

**FRITURA AL VACIO: Una alternativa para la disminución de acrilamida en la
fritura de papas**

Trabajo de grado para optar al título de Especialista en Alimentación y Nutrición

Alba Lucia Segura Duque

Sandra Milena Gómez Posas

Asesor

Ana Liliana Giraldo Aguirre

Química Farmacéutica. PhD Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias

Corporación Universitaria Lasallista

Facultad de Ingenierías

Especialización en Alimentación y Nutrición

Caldas Antioquia

2019

Tabla de contenido

Resumen.....	6
Introducción.....	7
Metodología	9
Justificación.....	11
Hipótesis	12
Objetivos	13
Objetivo general:	13
Objetivos específicos:	13
Acrilamida. Antecedentes Históricos.....	14
Aspectos toxicológicos de la Acrilamida.....	16
Formación de acrilamida en los alimentos	17
Método de fritura convencional	19
La papa como matriz alimentaria	21
Factores que influyen en la formación de acrilamida durante la elaboración de papas fritas	24
Estrategias industriales para el control de acrilamida en alimentos procesados.....	26
Control de temperatura y presión de proceso. Fritura al Vacío	30
Análisis Comparativo entre la Fritura al Vacío y la Fritura Convencional.....	33
Conclusiones.....	41

Referencias 42

Lista de Figuras

Figura 1. Estructura Molecular de 2-propenamida – Acrilamida.....	14
Figura 2. Vías de formación de la acrilamida	19
Figura 3. a) Gráficos de investigaciones publicados por año de estudios relacionados con la fritura al vacío de papas fritas a) con y sin modificaciones a la técnica b) con niveles de acrilamida.....	31

Lista de Tablas

Tabla 1. Composición Nutricional por cada 100 g de papa	22
Tabla 2. Contenido de Acrilamida en papas fritas usando diferentes técnicas de fritura	34
Tabla 3. Comparación de condiciones fisicoquímicas de fritura convencional vs fritura al vacío de papas y formación de acrilamida	36

Resumen

La acrilamida es una molécula que ha sido ampliamente utilizada en la industria de papel, tinturas y plásticos; sin embargo, hacia el año 2002 se identifica su presencia en alimentos y se inician estudios para determinar su formación e implicaciones en la salud, siendo clasificada por la Unión Europea y el IARC como posible cancerígeno categoría 2A. Tres (3) son las posibles vías de formación, siendo la más frecuente la reacción de Maillard, involucrando azúcares reductores, asparagina y altas temperaturas. En este caso, las papas fritas, han sido una de las matrices alimentarias de mayor interés por los investigadores, por contar con todas las condiciones necesarias para la formación de acrilamida y por su extendido consumo, por lo cual, se han realizado diversos estudios que buscan reducir el contenido de ésta durante el proceso de fritura, identificando a la temperatura como uno de los factores más críticos en la formación de acrilamida. En el presente trabajo, se realiza una revisión bibliográfica sobre las metodologías que se han investigado para la disminución de acrilamida durante la fritura, enfatizando particularmente en la fritura al vacío como objeto de estudio, se hace una comparación entre fritura convencional a presión atmosférica y fritura al vacío con temperaturas inferiores a 140°C, encontrando que esta última es una buena alternativa en el control de la formación de acrilamida alcanzando una disminución que puede ir del 58 % hasta el 98 % de ésta, sumado a la conservación e incluso mejora de las propiedades sensoriales del producto.

Palabras clave: Acrilamida, papas fritas, fritura convencional, fritura al vacío.

Introducción

Durante la evolución humana, los alimentos han sido procesados acudiendo a múltiples razones, ya sea para hacerlos digeribles cuando no lo son, para poder ser transportados por largo tiempo, ser almacenados ante la escases, para mejorar sus condiciones sensoriales, o para hacerlos más seguros.

Con el procesamiento de los alimentos el hombre ha podido mejorar en nutrición, microbiología, calidad y seguridad de los mismos. Sin embargo, estas alternativas de procesamiento pueden llevar ocasionalmente a la formación de compuestos tóxicos, que son indeseables y que requieren ser estudiados para evaluar sus efectos en la salud humana, así como para establecer mecanismos para su control o disminución de manera eficaz.

Desde que en Suecia por el año 2002, se informó por primera vez sobre la presencia de acrilamida en alimentos, se ha intensificado el interés de realizar diversos estudios con diferentes matrices alimentarias. Dicho interés surgió debido a la creciente preocupación dada la clasificación de esta sustancia como potencial cancerígeno de acuerdo al Comité de Codex sobre Aditivos Alimentarios y Contaminantes (CCFAC).

A raíz de todas las investigaciones llevadas a cabo desde entonces, se ha descubierto que esta molécula se forma principalmente durante la reacción de Maillard, en alimentos ricos en azúcares reductores, almidones y asparagina libre, que son sometidos a procesos térmicos a temperaturas superiores a 120°C.

Las investigaciones aquí revisadas, relacionan el interés en describir estrategias industrialmente eficientes y válidas en la reducción significativa de los niveles de acrilamida en la dieta, siendo nuestro objetivo principal establecer el potencial que

presenta la fritura al vacío como una alternativa al método convencional para el procesamiento de las papas fritas, considerada ésta como uno de los alimentos más consumidos y susceptibles a la formación de acrilamida en razón a sus constituyentes.

No han sido muchos los autores, ni estudios disponibles que busquen comparar los métodos de fritura convencional y al vacío, convirtiéndose en una limitante para encontrar la suficiente información que permita determinar cuál proceso es el ideal para esta matriz en la reducción del contenido de acrilamida, no obstante, la información hallada, permitió obtener algunas conclusiones del método de fritura al vacío como objeto de estudio.

De esta manera entonces, presentamos la información y análisis de la literatura científica actualizada, buscando con ella establecer si la fritura al vacío es la mejor alternativa frente a la fritura convencional como estrategia para la reducción en la formación de acrilamida en papas fritas.

Metodología

El diseño metodológico empleado es exploratorio, documentalista y descriptivo, y el documento se escribe en el formato de revisión narrativa, ya que permite identificar las fuentes de información relevante y pertinente, recuperarlas y analizarlas, indagar y establecer texto referenciado específico sobre la temática en cuestión: La fritura al vacío de papas reduce en un porcentaje significativo la formación de acrilamida en relación con la fritura convencional.

Como estrategia de búsqueda se indagó en diferentes unidades de información a través de bases electrónicas científicas y académicas (Scielo, Redalyc, NCBI, Scopus, Springer Link, Dialnet, Science Direct), catálogos electrónicos y organizaciones idóneas en el tema, en sitios web [FAO, OMS, CODEX ALIMENTARIUS]), para un período comprendido entre el año 2000 y el 2019, período en el cual se ha dado el mayor apogeo en investigaciones relacionadas con este tema y se identifica a la acrilamida como posible carcinógeno. Lo anterior con la finalidad de presentar una discusión que permita la consecución del objetivo general de este trabajo.

Para la búsqueda se usaron las siguientes palabras clave: Acrilamida (Acrylamide), fritura (frying), acrilamida + fritura al vacío (acrylamide + vacuum frying), fritura al vacío + papa (vacuum frying + potato), acrilamida en alimentos (Acrylamide food), procesos térmicos fritura (frying thermal processes), efectos acrilamida alimentos (Acrylamide food effects), entre las más usadas.

Tal búsqueda arrojó más de 300 artículos de los cuales referenciamos entonces 51 artículos y 6 documentos web con una correspondencia directa en el desarrollo de nuestra hipótesis y objetivos específicos. Se toma como criterio de inclusión la relación

directa con el tema tratado durante la revisión, la inclusión de por las menos dos palabras claves durante todo el texto, la fecha reciente de publicación y la coherencia con la información seleccionada.

Por tanto, el esquema general que le dio unidad, coherencia, secuencia y pertinencia a todo el marco documental y que pretendía desarrollar la respuesta al problema planteado, se definió desde la etapa inicial en la identificación del tema general a indagar comenzando por la definición específica de la hipótesis y la perspectiva ordenada de los capítulos para desarrollar este trabajo.

Justificación

En la industria de los alimentos, se han utilizado diversos métodos de procesamiento, siendo la fritura uno de los más ampliamente usados, por su atractivo en cuanto a la rapidez, accesibilidad, economía y especialmente por las características sensoriales que aporta al producto final.

Sin embargo, sumergir alimentos en aceite a temperaturas superiores a 120°C, ocasiona deterioro de nutrientes como vitaminas y antioxidantes, adicional a la formación de compuestos nocivos para la salud como la acrilamida.

La acrilamida es una molécula tóxica que se forma en los alimentos al someterse a tratamientos térmicos con altas temperaturas como el tostado, horneado y fritura principalmente. Esta ha sido estudiada ampliamente desde el año 2005 con el objetivo de conocer sus efectos sobre la salud y la nutrición en los consumidores, y a la vez desarrollar estrategias que contribuyan a la reducción en sus niveles de formación en los alimentos procesados.

Se han estudiado diferentes alternativas para generar una disminución de acrilamida en alimentos fritos, tales como selección de variedades con menores concentraciones de precursores, prelavados, adición de enzimas que controlen la formación y el objeto del estudio de esta monografía modificación de variables en el proceso de preparación como es el caso de la fritura al vacío.

