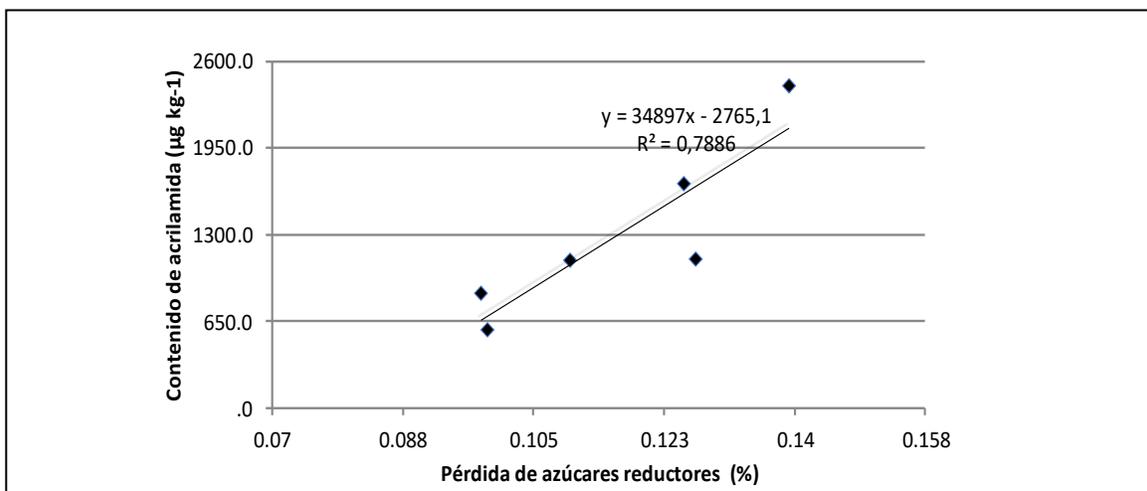


Figura 2. Correlación del contenido de acrilamida con la pérdida de azúcares reductores en chips de papa obtenidos por sobrefritura.

El bajo coeficiente de determinación ($R^2=0.56$), de la relación nitrógeno total y contenido de acrilamida (Figura 3), muestra que no hubo correlación significativa, posiblemente debido a que el nitrógeno total no refleja el contenido real de asparagina presente en los chips

de papa. Para obtener una caracterización completa de la acrilamida, la velocidad de formación/eliminación necesita ser cuantificada no solo en términos de temperatura, sino también de pH, a_w , concentración de reactantes, etc. (Claeys *et al.*, 2005).

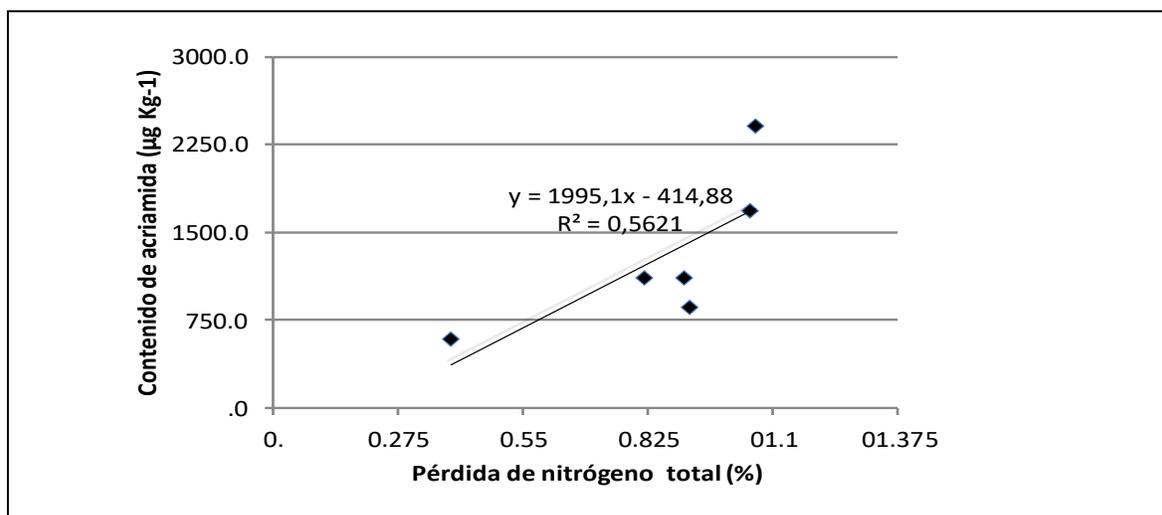


Figura 3. Correlación entre el contenido de acrilamida con la pérdida de nitrógeno total en chips de papa obtenidos por sobrefritura.

