



Cambios en características funcionales de productos alimenticios tratados por homogeneización a ultra alta presión

G. G. Amador-Espejo*, H. Ruiz-Espinosa¹

**Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental, Fundación Universidad de las Américas Puebla. Exhacienda Sta. Catarina Mártir S/N, Cholula, Puebla. C.P.72810. México. ¹Facultad de Ingeniería Química. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, México.*

Resumen

En los últimos años la homogeneización a ultra alta presión (HUAP) ha sido empleada como método de conservación en alimentos. Además de obtener un nivel de inactivación similar al obtenido por tratamientos térmicos, debido a fenómenos de cavitación, impactos a alta velocidad, cizalla y elevación de temperatura (por corto tiempo), la aplicación de HUAP puede modificar la microestructura de los productos presurizados. Además se ha reportado que es capaz de provocar otros cambios fisicoquímicos relevantes. Dentro de los cambios detectados se encuentran disminución de viscosidad, modificación del comportamiento reológico, reducción en el tamaño de partícula, inactivación enzimática, incremento en la capacidad de retención de agua, mayor firmeza en geles, reducción del tiempo de coagulación, prevención de la degradación de fenoles y otros compuestos con actividad antioxidante, entre otros. Todo ello lleva a considerar a la HUAP como una tecnología viable para generar productos con propiedades funcionales únicas. El propósito de esta revisión es presentar un panorama general de los trabajos publicados a la fecha sobre los cambios estructurales físicos y químicos en diversos productos sujetos a HUAP y los cambios en propiedades funcionales atribuibles a este tratamiento.

Palabras clave: homogeneización a ultra alta presión, propiedades funcionales, tecnologías no térmicas.

Abstract

During the last few years, a process known as ultra-high pressure homogenization (UHPH) has been employed as a novel food preservation method. Cavitation, high-speed impacts, shear stress and adiabatic heating have been considered the main preservation mechanisms. Besides obtaining an inactivation level similar to that of heat treatment, UHPH is capable of modifying the food structure and carrying out significant chemical and physical changes to the pressurized food matrix. Several modifications have been detected including viscosity reduction, rheological behavior modification, particle size changes, enzyme inactivation, an increased water holding capacity, firmer gels, coagulation time reduction, reduced loss of antioxidant activity, among others. Therefore, UHPH can be considered a valuable alternative to obtain products with unique functional characteristics. The main purpose of this review is to present an up-to-date general overview of published results regarding structural, physical and chemical changes in selected UHPH food products and changes in their functional properties attributable to this process.

Keywords: High pressure homogenization, functional properties, non-thermal technologies.

*Programa de Doctorado en Ciencia de Alimentos
Tel.: +52 222 229 2126, fax: +52 222 229 2727
Dirección electrónica: genaro.amadoreo@udlap.mx

Introducción

La acrilamida ($\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CONH}_2$) es un monómero utilizado a nivel industrial desde los años 50's, está presente en el humo del tabaco, y es usado en la síntesis de poliacrilamida para su utilización en procesos como purificación de agua, separación de proteínas para bioquímica analítica y acondicionamiento de suelos (Allan, 2002). Su descubrimiento se origina a partir de resultados de la formación de un aducto específico entre ésta y la hemoglobina humana (Masson *et al.*, 2007).

Es un compuesto muy reactivo y se ha estudiado por los daños que puede provocar luego de exposiciones prolongadas. Al estudiar acerca de la presencia de acrilamida en la sangre, y encontrarla en personas que nunca habían estado expuestas directamente, Tareke *et al.* (2002) evaluaron diferentes alimentos, encontrando niveles desde moderados a altos de este compuesto en algunos de ellos. De esta manera, surgió el interés por evaluar la acrilamida en los alimentos, así como su origen y los daños que su ingesta puede ocasionar en el organismo humano.

Diversos estudios comprobaron la presencia de acrilamida en alimentos, particularmente en aquellos con alto contenido de carbohidratos (El-Ziney *et al.*, 2009). Posteriormente los estudios fueron encaminados hacia los mecanismos mediante los cuales pudiera ocurrir la formación de acrilamida, conociéndose actualmente que el mecanismo más probable es mediante la reacción de Maillard, particularmente la que ocurre entre la glucosa y la asparagina (Mottran *et al.*, 2002; Stadler *et al.*, 2002). Una vez conocidos sus mecanismos de formación, el énfasis ha estado en encontrar métodos o ingredientes que permiten la disminución del contenido final de acrilamida en alimentos, desde la modificación en las materias primas, hasta su

inactivación y eliminación una vez que ha sido formada. Sin embargo, muchos de ellos no son muy recomendables ya que modifican las características de calidad y sensoriales de los productos (Anese *et al.*, 2009).