La fritura a vacío es un proceso que se realiza a bajas presiones en un sistema cerrado, lo que permite que la temperatura sea inferior a la usada durante la fritura convencional, generando una reducción en la formación de sustancias

tóxicas con presunto potencial carcinogénico como la acrilamida, sumado a una mejora en las características sensoriales y nutricionales del alimento.

Hipótesis

La fritura al vacío de papas reduce en un porcentaje significativo la formación de acrilamida en relación con la fritura convencional.

Objetivos

Objetivo general:

Establecer si la evidencia bibliográfica existente, permite concluir que la fritura al vacío es la mejor alternativa en la disminución de la formación de acrilamida en papas fritas, comparada con la fritura convencional.

Objetivos específicos:

Describir el mecanismo de formación de la acrilamida en procesos térmicos y sus efectos adversos sobre la salud humana.

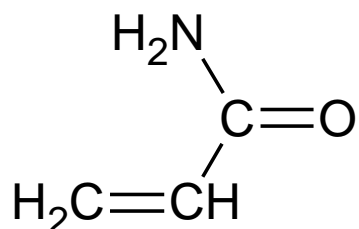
Comparar la cantidad de acrilamida generada en los procesos de fritura convencional frente a la fritura al vacío de papas fritas.

Determinar si la fritura al vacío de papas es la mejor alternativa frente a la fritura convencional, respecto a la disminución en la formación de acrilamida sin afectar las características sensoriales, con base en resultados de investigaciones y estudios técnico científicos previos.

Acrilamida. Antecedentes Históricos

La acrilamida (2-propenamida) (Figura 1) (Valenzuela B y Ronco M, 2007) es un compuesto que ha tenido un amplio uso en la industria para la producción de papel, tinturas y plásticos (Ullate, Mata, Laura, y Echandi, 2015). Solo empezó a ser cuestionada, hasta el año 2002, cuando la Administración Nacional de Alimentos de Suecia e investigaciones de la Universidad de Estocolmo anunciaron los hallazgos de cantidades elevadas en alimentos que son sometidos a procesos de altas temperaturas como horneado y frituras principalmente (Masson et al., 2007).

Figura 1. Estructura Molecular de 2-propenamida – Acrilamida



En el año 2005, se concluyeron las investigaciones solicitadas por el *Codex Committee on Food Additives and Contaminants* (CCFAC, por sus siglas en inglés) a la comisión de expertos en aditivos alimentarios de la FDA y ONU, donde recomiendan determinar la toxicidad de este compuesto. Estos estudios determinaron más tarde la toxicidad de la acrilamida y motivaron nuevas investigaciones a nivel mundial relacionadas con las dietas alimentarias de cada país que podían presentar contaminación (Arisseto & Toledo, 2006).

Las investigaciones más completas sobre acrilamida y su riesgo a la salud humana las ha realizado la *European Food Safety Authority* (EFSA, por sus siglas en inglés). Esta entidad inicio investigaciones desde el año 2003 y a partir del 2007 estableció que los países que la conforman deben hacer monitoreos anuales a matrices alimentarias y reportar a la EFSA el contenido de acrilamida hallado (Barón Cortés, 2016).

Por otro lado, en Canadá se han realizado monitoreos por medio de *Health Canada* desde 2009, donde se recogen muestras del mercado y se analiza el contenido de acrilamida. Parte de los resultados de dicha investigación, indican que el consumo de papas fritas de restaurantes contribuye en 30 % a la exposición de acrilamida alimentaria. Dicha entidad ha declarado que la exposición de acrilamida por matrices alimentarias, representa un riesgo para la salud humana (Barón Cortés, 2016).

En el año 2013, se publicó un documento llamado "*Acrylamide Toolbox*" en Europa, el cual tiene como objetivo brindar información sobre la prevención en la formación de acrilamida, como un contaminante en el procesamiento de alimentos, y está dirigido tanto a la industria de alimentos y bebidas, como a los consumidores (Kettlitz, 2014).

En el 2016 la Administración de Drogas y Alimentos de los Estados Unidos (FDA, por sus siglas en inglés) desarrolló una guía para proveer información que ayude a los productores, fabricantes y operadores de servicios de alimentos a reducir los niveles de acrilamida en ciertos alimentos (FDA, 2016).

Hasta la fecha, se han desarrollado investigaciones privadas, en las que se han analizado factores como: composición de alimentos, métodos de procesamiento de

alimentos, exposición a alimentos con altas concentraciones de acrilamida, prevención de la formación de acrilamida por diversas vías tecnológicas, entre otros (Belkova et al., 2018).

Aspectos toxicológicos de la Acrilamida

La absorción de la acrilamida se puede dar de diversas formas, ya sea por inhalación, absorción por epidermis y la más común, por la ingesta de alimentos.

Según Molina Pérez et al., 2016 cuando la molécula es absorbida puede sufrir una epoxidación en el citocromo P450 CYP2E1 en el hígado, formando glicidamida o ser conjugada con glutatión mediante la glutatión-S-transferasa para posteriormente excretarse por orina como ácido mercaptúrico. La acrilamida y la glicidamida son compuestos con alta solubilidad, lo que les permite diluirse y extenderse por los tejidos orgánicos y formar complejos con moléculas como la hemoglobina, antes de ser eliminadas (Molina Pérez, Mañes, y Manyes, 2016).

La acrilamida es una neurotoxina para los seres humanos, considerada como “posible carcinógeno” clase 2A según la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés) (Zhivagui et al., 2019) y como cancerígeno de categoría 2 según la Unión Europea (Moreno Navarro, IM; Rubio Armendáriz, C; Gutiérrez Fernández, AJ; Cameán Fenández & Hardisson de la Torre, 2007).

Se encuentra presente principalmente en alimentos ricos en harinas y azúcares reductores como los siguientes: el pan (50-162 $\mu\text{g}/\text{kg}$), galletas (423-3200 $\mu\text{g}/\text{kg}$), cereales para el desayuno (298-1343 $\mu\text{g}/\text{kg}$), café (200-230 $\mu\text{g}/\text{kg}$), entre otros. En cuanto a las papas, se encuentra entre 1312-2287 $\mu\text{g}/\text{kg}$ si son papas chips y 537-3500

$\mu\text{g}/\text{kg}$ si son papas a la francesa, con una ingesta diaria que se encuentra entre 0.6 y 2.3 $\mu\text{g}/\text{kg}$ por día en adultos (Arisseto & Toledo, 2006).

Se han realizado estudios *in vivo* que han demostrado que la acrilamida es neurotóxico, carcinogénico, clastogénico y presenta toxicidad reproductiva en ratones. En cuanto a investigaciones realizados en seres humanos, se ha encontrado que la acrilamida puede estar involucrada en la formación de tumores cancerígenos en ovarios, endometrio y mamas, así como un posible aumento en la aparición de melanoma múltiple y linfoma folicular en hombres, dando resultados positivos a que puede actuar a través de la vía hormonal (Molina Pérez et al., 2016).

Teniendo en cuenta los hallazgos de posibles riesgos a la salud asociados a la acrilamida, se determinan las diferentes vías de formación de la acrilamida en alimentos, ya que es una principal fuente de exposición a este compuesto (Molina Pérez et al., 2016).

Formación de acrilamida en los alimentos

En alimentos, la acrilamida se forma principalmente en alimentos de origen vegetal, por presentar altos contenidos de almidones y bajos contenidos de proteína, que luego son sometidos a procesos térmicos por encima de 120°C . Para la formación de este compuesto, se requiere la participación de azúcares reductores, siendo la fructosa y la glucosa los más comunes. (Moreno Navarro, IM; Rubio Armendáriz, C; Gutiérrez Fernández, AJ; Cameán Fenández & Hardisson de la Torre, 2007).

Los mecanismos de formación de la acrilamida han sido bien caracterizados y se muestran en la Figura 2 (Keramat, LeBail, Prost, & Soltanizadeh, 2011; Matthäus &