Conclusiones

La variedad de papa y las condiciones de fritura influyeron en la producción de acrilamida. Las variedades apropiadas para la fritura convencional o al vacío fueron superchola e INIAP-Natividad, en las cuales el contenido de acrilamida no superó el límite de detección en las dos modalidades de fritura; un resultado semejante se obtuvo con la aplicación de fritura al vacío en la mayoría de variedades a excepción de INIAP-Libertad; cuyo promedio de acrilamida ($586 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) superó los límites de detección y cuantificación. Los resultados de este estudio han demostrado la eficiencia de una medida alternativa para mitigar la producción de acrilamida, lo que implica un cambio y renovación en la tecnología de fritura, cuya implementación masiva está limitada por el alto costo de las freidoras al vacío. No obstante, en las freidoras convencionales, es imperativo mejorar la exactitud de los controles de temperatura, renovando las especificaciones técnicas de los equipos.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses respecto a esta publicación

Referencias citadas

Andrade, H.; Bastidas, O.; Sherwood, S. (2002). Vol. 50, pp. 21-28. La papa en Ecuador (pp. 21-24). En: Pumisacho, M., & Sherwood, S. (Eds). El cultivo de la papa en Ecuador. Primera edición. Editorial Abya Yala. Quito-Ecuador. 229 p.

Barber, D.S.; Hunt, J.; LoPachin, R. M.; Ehrich, M. (2001). Determination of acrylamide and glycidamide in rat plasma by reversed-phase high performance

liquid chromatography. *Journal of Chromatography B: Biomedical Sciences and Applications*, 758 (2): 289–293. [https://doi.org/10.1016/S0378-4347\(01\)00191-8](https://doi.org/10.1016/S0378-4347(01)00191-8)

Bravo, J.E. (2008). Contribución al estudio de la fritura al vacío: deshidratación de rodajas de manzana, Universidad Politécnica de Valencia (Departamento de Tecnología de alimentos), Valencia, España, 173p. [doi: 10.4995/Thesis/10251/3401](https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/3401).

A.O.A.C. (1997). Official Methods of Analysis (Vol. 934.06). Virginia Association of Oficial Analytical Chemists.

Claeys, W.L.; De Vleeschouwer, K.; Hendrickx, M. E. (2005). Kinetics of acrylamide formation and elimination during heating of an asparagines-sugar model system. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(26), 9999-10005. [doi: 10.1021/jf051197n](https://doi.org/10.1021/jf051197n) CCC

Capuano, E.; Fogliano, V. (2011). Acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural (HMF): A review on metabolism, toxicity, occurrence in food and mitigation strategies. *LWT-Food Science and Technology*, 44(4), 793-810. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.11.002>

Gabrielsson, J.; Lindberg, N.; Lundstedt, T. (2002). Multi-variate methods in pharmaceutical applications. *Journal of Chemometrics*, 16: 141-160. <https://doi.org/10.1002/cem.697>.

Devaux, A.; Ordinola, M.; Higon, A.; Blajos, J.; Flores, R. (2010). Diagnóstico y análisis del sector papa en Ecuador. En: Departamento de Comunicación y Difusión (CPAD) (Ed.), El sector papa en la región andina: Diagnóstico y elementos para una visión estratégica (Bolivia,

Ecuador y Perú). Centro Internacional de la papa, Lima, Perú. pp. 197-269.

Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria (ESPAC). (2014). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua ESPAC, Quito, Ecuador.

Fellows, P., (2009). Food processing technology: Principles and Practice. 14th edition. Woodhead Publishing, UK. 1152p.

Finotti, E.; Bersani, E.; Vivanti, V.; Friedman, M. (2009). Application of a functional mathematical index to the evaluation of the nutritional quality of potatoes. *Food*, 3(special issue 2): 30-36.

Friedman, M. (2003). Chemistry, biochemistry, and safety of acrylamide. A review. *Journal of agricultural and food chemistry*, 51(16): 4504-4526. <https://doi.org/10.1021/jf030204+>

Friedman, M. (2015). Acrylamide: inhibition of formation in processed food and mitigation of toxicity in cells, animals, and humans. *Food & Function*, 6(6): 1752-1772.

<https://doi.org/10.1039/C5FO00320B>

Food and Drug Administration (FDA). (2018). Acrylamide levels in food products sample for the 2003-2006. Total Diet study. En: Survey data on acrylamide in food: Total diet study results.

<https://www.fda.gov/food/chemicals/survey-data-acrylamide-food-total-diet-study-results>. Consulta: 9 junio 2020.

Food and Drug Administration (FDA). (2004). Final FDA acrylamide action plan, data. En: FDA consumer. The Magazine of the U.S. Food and Drug Administration.

http://www.cfsan.fda.gov/_lrd/pestadd.html#acrylamide. pp. 26-27. Consulta: marzo, 2020.

Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). (2011). Acrylamide. En: Evaluation of Certain Contaminants in Food: Seventy-second Report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. World Health Organization, Geneva, Switzerland.

Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN. (2010). Bocaditos de productos vegetales. Requisitos. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2561. Quito, Ecuador. 3p.

Jácome, P. (2008). Estudio de Mercado de papa prefrita en las ciudades de Quito y Ambato 2007, Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador. 88p.