Así mismo, debido a que se conoce que la exposición prolongada a la acrilamida a través de la piel puede provocar daños desde entumecimientos hasta carcinogénesis, diversos estudios han evaluado los riesgos que conlleva la ingesta de acrilamida a través de los alimentos, realizando pruebas en animales y analizando a pacientes con cáncer, para determinar si la acrilamida fue un factor de riesgo (Friedman, 2003).

Esta revisión pretende dar un panorama general del conocimiento actual respecto a la acrilamida, resumiendo sus características generales, enumerando los alimentos que la contienen en mayor concentración, presentando los métodos más comunes y más confiables para su detección, y los estudios que han buscado determinar su riesgo a la salud, y finalmente presentando los métodos que permiten la reducción del contenido final de acrilamida.

Revisión Bibliográfica

1. Aspectos generales de la acrilamida

La acrilamida (2-propanamida) es un compuesto altamente soluble en agua y su peso molecular es bajo (71.09 g/mol). Es un monómero vinílico que se usa tanto a nivel industrial como en procesos de laboratorio. Su uso más importante es la producción de poliacrilamida de alto peso molecular, utilizada para proporcionar a los materiales propiedades iónicas (El-Ziney *et al.*, 2009). Algunas de las aplicaciones más comunes de esos polímeros son: tratamiento de agua para beber, procesamiento de petróleo, papel,

minerales, concreto y textiles, en la industria de los cosméticos, en cirugías oftálmicas, en plásticos, en lentes de contacto, y en emulsiones y adhesivos, además de estar presente en el humo del tabaco (Sharma *et al.*, 2008).

A nivel comercial se produce por hidrólisis catalítica del acrilonitrilo. Puede encontrarse tanto en estado sólido o cristalino, como líquido o acuoso. El monómero sólido es incoloro y es un cristal soluble en agua, metanol, etanol, acetona y dimetil éter, e insoluble en benceno y heptano (Sharma *et al.*, 2008).

La acrilamida es absorbida por los animales y los seres humanos, vía ingestión, inhalación o a través de la piel. Tiene dos sitios reactivos, el grupo amida y el doble enlace conjugado, éste último puede participar en reacciones nucleofílicas con grupos funcionales que tengan hidrógeno activo como los grupos SH de la cisteína, homocisteína y el glutatión, o los radicales R-NH₂ de aminoácidos libres y proteínas. La exposición de la acrilamida a pH muy alto o bajo provoca su hidrólisis a ácido acrílico y amoníaco (Friedman, 2003).

2. Acrilamida en alimentos

Desde el 2002 se ha demostrado que la acrilamida se forma en algunos alimentos, especialmente aquellos que involucran durante su procesamiento el uso de altas temperaturas como el freído, horneado o secado (El-Ziney *et al.*, 2009). Tomando en cuenta que entre mayor concentración de acrilamida por cada kg de peso corporal se tiene un mayor riesgo, los niños están en mayor peligro que los adultos. En el caso de los bebés, Sorgel *et al.* (2002) encontraron que de 10 a 50% de la acrilamida consumida en la dieta de las mujeres embarazadas, es transferida vía sangre a los fetos, además de transferirse a través de la leche materna. Por tanto, se recomienda a mujeres embarazadas no consumir o reducir el

consumo de alimentos con alto contenido de acrilamida.

2.1. Formación de acrilamida en alimentos

Desde que se detectó la presencia de acrilamida en alimentos, ha sido sumamente estudiado su mecanismo de formación. Entre las hipótesis de su formación, la reacción de Maillard de pardeamiento, que involucra la reacción a altas temperaturas entre los aminoácidos libres (especialmente la asparagina) y azúcares reductores como la glucosa o fructosa, ha sido de las más estudiadas (Mottran *et al.*, 2002; Stadler *et al.*, 2002). Además es necesario considerar que otros aminoácidos que producen bajas cantidades de acrilamida son: alanina, arginina, ácido aspártico, cisteína, glutamina, metionina, treonina y valina (Masson *et al.*, 2007).