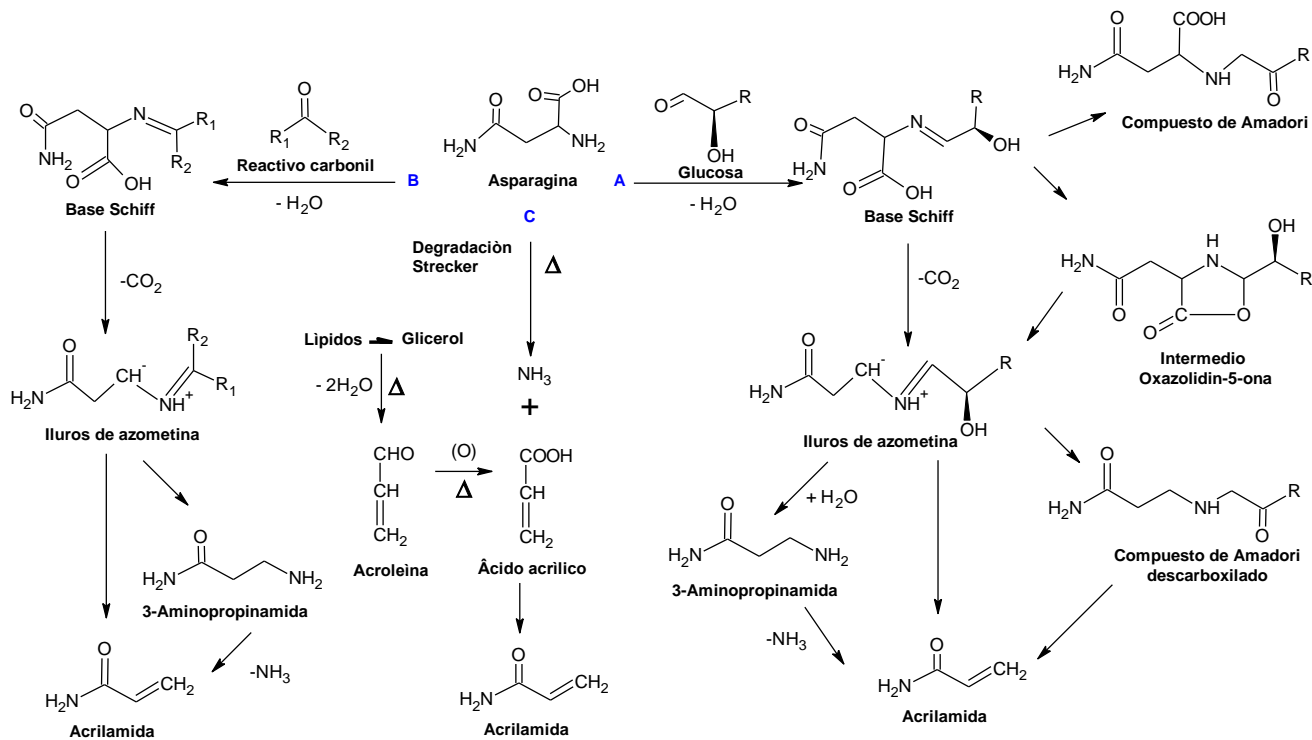
Haase, 2014; Medeiros Vinci, Mestdagh, & De Meulenaer, 2012; Ullate et al., 2015; Visvanathan R, 2014).

La primera vía de formación y la más importante se da por medio de la reacción de Maillard, que tiene lugar cuando se somete un alimento con contenido de aminoácidos libres como asparagina y azúcares reductores, a procesos térmicos de altas temperaturas. Bajo esta vía, cuando la asparagina se encuentra sola a temperaturas elevadas, la formación de acrilamida es muy reducida, pero cuando se asocia la participación de un grupo carbonilo (α -hidroxicarbonil), proveniente de azúcares reductores como la glucosa, se promueve la formación de acrilamida, como se observa en la ruta A de la Figura 2. (Jin, Wu, & Zhang, 2013).

Una segunda vía indica que la formación de acrilamida también se puede dar, gracias a la reacción de la asparagina con un grupo carbonilo distinto a α -hidroxicarbonil, proveniente de otro tipo de carbohidratos, fragmentos de azúcares y productos oxidados de lípidos como se observa en la figura 2 vía B. La formación de acrilamida mediante esta vía es considerada como un contaminante de la reacción (Ullate et al., 2015).

Una tercera vía presume que la acrilamida puede formarse a partir de las moléculas de acroleína o ácido acrílico (Figura 2 vía C), que se encuentran en aceites vegetales que han sido sometidos a largos procesos de fritura y que han tenido un proceso de degradación lipídica.

Figura 2. Vías de formación de la acrilamida a partir de la Asparagina.



Método de fritura convencional

El proceso de fritura se define como el sumergir un alimento en aceites comestibles a temperaturas por encima de la ebullición del agua, generalmente a partir de 120°C , con el objeto de desarrollar en los alimentos un color dorado, textura crocante, sabor y olor deseados (Yang, Achaerandio, & Pujolà, 2016). Se considera que es uno de los métodos más rápidos y accesibles, aceptado por las características sensoriales que aporta al alimento, dado que durante la fritura, la matriz alimentaria es sometida a variables físicas tales como temperatura y tiempo, lo que provoca la migración del agua y el aceite hacia las membranas celulares, con el desarrollo de atributos sensoriales

deseados de textura, color y sabor (Francisco J. Castellanos, Carlos R. Pinedo, 2012; Maity, Bawa, & Raju, 2014), siendo estos aspectos determinantes en la dieta humana (Maity et al., 2014).

En los últimos 40 años, se ha incrementado el uso de la fritura como método de preparación, siendo los alimentos preparados por estos métodos los preferidos por la mayoría de la población (Mesías, Holgado, Márquez-Ruiz, & Morales, 2017). El consumo de alimentos ricos en grasas trans y saturadas es creciente en Colombia según los análisis relacionados con la Encuesta Nacional de la Situación Nutricional en Colombia 2010 (Instituto Colombiano de Bienestar Familiar, 2010), 95.2 % de los colombianos consumen alimentos fritos, de los cuales el 32 % lo hacen a diario y 58.8 % cada semana; en un día se observa que el 20.8 % los consume por lo menos una vez, 9.1 % dos veces y 2.8 % tres o más veces. El consumo diario aumenta en la medida que aumenta la edad hasta los 30 años: el 31.4 % de los niños de 5 a 8 años mientras que el 38.5 % de los adultos de 19 a 30 años los consume.

El proceso de fritura a altas temperaturas, genera en primer lugar una pérdida de nutrientes termolábiles en el alimento, tales como, vitaminas y antioxidantes acompañado de un detrimento en la calidad de los aceites, debido a reacciones de degradación que generan hidroperóxidos, radicales libres y p-anisidina; moléculas responsables de la oxidación de los aceites, generando daño a la salud por su reactividad al oxígeno a nivel plasmático (Crosa et al., 2014).

Por otra parte, los procesos de fritura de los alimentos los convierte en una de las principales fuentes de obtención de acrilamida en nuestra dieta (Guillén et al., 2017). Estudios realizados a la población colombiana bogotana, sugieren exposiciones

promedio (p.c) de acrilamida en adultos en el rango de 14 a 64 años de 0.43 a 0.17 $\mu\text{g}/\text{kg}$ p.c. por día y en grupos etarios infantiles en el rango de 2 a 13 años de 0.92 a 0.64 $\mu\text{g}/\text{kg}$ p.c. / día, dado el consumo preferente de panela y papas fritas como snacks, las cuales pueden alcanzar concentraciones de hasta 521 y 635 $\mu\text{g}/\text{kg}$ respectivamente, siendo estas concentraciones muy altas en comparación con las presentadas por agencias internacionales como la FDA para la población mayor a 2 años de edad (Barón Cortés, 2016).

Dado la elevada formación de acrilamida en alimentos fritos como las papas y la preferencia de los consumidores por éstas, se hace necesario implementar métodos de fritura que conserven la calidad nutricional de los alimentos, además de proteger estas matrices de la formación de compuestos tóxicos como la acrilamida. Para lograr esto, es importante conocer las propiedades de la matriz a procesar como su composición nutricional (C. Granda, Moreira, & Tichy, 2004).

La papa como matriz alimentaria

La papa es un tubérculo cuyo nombre científico es *Solanum tuberosum L*, originaria de la cordillera de los Andes, y solo en América se pueden encontrar hasta 2500 variedades, donde su composición varía de acuerdo a variedad, tipo de suelo y clima donde se cultive, estado de madurez entre otros factores.

Una composición general en 100 g de papa se presenta en la tabla 1, lo cual indica que este es un alimento con un aporte calórico suficiente para ser considerado un alimento energético. Dentro de su composición también se encuentran vitaminas

(niacina, tiamina, riboflavina, vitamina c) y minerales (hierro, calcio, fósforo, potasio) (FAO, 2010; Hernandez, 2014; Morales F, 2011), que lo hacen rico en micronutrientes.

Tabla 1. Composición Nutricional por cada 100 g de papa

Componente	Cantidad
Agua	77.0 g
Fibra	1.80 g
Valor calórico	87 Kcal
Proteína	1.87 g
Carbohidratos	20.13 g
Lípidos	0.10 g
Vitamina C	13 mg
Hierro	0.31 mg
Calcio	5 mg
Fosforo	44 mg

(Hernandez, 2014).

En cuanto a su composición de aminoácidos, el contenido de asparagina puede variar entre 2500 y 4200 mg/Kg de papa fresca, siendo la variedad *Saturna* una de las que presenta contenidos más altos con 3800 mg/Kg. El contenido de azúcares varía de acuerdo al estado de madurez, la concentración de fructosa puede estar entre 30 y 1500 mg/Kg, mientras la glucosa puede alcanzar los 2500 mg/kg de papa fresca (Mrein et al., 2003).

En Colombia, se encuentran variedades tales como *Tuquerreña*, *Salentina*, *Criolla*, *Capira* entre otras, siendo esta última la más ampliamente utilizada en la industria de chips y bastones (Cámara de Comercio de Bogotá, 2015).

La papa es un tubérculo de amplio consumo a nivel mundial. La diversidad gastronómica que se deriva de ella (frita en diferentes formas, siendo su principal

consumo en rodajas fritas (chips) y en cascos tipo a la francesa, cocida, asada, en puré, como harina para preparación de masas, galletas y pastas) la convierten en un alimento de múltiples aplicaciones en la dieta diaria (Claudia Granda & Moreira, 2005). La papa se encuentra ubicada dentro de los 4 primeros cultivos de mayor importancia en el mundo, después del arroz, trigo y maíz. Para el año 2013, el mayor productor de papa fue China con una participación del 24.2 % de la producción total, seguido por India con 12.3 %, Rusia con 8.2 % y USA con 5.4 % (Cámara de Comercio de Bogotá, 2015; Morales F, 2011).