<https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=EC2013104274>

Konings, E. J.; Baars, A. J.; Van Klaveren, J. D.; Spanjer, M. C.; Rensen, P. M.; Hiemstra, M.; Peters, P. W. (2003). Acrylamide exposure from foods of the Dutch population and an assessment of the consequent risks. *Food and Chemical Toxicology*, 41(11), 1569-1579. [https://doi.org/10.1016/S0278-6915\(03\)00187-X](https://doi.org/10.1016/S0278-6915(03)00187-X)

Martins, S. I.; Van Boekel, M. A. (2005). A kinetic model for the glucose/glycine Maillard reaction pathways. *Food Chemistry*, 90(1-2), 257-269. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.04.006>

Matthäus, B.; Haase, N. U.; Vosmann, K. (2004). Factors affecting the concentration of acrylamide during deep-fat frying of potatoes. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 106(11), 793-801. [doi: 10.1002/ejlt.200400992](https://doi.org/10.1002/ejlt.200400992)

Mestdagh, F.; De Meulenaer, B.; & Van Peteghem, C. (2007). Influence of oil

degradation on the amounts of acrylamide generated in a model system and in French fries. *Food Chemistry*, 100(3), 1153-1159.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.11.025>

Mottram, D.; Wedzicha, B.L.; Dodson, A.T. (2002). Acrylamide is formed in the Maillard reaction. *Nature* 419 (2002) 448–449.

<https://doi.org/10.1038/419448a>

Megazyme (2004). D-Fructose and D-Glucose: Assay procedure K-FRUGL 01/05. 12 p.

Muñoz González, C.B. (2015). Mitigación de la formación de acrilamida en hojuelas de papas mediante el uso de fritura al vacío. Pontificia Universidad Católica de Chile (Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas), Santiago, Chile. 55p. URL:

<http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/134944>. 55 p.

Palazoğlu, T. K.; Gökmen, V. (2008). Reduction of acrylamide level in French fries by employing a temperature program during frying. *Journal of agricultural and food chemistry*, 56(15), 6162-6166. <https://doi.org/10.1021/jf073046l>

Pumisacho, M.; Sherwood, S. (2002). El cultivo de la papa en Ecuador. 1ra. Edición. INIAP_CIP. Quito, Ecuador. 229p.

Qi, Y., Zhang, H., Wu, G., Zhang, H., Gu, L., Wang, L., & Qi, X. (2018). Mitigation effects of proanthocyanidins with different structures on acrylamide formation in chemical and fried potato crisp models. *Food chemistry*, 250, 98-104.

Rydberg, P.; Eriksson, S.; Tareke, E.; Karlsson, P.; Ehrenberg, L.; Törnqvist, M. (2003). Investigations of factors that

influence the acrylamide content of heated foodstuffs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(24), 7012-7018. <https://doi.org/10.1021/jf034649+>

Romero, A.; Bastida, S.; Sánchez-Muniz, F.J. (2006). Cyclic fatty acid monomer formation in domestic frying of frozen foods in sunflower oil and high oleic acid sunflower oil without oil replenishment. *Food and Chemical Toxicology*, 44(10), 1674-1681.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2006.05.003>

Rudén, C. (2004). Acrylamide and cancer risk-expert risk assessments and the public debate. *Food and Chemical Toxicology*, 42(3), 335-349. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2003.10.017>

Sharma, S. K.; & Mulvaney, S. J. (2003). Ingeniería de alimentos: operaciones unitarias y prácticas de laboratorio. 2da. Edición. Editorial Limusa, México. 348 p.

Semla, M.; Goc, Z.; Martiniaková, M.; Omelka, R.; Formicki, G. (2017). Acrylamide: a common food toxin related to physiological functions and health. *Physiological research*, 66(2), 205.

Suaterna Hurtado, A.C. (2009). La fritura de los alimentos: el aceite de fritura. *Perspectivas en Nutrición Humana*, 11, 39-53. ISSN 0124-4108 V

Tareke, E. (2003). Identification and origin of potential background carcinogens: Endogenous isoprene and oxiranes, dietary acrylamide. Stockholm University (Faculty of Science, Department of Environmental Chemistry), Stockholm, Suecia. 61p

Tirado, D. F.; Acevedo, D. Guzmán, L. E. (2012). Freído por inmersión de los alimentos. *Revista ReCiTeIA*. Vol. 12, Nro.1.ISSN 2027-6850.

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. Memorias del V Congreso Ecuatoriano de la Papa y IV Congreso Iberoamericano sobre Investigación y Desarrollo en Papa. Quito, Ecuador. p.49

Vinci, R.M.; Mestdagh, F.; De Meulenaer, B. (2012). Acrylamide formation in fried potato products–

Present and future, a critical review on mitigation strategies. Food chemistry, 133(4), 1138-1154.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.08.001>

Weisshaar, R.; Gutsche, B. (2002). Formation of acrylamide in heated potato products-model experiments pointing to asparagine as precursor. Deutsche Lebensmittel-Rundschau, 98(11), 397-40