Entre 170000 y 250000 toneladas de papa se procesan cada año en Colombia, siendo el 80 % destinadas a papas chips y papas tipo francesa (Hernandez, 2014). Según un informe presentado por *Research and Markets*, debido al crecimiento que se observó hasta el año 2017 en el sector de comidas rápidas y snacks congelados, se espera que para el 2022 este segmento represente a nivel mundial ventas de 30 mil millones de dólares (potatopro.com, 2017).

Este mercado ha crecido gracias a la expansión de cadenas de restaurantes como KFC y McDonald's, que ofrecen platos rápidos y accesibles, al igual que las opciones congeladas que se encuentran en supermercados de fácil preparación en casa (potatopro.com, 2017). De acuerdo a estos datos, es de esperarse que la población en general sin distinción de grupo etario o rasgo social se vea sometida a una alta exposición de acrilamida diariamente dado el alto consumo de papas fritas en su dieta cotidiana (Barón Cortés, 2016).

Factores que influyen en la formación de acrilamida durante la elaboración de papas fritas

La papa es una matriz alimentaria que cuenta con las condiciones ideales para la formación de acrilamida, contiene los precursores asparagina y azúcares reductores, y durante su procesamiento se suministran las condiciones necesarias para que se produzca la reacción de Maillard a altas temperaturas (Medeiros Vinci et al., 2012).

La cantidad de acrilamida que se puede formar durante la fritura de papas, puede variar considerablemente según la composición de azúcares reductores y asparagina, variedad agrológica y exposición de la papa durante el proceso térmico: relación superficie-volumen (RSV)¹, temperatura, presión y tiempo (Rommens, Yan, Swords, Richael, & Ye, 2008; Taubert, Harlfinger, Henkes, Berkels, & Schömig, 2004).

El estado de maduración y época de cosecha son variables importantes, ya que, estudios han demostrado que los tubérculos tienden a disminuir la concentración de azúcares reductores, cuando se encuentran en su máxima etapa de maduración, por ende, se da una menor formación de acrilamida en las papas fritas (Medeiros Vinci et al., 2012).

Otras características como periodo de cosecha, condiciones del suelo y madurez interfieren en la composición final de azúcares y aminoácidos de la papa, siendo un factor crítico el almacenamiento pos-cosecha por largo tiempo, costumbre que se tiene para garantizar el abastecimiento de materia prima durante todo el año. El tubérculo al estar

¹ RSV – índice entre el ancho y el grosor del trozo de papa luego del corte. Ej. Rodajas cilíndricas de 30 mm de diámetro y 15 mm altura [relación superficie-volumen (SVR) 0.27 mm⁻¹] y cortes de 30 mm de diámetro y 3 mm de altura (SVR 0.80 mm⁻¹) se produjeron con un dispositivo de conformación de orificios (desviación absoluta máxima en cada dimensión 0.1 mm). Las piezas de una dimensión promedio de 16.8 x 6.0 x 1.2 mm (SVR 2.12 mm⁻¹) fueron producidas por un rallador manual y cortadas a la misma longitud (desviación absoluta máxima en longitud de 0.5 mm, en ancho y altura 0,1 mm).

almacenado a temperaturas inferiores a 8°C inicia un proceso enzimático de senescencia que aumenta la concentración de dichos azúcares (Medeiros Vinci et al., 2012; Rommens et al., 2008)

Amer et al., encontraron que hay una relación entre la elección de variedades de tubérculos específicas y su correspondiente almacenamiento climatérico, en la cantidad de formación de acrilamida, luego que se someten a fritura. De aquí que se considera relevante la selección de la variedad de papa como materia prima y la optimización de condiciones de almacenamiento (temperatura y tiempo), para lograr una reducción considerable en la formación de acrilamida en los posteriores procesos térmicos en aceite, con resultados positivos en los atributos sensoriales (Amer et al., 2014).

El contenido de humedad de la papa durante la fritura, también es un factor que se debe tener en cuenta como crítico para la formación de acrilamida. En el procesamiento de papas fritas se busca tener una humedad inferior a 2.5 %, con el fin de garantizar la seguridad del producto en cuanto al crecimiento de microorganismos. Sin embargo, por debajo de este valor se concentran los azúcares reductores y los aminoácidos, potenciando la energía de activación para la formación de acrilamida (Belkova et al., 2018).

Es entonces que, durante el procesamiento de las papas, especialmente en los procesos de fritura dadas las altas temperaturas, se producen las condiciones propicias para la formación de acrilamida. Se han realizado pruebas en las que se cuantifica la formación de acrilamida a diferentes temperaturas, encontrando que dicha concentración aumenta de 1 a 8 veces cuando se pasa de temperaturas de 150°C a 185°C. Este aumento es aún mayor, cuando se tienen variedades de papas ricas en azúcares

reductores como Milva (17 %) y Monalisa (27 %). En variedades como la papa Agria, no se evidencian aumentos significativos relacionados con la temperatura, por lo que se ha recomendado el uso de esta variedad para procesos de fritura (0.9 % de azúcares reductores) (Mesías et al., 2017).

Por otra parte, se ha probado que la exposición a acrilamida en la dieta diaria es potencialmente mayor cuando el producto se prepara de manera casera en hogares y restaurantes, ya que el consumidor en los puntos de venta *retail* no encuentra tubérculos con las condiciones de madurez, tiempo y temperatura controladas para que la cantidad de precursores de acrilamida puedan estar en control (Mesías et al., 2017), tal como es referenciado en estudios al respecto.

En esa misma línea, se valoró que en trozos de papa con bajo RSV, el contenido de acrilamida aumentó constantemente al aumentar la temperatura y los tiempos de procesamiento, a diferencia de trozos con RSV intermedia a alta donde la formación máxima de acrilamida ocurrió a 160-180°C mientras que las temperaturas más altas o los tiempos de procesamiento prolongados causaron una disminución de los niveles de acrilamida (Taubert et al., 2004).

Estrategias industriales para el control de acrilamida en alimentos procesados

La acrilamida potencialmente tóxica, tal como lo hemos abordado anteriormente, se deriva en mayor medida de las reacciones catalizadas por el calor entre el grupo amino libre del aminoácido asparagina y los grupos carbonilo de glucosa y fructosa en cereales, papas y otros alimentos derivados de plantas.

Por esto y debido a la importante contribución de los productos de papa en la ingesta de acrilamida en la dieta, se ha evaluado con detenimiento en diversas investigaciones. El descubrimiento de los mecanismos de formación y el papel de los azúcares reductores, muestra que el conocimiento recopilado de varios estudios en los últimos años con respecto a la reacción de Maillard y la fritura, se podría usar para identificar métodos de mitigación relevantes en la formación de acrilamida (Ullate et al., 2015).

A finales del siglo XX, se realizaron estudios que demuestran que tanto la asparagina como los azúcares reductores son reactivos limitantes para la formación de acrilamida, potenciándose según el contenido que se encuentre de cada compuesto. Estudios posteriores como el de Yang et al., 2016, muestran que el reactivo límite en la formación son los azúcares reductores. En este estudio se analizaron 3 variedades de papa, observando mayor formación de acrilamida en la variedad con más de 3 g de azúcares reductores por Kg de papa.

En la búsqueda por establecer la disminución notoria de acrilamida en papas fritas, varios estudios relacionan el uso de diversas técnicas de procesamiento y preparación, combinando diferentes condiciones, así como la utilización de diversas variedades de papas con el fin de determinar la relación entre las condiciones de preparación y procesamiento y el contenido en la papa de algunos precursores en la formación de acrilamida (Pedreschi, Moyano, Santis, & Pedreschi, 2007).

Las primeras investigaciones se dieron en torno a modificaciones en la técnica de producción y procesamiento de los alimentos. Mestdagh et al., 2008, evaluaron la metodología del escaldado de las rebanadas de papas antes de realizar el proceso de

fritura, basándose en que el agua puede extraer parte de los azúcares reductores. Realizaron un proceso de escaldado en agua a 70°C durante 10-15 minutos y lograron una reducción del 65 % de acrilamida en el producto final (Mestdagh et al., 2008). Sin embargo, esta metodología es altamente cuestionada por el impacto ambiental que genera el alto consumo de agua en los recambios de enjuague, adicional a la práctica que se tienen en la industria de adicionar dextrosa como aditivo en el proceso posterior al escaldado, para generar un color más uniforme en la fritura (Medeiros Vinci et al., 2012).

Palazoğlu & Gökmen, 2008, han considerado que la modelación automática de la relación temperatura y tiempo en condiciones de fritura, podría reducir hasta en un 50% la formación de acrilamida en un sistema controlado cuando en la etapa final del proceso se puede sostener una temperatura del aceite más bajo (4 minutos a 170°C + 2 minutos a 170°C + 2 minutos a 150°C + 1 minuto a 170°C + 3 minutos a 150°C + 1 minuto a 190°C + 3 minutos a 150°C).

Por su parte, Napolitano et al., 2008, en su trabajo sugieren que el uso de aceites vegetales comestibles ricos en compuestos orto-difenólicos, como lo son algunas variedades de aceite de oliva virgen, se pueden proponer como una estrategia confiable gastronómicamente hablando para la reducción de la formación de acrilamida durante la fritura doméstica en condiciones de temperatura y tiempo de leves a moderadas. (180°C durante 5, 10 y 15 minutos) (Napolitano et al. 2008).

Jung, Choi, & Ju, 2003 probaron que disminuir el pH con ácido cítrico antes de freír fue eficiente para bajar la formación de acrilamida (aproximadamente un 73 %) en papas fritas cuando se fríen a lo largo de 6 min a 190°C en una freidora atmosférica.

Este efecto puede ser debido a que durante la formación de acrilamida vía reacción de Maillard el primer paso es la formación de la base *Schiff* a partir del ataque nucleofílico del grupo amino ($\alpha\text{-NH}_2$) de la asparagina al carbono parcialmente positivo del grupo carbonilo. Con la adición del acidulante (ácido cítrico) y la reducción del pH, se puede bloquear esta reacción ya que al protonarse la amina (-NH_3^+) se evita el ataque nucleofílico, a la vez que se ve favorecida la reacción de pardeamiento no enzimático por la disminución del pH del sistema. Pedreschi, Kaack, & Granby, 2004, mostraron que el efecto de la inmersión en ácido cítrico sobre la reducción de acrilamida no fue notoria con papas fritas a 170°C y 190°C, pero que el uso de un escaldado combinado con dicha inmersión, permite una reducción importante en el contenido de acrilamida.

La investigación con tecnologías modernas como enfoque alternativo para la reducción de acrilamida en papas fritas, nos lleva al uso de enzimas catalizadoras como la L-asparaginasa de origen microbiano, tales como, cepas fermentadoras en estado sólido de *Bacillus subtilis*, usando como sustrato residuos agrícolas (piel de naranja), la cual puede convertir la L-asparagina en ácido L-aspártico y amoníaco, mostrando disminuciones de hasta un 95 % comparados con papas sin tratar (Sanghvi et al., 2016), y usando *Aspergillus oryzae*, de hasta 60 % con previo escaldado. (Anese, Manzocco, Calligaris, & Nicoli, 2013; Hendriksen, Kornbrust, Ostergaard, & Stringer, 2009).

Otra alternativa tecnológica relevante en los últimos tiempos, se refiere al uso de antioxidantes naturales por adición (inmersión) a la papa antes de la fritura con el objetivo de disminuir la formación de acrilamida durante una fritura convencional. Zhang et al. 2007, determinaron que hubo una reducción de hasta 76.1 % en la formación acrilamida en papas fritas cuando se empleó una concentración de antioxidantes provenientes de

las hojas de bambú de 0.1 %. La capacidad inhibitoria máxima se logró cuando el tiempo de inmersión fue de 60s. Los resultados de la evaluación sensorial mostraron que la coloración y el sabor de las papas fritas no tuvieron diferencias significativas en comparación con las matrices de papa usando métodos convencionales.

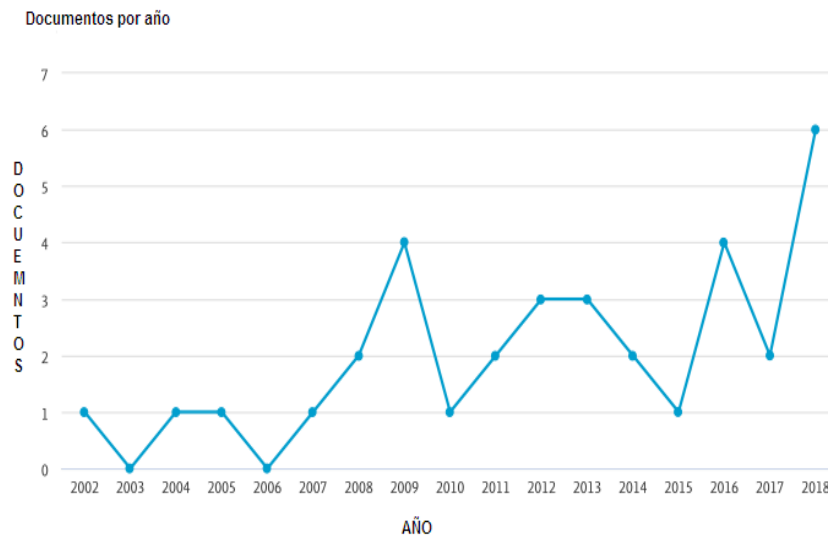
Los resultados de estos estudios reportan que, aunque se usen métodos fisicoquímicos combinados para la reducción de formación de acrilamida posterior a la fritura, solo es significativamente relevante cuando éstos son aplicados con temperaturas más bajas (Pedreschi, León, et al., 2007). Es así entonces, como en los últimos años metodologías como la fritura al vacío se ha utilizado para controlar la temperatura, parámetro que de acuerdo a la mayoría de los autores, sumado al contenido de azúcares reductores y aminoácidos libres son los factores más críticos en la formación de acrilamida (Carrieri, Anese, Quarta, De Bonis, & Ruocco, 2010; Crosa et al., 2014; Friedman & Carol E. Levin, 2008).

Control de temperatura y presión de proceso. Fritura al Vacío

Entre las numerosas tecnologías de fritura profunda, la fritura al vacío tiene una consideración estratégica importante para la futura elaboración de alimentos fritos. Varios estudios aunque todavía incipientes acerca de la fritura al vacío con y sin modificaciones a la técnica, han sido realizados en los últimos años, encontrándose que desde el año 2000 hasta el 2018 se han publicado 34 artículos (Figura 3a) empleando para la búsqueda la notación "*frying AND vacuum AND potato AND chips*", de los cuales sólo 6 artículos están relacionados con la formación de acrilamida (Figura 3b), obtenidos

al usar la notación “*frying AND vacuum AND potato AND chips AND acrylamide AND formation*”.

Figura 3. Gráficos de investigaciones publicados por año de estudios relacionados con la fritura al vacío de papas fritas a) con y sin modificaciones a la técnica b) con niveles de acrilamida.



FUENTE Tomado de la base de datos Scopus (Enero-Febrero 2019)

La fritura al vacío, en un proceso completo y controlado, que se puede dividir en 4 etapas principales, según Da Silva & Moreira, 2008: I) Despresurización, II) Fritura por inmersión, III) Presurización y IV) Enfriamiento. Durante la primera etapa, las rodajas de papa son ubicadas en el espacio de cabeza del recipiente y esperan a que la presión descienda hasta 1.33 KPa para iniciar la segunda etapa. La despresurización puede tardar entre 90 y 100 segundos. La segunda etapa, la fritura por inmersión puede durar alrededor de 6 minutos, este tiempo varía de acuerdo a las condiciones que se seleccionen para el proceso: tipo de papa, tamaño de rodajas y temperatura de fritura, la cual puede estar por debajo de 140°C. Durante este paso se produce una transferencia de calor y masa dentro del sistema, el calor se conduce desde el aceite a la superficie del producto y posteriormente al centro de éste, evaporando el agua y permitiendo una pequeña absorción de aceite. Cuando se ha terminado la etapa de inmersión, se retiran las rodajas del aceite y se inicia la tercera etapa, que es el proceso de centrifugación de aceite dentro del equipo o presurización y se finaliza con la cuarta etapa, rompiendo el vacío y el sistema recupera la presión atmosférica, tardando alrededor de un minuto.

Con la fritura al vacío, se busca disminuir la exposición al oxígeno del sistema, mejorar la calidad del aceite posterior a su uso, disminuir la absorción de grasa, preservar el contenido nutricional y sensorial del producto final y reducir la formación de compuestos tóxicos. Todo esto se logra al tener un sistema cerrado, disminuyendo el punto de ebullición del agua, con lo cual se alcanza una menor temperatura de procesamiento (Maity et al., 2014).

La fritura al vacío inicialmente se probó como una técnica opcional para procesar papas fritas con bajo contenido de acrilamida. Sin embargo, al investigar el efecto de la

temperatura del aceite y la presión de vacío sobre la velocidad de secado, la absorción de aceite de las papas fritas y los atributos de calidad del producto, como la contracción de tamaño, el color y la textura, se observó resultados positivos y considerablemente semejantes a los obtenidos por métodos tradicionales en cuanto a características sensoriales (Garayo & Moreira, 2002). Por lo cual, hoy en día esta técnica ha ganado popularidad puesto que además de reducir el contenido de compuestos tóxicos, permite obtener productos fritos hasta con 60% menos de aceite que en la fritura convencional. Este tratamiento suele combinarse con un proceso previo como escaldado y/o deshidratación osmótica, para reducir aún más el contenido final de aceite (Da Silva & Moreira, 2008).

La tecnología da innegables beneficios, tales como alimentos más seguros, alimentos de mayor calidad sensorial y la reducción de la oxidación del aceite debido al procesamiento a baja temperatura (Anese et al., 2013).

Análisis Comparativo entre la Fritura al Vacío y la Fritura Convencional

En las tablas 2 y 3 se presenta una recopilación de estudios sobre la formación de acrilamida en papas fritas mediante fritura a condiciones atmosféricas y al vacío. Como se observa en la tabla 2 son incipientes las publicaciones que se presentan en torno a la fritura al vacío, mostrando que menos del 10 % de las publicaciones relacionadas con la fritura profunda y la formación de acrilamida en papas han sido orientadas al proceso de fritura al vacío en relación con la fritura convencional, la cual ha sido más estudiada. La tabla 3 por su parte, muestra que ha habido un interés creciente en comparar ambas tecnologías, encontrándose 5 publicaciones en los últimos años que presentan la

influencia de la fritura al vacío en la reducción de los niveles de acrilamida específicamente para las papas fritas como matriz de interés, en comparación de la fritura tradicional.

Tabla 2. Contenido de Acrilamida en papas fritas usando diferentes técnicas de fritura

ESTUDIO	CONDICIONES DE PROCESO		VARIEDAD	CONTENIDO ACRILAMIDA (µg/Kg)	OBSERVACIONES
	Tipo Fritura	Parámetros			
(Pedreschi et al., 2004)	FC	120°C – 300 seg 150°C – 300 seg 180°C – 300 seg	Panda	≈100 ≈600 ≈1700	Evaluación del blanqueado como pretratamiento y sin pretratamiento en el contenido de AA y relación con el pardeamiento
(Rommens et al., 2008)	FC	140°C – 540 seg	Vivaldi	830	Evaluación del tiempo de fritura sobre el contenido de AA
(Palazoğlu & Gökmen, 2008)	FC	170°C – 300 seg	Agria	650	Evalúan como la geometría y la relación superficie-volumen influye en el contenido de AA
(Carrieri et al., 2010)	FC	155 °C – 240 seg 180°C – 90 seg	Primura	2100 4800	Análisis de los parámetros operativos (T y t) para evaluar la formación de AA
(Elmore et al., 2015)	FC	177°C – 180 seg	Saturna	663	Comparación 20 variedades de papas a diferentes tiempos de almacenamiento.
(Yang et al., 2016)	FC	170°C – 240 seg	Kennebec	3124	Comparación entre 3 variedades de papa y 3 temperaturas de fritura.
(Santos, Cunha, & Casal, 2017)	FC	175°C - 360 seg	Mozart	≈740	Diferentes métodos de fritura atmosféricas (superficial, sin sumergir)
(Mesias, Delgado-Andrade, Holgado, & Morales, 2018)	FC	175°C - 120 seg	Monalisa	3800	Utilizaron estrategias para mitigar formación
(Santos, Molina-Garcia, Cunha, & Casal, 2018)	FC	175°C - 360 seg	Fontana	≈620	Usaron aceite de canola tras 8 horas de fritura
(Antunes-Rohling et al., 2018)	FC	171°C - 600 seg	Monalisa	1649.7	Compararon ultrasonido y pretratamiento en agua de la papa frente a la fritura convencional
(Warning, Dhall, Mitrea, & Datta, 2012)	FV	140°C – 300 seg	NA	50	Simulación considerando los resultados obtenidos por Granda 2005.
(Anese, Suman, & Nicoli, 2010)	FV	60°C – 300 seg	NR	323	Análisis de acrilamida en galletas y papas fritas con fritura al vacío e incrementos de tiempo de fritura

FC: Fritura convencional; FV: Fritura al vacío; NA: No Aplica; AA: Acrilamida; T= Temperatura; t=tiempo

En la tabla 2 se presentan 10 investigaciones, sin ser exhaustivas, en las cuales se analizó el contenido de acrilamida a condiciones atmosféricas en variedades diferentes de papas mostrando niveles de acrilamida que oscilan entre los 620 y 4800 $\mu\text{g}/\text{Kg}$ de muestra. De acuerdo a los autores, estas variedades fueron seleccionadas por ser de gran consumo en la industria de productos fritos en diferentes países. El rango tan amplio en el contenido de acrilamida, se debe a las diferencias que presentan en la cantidad de azúcares reductores como glucosa y fructosa y de asparagina constituyentes de las papas utilizadas (Pedreschi, Moyano, et al., 2007).

Los datos mostrados en la tabla 2, para la fritura de papas usando el método convencional con temperaturas y tiempos de fritura entre 140°C – 180°C hasta por 600 segundos (10 min), permiten evidenciar una elevada formación de acrilamida, principalmente en las variedades Kennebec, Primura, Monalisa, los cuales sobrepasan el valor de $1000 \mu\text{g}/\text{Kg}$. Este último valor ($1000 \mu\text{g}/\text{Kg}$) es un indicativo fijado por la Comunidad Europea, como alerta para que en los casos en que superen este valor en los alimentos procesados se informe a las autoridades competentes (Elmore et al., 2015). Es importante anotar, que existe una fuerte influencia de la variedad de la papa a utilizar, como fuente de precursores en los procesos de formación de acrilamida, así como del tiempo y de la temperatura de fritura, como se ha evaluado a lo largo de esta revisión, posicionándose entonces a estas como las variables más críticas en el proceso de formación de acrilamida en papas, considerando que el orden de criticidad es temperatura > variedad > tiempo.

Investigaciones evaluando sólo el proceso de fritura al vacío en papas han sido escasas, mostrándose mayor interés en estudios comparativos de ambas técnicas de procesamiento como se presenta en la tabla 3.

Tabla 3. Comparación de condiciones fisicoquímicas de fritura convencional vs fritura al vacío de papas y formación de acrilamida

Estudio	Condiciones de proceso		Variedad	% de Humedad final		Contenido acrilamida ($\mu\text{g}/\text{Kg}$)		Observaciones
	FC	FV		FC	FV	FC	FV	
(C. Granda et al., 2004)	165°C - 240 seg	118°C 10 Torr 480 seg	ATX847806-2Ru	1,05	1,56	1554	44	Análisis de textura y color con equipos
			White-Rose	1,53	1,38	5021	437	
(Claudia Granda & Moreira, 2005)	180°C - 240 seg	118°C 10 Torr 480 seg	Atlantic	1,5 \pm 0,3	1,5 \pm 0,3	1123	25	Comparación a diferentes temperaturas
(Crosa et al., 2014)	180°C - 120 seg	130°C 40 mm Hg 300 seg	Atlantic	2	1,9	332	42	Estudio sensorial con consumidores
(Mariotti-Celis, Cortés, Dueik, Bouchon, & Pedreschi, 2017)	150°C 265 s 29.92 in Hg	96°C 390 s 3.00 in Hg	Solanum tuberosum Yagana	NR	NR	1552 \approx 2800	652 \approx 900	Papas almacenadas a 8 °C – and 95% de Humedad Relativa. Procesadas en rebanadas
(Belkova et al., 2018)	165°C - 135 seg	125°C 10KPa 360 seg	Saturna	1,8	1,7	9089	244	Estudio sensorial con consumidores
			Impala	2,5	3,9	1487	183	

NR: No reportado; FC: Fritura convencional; FV: Fritura al vacío

A pesar de que no son numerosos los estudios comparativos que se han realizado en relación a la fritura de papas en condiciones atmosféricas y al vacío, específicamente analizando el contenido de acrilamida, los artículos consultados muestran que la fritura al vacío conlleva a una reducción significativa en la formación de acrilamida, así Granda, et al., 2004, compararon la fritura convencional con la fritura al vacío de 6 variedades de papas, encontrando que ATX847806-2Ru y White-Rose fueron las variedades que presentaron mayor formación de acrilamida a las condiciones evaluadas. En la fritura

convencional (a 165°C) se muestran niveles de 1554 y 5021 µg de acrilamida /Kg de papa frita, frente a valores de 44 y 437 µg de acrilamida/Kg de papa frita respectivamente para ambas variedades en la fritura al vacío (118°C), reportándose entonces reducciones del 97.6 % y 91.3 % en el contenido de acrilamida posterior al procesamiento en ambas variedades. En cuanto a los atributos sensoriales, se realizaron análisis de color con un Hunter Lab Colorímetro y textura crocante con Texturómetro TA- XT2, encontrando características deseables en las muestras realizadas con fritura al vacío. Por lo tanto, Granda, et al., 2004, concluyeron que la formación de acrilamida depende de la variedad de papas, condiciones de proceso, y que la fritura al vacío es una alternativa para disminuir la formación en esta matriz en alrededor del 94 %, promedio obtenido al analizar los valores encontrados de acrilamida en las variedades de papas analizadas.

Al año siguiente, Granda y Moreira, 2005, publicaron un estudio, en el que realizaron una determinación de acrilamida a diferentes temperaturas de fritura convencional, fritura al vacío y una comparación entre éstas, logrando determinar la influencia de la temperatura y el tiempo de fritura sobre la formación de acrilamida, independiente del método de fritura que se utilice. Para esta investigación utilizaron la variedad Atlantic, por su composición y facilidad para obtenerla en el mercado, realizaron frituras convencionales a temperaturas entre 150°C y 180°C, comprobaron que a medida que se disminuye la temperatura en condiciones atmosféricas, se puede reducir la formación de acrilamida hasta en un 83 %. Posteriormente, compararon los dos procesos de fritura, logrando la mayor reducción en la formación de acrilamida cuando se pasa de 180°C a condiciones atmosféricas a 118°C a condiciones de vacío, con una reducción del 98 %.

Crosa et al., 2014, compararon en su investigación estos dos métodos para la variedad de papa Atlantic. Su objetivo era comparar la calidad nutricional del producto obtenido por los dos métodos de fritura, encontrando que por el método de fritura al vacío se logra una reducción del 61 % en el contenido de grasa y de 87 % en el contenido de acrilamida en comparación con la fritura convencional, obteniendo un valor de 42 μg de acrilamida /Kg de papa frita. El color de los chips de papa fue evaluado con *HunterLab* y se encontró un color “más natural”, relacionado con el color del vegetal, las características de sabor y textura fueron evaluadas con consumidores, los cuales encontraron un producto satisfactorio, excepto en el atributo salado, el cual es más simple de lo aceptado. Crosa et al., 2014 concluyen que la fritura al vacío es una técnica que conserva las propiedades nutricionales y sensoriales de las papas fritas con una disminución superior al 50 % y 80 % de aceite y acrilamida respectivamente frente a la fritura convencional.

Por su parte Mariotti-celis et al., 2017, compararon los procesos de fritura convencional y al vacío para la papas variedad Yagana, adquiridas en supermercado local y posteriormente almacenadas a 8°C, 95 % de humedad relativa. Para la fritura convencional emplearon un proceso a 150°C por 265s y la fritura al vacío se realizó a 96°C por 390 seg. Para el análisis de resultados, emplearon una técnica llamada “*Driving forcé*”, que es la diferencia entre la temperatura de ebullición del agua y la del aceite, en este caso fue de 50°C. En este estudio, encontraron una concentración final de ≈ 2800 $\mu\text{g}/\text{Kg}$ de acrilamida en fritura convencional y ≈ 900 $\mu\text{g}/\text{Kg}$ para fritura al vacío. A pesar de que este valor de acrilamida es más alto que los reportados por estudios anteriores (Crosa et al., 2014; C. Granda et al., 2004), según sus autores, esto se debe a lo poco

controlado que es el proceso de cultivo y almacenamiento de este producto. También realizaron análisis de textura por medio de Texturómetro, encontrando que no hay diferencias significativas entre los procesos de fritura. Mariotti-celis et al., 2017, lograron una reducción del 68 % en la formación de acrilamida con la fritura al vacío, por lo que la recomiendan como una alternativa de producción de papas más saludables.

En otro estudio, Belkova et al., 2018 analizaron dos variedades de papa (Saturna e Impala). Saturna fue seleccionada ya que cuenta con las características como color y textura ideales para una papa frita. Es interesante anotar que, esta variedad en condiciones de almacenamiento adecuado no presenta niveles altos de asparagina (3.0 g/Kg) y azúcares reductores (0.39 g/Kg de glucosa y 0.03 g/Kg de fructosa), mientras que en condiciones inadecuadas de almacenamiento, estas concentraciones aumentan significativamente (4.08 g/Kg asparagina, 1.97 g/Kg glucosa y 2.11 g/Kg fructosa), por tal motivo en este estudio utilizaron papas Saturna almacenadas en condiciones inadecuadas. Por otra parte, la variedad Impala fue seleccionada, por ser más ampliamente utilizada en los hogares, y de poco uso en la industria debido a sus altas concentraciones de asparagina y azúcares reductores (2.62 g/Kg asparagina, 1.95 g/Kg glucosa y 1.4 g/kg fructosa). En este estudio se realizó una fritura convencional a 165°C y una fritura al vacío a 125°C y 10KPa, encontrando una reducción de hasta el 98 % de acrilamida en la fritura al vacío, teniendo niveles seguros (<1000 µg de asparagina/Kg de papa frita) incluso con las variedades que no son recomendadas para estos tratamientos. En cuanto a la calidad sensorial, esta se ve ligeramente afectada al presentar una disminución de color dorado y textura crocante, pero esto puede ser corregido con más tiempo de fritura. Por tal motivo, Belkova et al., 2018 recomiendan la

fritura al vacío como un método de control de formación de acrilamida en papas y conservación de la composición nutricional de éstas.

Las investigaciones evaluadas, han mostrado que la fritura al vacío permite una reducción en la formación de acrilamida en papas frente a la fritura convencional, teniendo reportes que van desde el 58 % hasta el 98 % en la disminución de acrilamida en el producto final (Belkova et al., 2018; Crosa et al., 2014; C. Granda et al., 2004).

Conclusiones

La acrilamida es una molécula que puede formarse por tres vías, siendo el mecanismo mediante la reacción de Maillard el más favorecido. La asparagina y los azúcares reductores son los compuestos principales que participan en su formación, siendo la reacción fuertemente catalizada por la temperatura. La presencia de estos dos tipos de compuestos en la papa, hacen de esta matriz una de las más susceptibles a la formación de acrilamida.

De acuerdo a los resultados mostrados en los estudios que han comparado ambos métodos de fritura, la temperatura es el factor más crítico en la formación de acrilamida, y, por lo tanto, la variable más relevante a controlar durante el proceso de fritura de papas; por lo que mantenerla a niveles por debajo de 140°C, conlleva una disminución considerable y significativa en los niveles de formación de acrilamida.

Según la evidencia científica revisada, se puede concluir que la fritura al vacío es un proceso que permite reducir entre un 58 % - 98 % la formación de acrilamida en papa, siendo, por lo tanto, una reducción muy significativa, posicionándose entonces como una alternativa más eficiente en la fritura de esta matriz alimentaria.

Aunque existen pocos estudios que comparan los procesos de fritura evaluados, los resultados presentados hasta el momento, muestran a la fritura al vacío como un método potencialmente eficiente para reducir el contenido de acrilamida en el procesamiento y producción de papas fritas, no obstante, faltan investigaciones que además de reforzar los resultados obtenidos puedan suministrar información acerca del costo/beneficio de utilizar esta técnica industrialmente.

Referencias

- Amer, F. S., Reddivari, L., Madiwale, G. P., Stone, M., Holm, D. G., & Vanamala, J. (2014). Effect of Genotype and Storage on Glycoalkaloid and Acrylamide Content and Sensory Attributes of Potato Chips. *American Journal of Potato Research*. <https://doi.org/10.1007/s12230-014-9393-9>
- Anese, M., Manzocco, L., Calligaris, S., & Nicoli, M. C. (2013). Industrially applicable strategies for mitigating acrylamide, furan, and 5-hydroxymethylfurfural in food. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(43), 10209–10214. <https://doi.org/10.1021/jf305085r>
- Anese, M., Suman, M., & Nicoli, M. C. (2010). Acrylamide removal from heated foods. *Food Chemistry*, 119(2), 791–794. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.06.043>
- Antunes-Rohling, A., Ciudad-Hidalgo, S., Mir-Bel, J., Raso, J., Cebrián, G., & Álvarez, I. (2018). Ultrasound as a pretreatment to reduce acrylamide formation in fried potatoes. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 49, 158–169. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.08.010>
- Arisseto, A. P., & Toledo, M. C. D. F. (2006). Acrilamida em Alimentos : Uma Revisão Acrylamide in Foods : A Review. *Brazilian Journal of Food Technology*, 9(2), 123–134.
- Barón Cortés, W. R. (2016). Acrilamida – Estudio de Consumo en Alimentos Bogotanos. *Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias*, 59.
- Belkova, B., Hradecky, J., Hurkova, K., Forstova, V., Vaclavik, L., & Hajslova, J. (2018). Impact of vacuum frying on quality of potato crisps and frying oil. *Food Chemistry*, 241, 51–59. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.062>
- Cámara de Comercio de Bogotá. (2015). Manual: La papa. *Programa de apoyo agrícola y agroindustrial*, 54.
- Carrieri, G., Anese, M., Quarta, B., De Bonis, M. V., & Ruocco, G. (2010). Evaluation of acrylamide formation in potatoes during deep-frying: The effect of operation and configuration. *Journal of Food Engineering*, 98(2), 141–149. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.12.011>

Crosa, M. J., Skerl, V., Cadenazzi, M., Olazábal, L., Silva, R., Suburú, G., & Torres, M. (2014). Changes produced in oils during vacuum and traditional frying of potato chips. *Food Chemistry*, 146, 603–607. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.08.132>

Da Silva, P. F., & Moreira, R. G. (2008). Vacuum frying of high-quality fruit and vegetable-based snacks. *LWT - Food Science and Technology*, 41(10), 1758–1767. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.01.016>

Elmore, J. S., Briddon, A., Dodson, A. T., Muttucumar, N., Halford, N. G., & Mottram, D. S. (2015). Acrylamide in potato crisps prepared from 20 UK-grown varieties: Effects of variety and tuber storage time. *Food Chemistry*, 182, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.02.103>

FAO. (2010). LA PAPA Un alimento con tradición, nutrición y sabor Recetario de Platillos Tradicionales del Altiplano Marquense.

FDA, F. and D. A. (2016). Guidance for Industry Acrylamide in Foods. *FDA Food Guidances*, (March 2016), 1–37. Recuperado de <http://www.fda.gov/FoodGuidances>

Francisco J. Castellanos, Carlos R. Pinedo, O. D. H. (2012). Comparación entre fritura atmosférica y al vacío en chips de plátano. *Vitae ISSN:*, 19, 198–200.

Friedman, M., & Carol E. Levin. (2008). Review of Methods for the Reduction of Dietary Content and Toxicity of Acrylamide. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 6113–6140.

Garayo, J., & Moreira, R. (2002). Vacuum frying of potato chips. *Journal of Food Engineering*, 55(2), 181–191. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(02\)00062-6](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00062-6)

Granda, C., & Moreira, R. G. (2005). Kinetics of acrylamide formation during traditional and vacuum frying of potato chips. *Journal of Food Process Engineering*, 28(5), 478–493. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2005.034.x>

Granda, C., Moreira, R. G., & Tichy, S. E. (2004). Reduction of Acrylamide Formation in

Potato Chips by Low-temperature Vacuum Frying. *Journal of Food Science*, 69(8), E405–E411. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.tb09903.x>

Guillén, S., Oria, R., Salvador, M. L., Martorell, I., Corrales, A., & Granby, K. (2017). Effectiveness of a temperature control system in home induction hobs to reduce acrylamide formation during pan frying. *Italian Journal of Food Science*, 29(3), 433–453.

Hendriksen, H. V., Kornbrust, B. A., Ostergaard, P. R., & Stringer, M. A. (2009). Evaluating the potential for enzymatic acrylamide mitigation in a range of food products using an asparaginase from *Aspergillus oryzae*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(10), 4168–4176. <https://doi.org/10.1021/jf900174q>

Hernandez, D. (2014). evaluación tecnológica de snacks de papa (*Solanum tuberosum* L.) obtenidos mediante la aplicación combinada ingeniería de matrices y fritura al vacío, 66.

Instituto Colombiano de Bienestar Familiar. (2010). Encuesta Nacional de la Situación Nutricional en Colombia 2010. *Encuesta Nacional de la Situación Nutricional en Colombia.*, 1(64), 325.

Jin, C., Wu, X., & Zhang, Y. (2013). Relationship between antioxidants and acrylamide formation: A review. *Food Research International*, 51(2), 611–620. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2012.12.047>

Jung, M. Y., Choi, D. S., & Ju, J. W. (2003). A Novel Technique for Limitation of Acrylamide Formation in Fried and Baked Corn Chips and in French Fries. *Journal of Food Science*. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb09641.x>

Keramat, J., LeBail, A., Prost, C., & Soltanizadeh, N. (2011). Acrylamide in Foods: Chemistry and Analysis. A Review. *Food and Bioprocess Technology*, 4(3), 340–363. <https://doi.org/10.1007/s11947-010-0470-x>

Kettlitz, B. (2014). Food Drink Europe Acrylamide Toolbox 2013, (January), 1–53. Recuperado de <http://www.fooddrinkeurope.eu/publication/fooddrinkeurope-updates-industry-wide-toolbox-to-help-manufacturers-further/>

Maity, T., Bawa, A. S., & Raju, P. S. (2014). Effect of vacuum frying on changes in quality

attributes of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) bulb slices. *International Journal of Food Science*. <https://doi.org/10.1155/2014/752047>

Mariotti-Celis, M. S., Cortés, P., Dueik, V., Bouchon, P., & Pedreschi, F. (2017). Application of Vacuum Frying as a Furan and Acrylamide Mitigation Technology in Potato Chips. *Food and Bioprocess Technology*, 10(11), 2092–2099. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-1981-5>

Masson, L., Muñoz, J. R., Romero, N., Camilo, C., Encina, C., Hernández, L., ... Robert, P. (2007). Acrilamida en patatas fritas: Revisión actualizada. *Grasas y Aceites*.

Matthäus, B., & Haase, N. U. (2014). Acrylamide - Still a matter of concern for fried potato food? *European Journal of Lipid Science and Technology*, 116(6), 675–687. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201300281>

Medeiros Vinci, R., Mestdagh, F., & De Meulenaer, B. (2012). Acrylamide formation in fried potato products - Present and future, a critical review on mitigation strategies. *Food Chemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.08.001>

Mesias, M., Delgado-Andrade, C., Holgado, F., & Morales, F. J. (2018). Acrylamide content in French fries prepared in households: A pilot study in Spanish homes. *Food Chemistry*, 260(March), 44–52. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.03.140>

Mesías, M., Holgado, F., Márquez-Ruiz, G., & Morales, F. J. (2017). Impact of the characteristics of fresh potatoes available in-retail on exposure to acrylamide: Case study for French fries. *Food Control*, 73, 1407–1414. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.11.005>

Mestdagh, F., De Wilde, T., Castelein, P., Németh, O., Van Peteghem, C., & De Meulenaer, B. (2008). Impact of the reducing sugars on the relationship between acrylamide and Maillard browning in French fries. *European Food Research and Technology*, 227(1), 69–76. <https://doi.org/10.1007/s00217-007-0694-9>

Molina Périz, E., Mañes, J., & Manyes, L. (2016). Risk assessment of dietary exposure to acrylamide in Spanish and valencian population. *Revista de Toxicología*, 33(1), 20–30.

Morales F, S. (2011). *Crecimiento, contenido de azúcares y capacidad de brotación en*

semilla tubérculo se papa (Solanum tuberosum L).

Moreno Navarro, IM; Rubio Armendáriz, C; Gutiérrez Fernández, AJ; Cameán Fenández, A., & Hardisson de la Torre, A. (2007). La acrilamida, contaminante químico de procesado: Revisión. *Asociación Española de Toxicología; Revista de Toxicología*, 9. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/919/91924101.pdf>

Mrein, T. H. M. A., Achmann, S. A. B., Oti, A. N. J. A. N., Iedermann, M. A. B., Arbosa, M. E. F. E. B., Rem, B. I., ... Mado, R. E. A. (2003). Potential of Acrylamide Formation , Sugars , and Free Asparagine in Potatoes : A Comparison of Cultivars and Farming Systems, 5556–5560. <https://doi.org/10.1021/jf034344v>

Napolitano, A., Morales, F., Sacchi, R., & Fogliano, V. (2008). Relationship between virgin olive oil phenolic compounds and acrylamide formation in fried crisps. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(6), 2034–2040. <https://doi.org/10.1021/jf0730082>

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>

Pedreschi, F., Kaack, K., & Granby, K. (2004). Reduction of acrylamide formation in potato slices during frying. *LWT - Food Science and Technology*, 37(6), 679–685. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.03.001>

Pedreschi, F., León, J., Mery, D., Moyano, P., Pedreschi, R., Kaack, K., & Granby, K. (2007). Color development and acrylamide content of pre-dried potato chips. *Journal of Food Engineering*, 79(3), 786–793. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.03.001>

Pedreschi, F., Moyano, P., Santis, N., & Pedreschi, R. (2007). Physical properties of pre-treated potato chips. *Journal of Food Engineering*, 79(4), 1474–1482. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.04.029>

potatopro.com. (2017). El mercado mundial de procesamiento de papas alcanzará los 30 mil millones de dólares en 2022.

Rommens, C. M., Yan, H., Swords, K., Richael, C., & Ye, J. (2008). Low-acrylamide

French fries and potato chips. *Plant Biotechnology Journal*.
<https://doi.org/10.1111/j.1467-7652.2008.00363.x>

Sanghvi, G., Bhimani, K., Vaishnav, D., Oza, T., Dave, G., & Kunjadia, P. (2016). Mitigation of acrylamide by l - asparaginase from *Bacillus subtilis* KDPS1 and analysis of degradation products by HPLC and HPTLC. *SpringerPlus*.
<https://doi.org/10.1186/s40064-016-2159-8>

Santos, C. S. P., Cunha, S. C., & Casal, S. (2017). Deep or air frying? A comparative study with different vegetable oils. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 119(6), 1–14. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201600375>

Santos, C. S. P., Molina-Garcia, L., Cunha, S. C., & Casal, S. (2018). Fried potatoes: Impact of prolonged frying in monounsaturated oils. *Food Chemistry*, 243(September 2017), 192–201. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.09.117>

Taubert, D., Harlfinger, S., Henkes, L., Berkels, R., & Schömig, E. (2004). Influence of Processing Parameters on Acrylamide Formation during Frying of Potatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(9), 2735–2739. <https://doi.org/10.1021/jf035417d>

Ullate, C. C., Mata, A. I., Laura, M., & Echandi, A. (2015). Formación de acrilamida durante el procesamiento de alimentos. una revisión., 25(April 2002), 28–35.

Valenzuela B, R., & Ronco M, A. M. (2007). ACRILAMIDA EN LOS ALIMENTOS. *Revista chilena de nutrición*, 34(1), 8–16. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182007000100001>

Visvanathan R, K. T. (2014). Acrylamide in Food Products: A Review. *Journal of Food Processing & Technology*, 05(07). <https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000344>

Warning, A., Dhall, A., Mitrea, D., & Datta, A. K. (2012). Porous media based model for deep-fat vacuum frying potato chips. *Journal of Food Engineering*, 110(3), 428–440. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.12.024>

Yang, Y., Achaerandio, I., & Pujolà, M. (2016). Influence of the frying process and potato cultivar on acrylamide formation in French fries. *Food Control*, 62, 216–223. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.10.028>

Zhang, Y., Chen, J., Zhang, X., Wu, X., & Zhang, Y. (2007). Addition of Antioxidant of Bamboo leaves (AOB) effectively reduces acrylamide formation in potato crisps and French fries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(2), 523–528. <https://doi.org/10.1021/jf062568i>

Zhivagui, M., Ng, A. W. T., Ardin, M., Churchwell, M. I., Pandey, M., Renard, C., ... Zavadil, J. (2019). Experimental and pan-cancer genome analyses reveal widespread contribution of acrylamide exposure to carcinogenesis in humans, (March), 7–8. <https://doi.org/10.1101/gr.242453.118>