La reacción de Maillard se ilustra mediante las Fig. 1 y 2, donde se aprecia la reacción entre la asparagina y un azúcar reductor mediante dos mecanismos, el primero (1) con la transformación de la asparagina y el azúcar a una base de Schiff descarboxilada, que posteriormente es transformada a acrilamida con 3-aminopropionamida como intermediario; mientras que en el mecanismo 2, el flujo de electrones lleva directamente a la acrilamida sin la formación del intermediario 3-aminopropionamida (Friedman y Levin, 2008).

Además del mecanismo anterior, se ha investigado el mecanismo de formación de acrilamida a partir de lípidos (Ehling *et al.*, 2005), identificando al ácido acrílico como un precursor potencial. Esta teoría ha provocado estudios sobre la influencia del aceite de freído en el contenido final de acrilamida, pues se ha observado que la acroleína (formada por la rancidez oxidativa) puede reaccionar por oxidación para dar ácido acrílico, o formar un radical acrílico intermedio, ambos compuestos

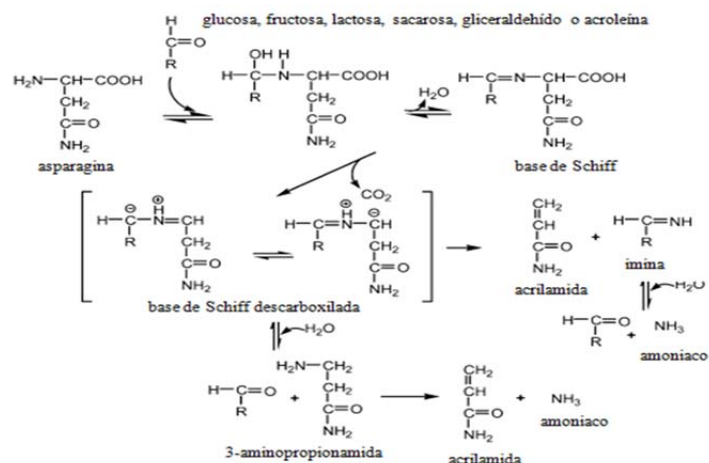


Fig. 1 Mecanismo de formación de acrilamida (Adaptada de Friedman y Levin 2008)

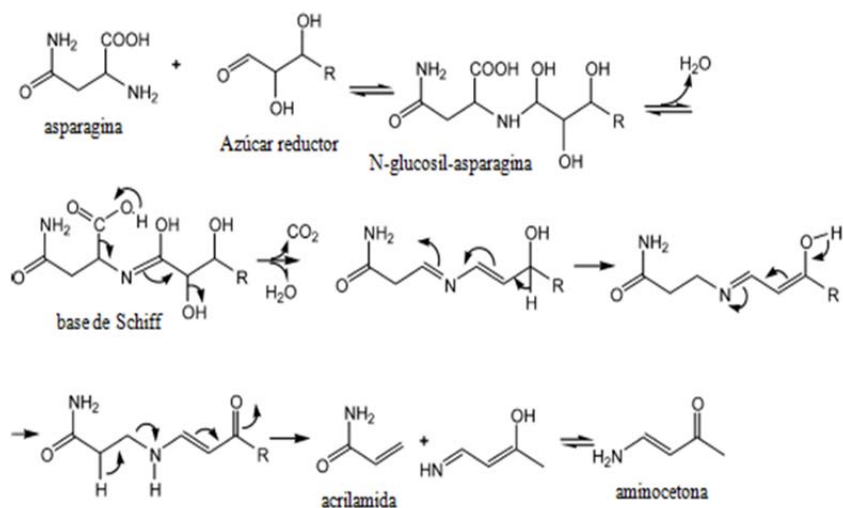


Fig. 2. Mecanismo de formación de acrilamida directamente mediante el flujo de electrones (Adaptada de Friedman y Levin, 2008).

en presencia de nitrógeno y bajo condiciones de reacción favorables, pueden dar lugar a la formación de acrilamida (Taeymans *et al.*, 2004). Dicha formación puede ocurrir cuando la acroleína (producto de la oxidación de los ácidos grasos) es directamente transformada a acrilamida por una reacción con NH_3 para luego oxidarse a acrilamida, o la acroleína puede reaccionar con asparagina directamente y formar un N-glicósido, que posteriormente se transforma a acrilamida (Friedman, 2003).

Por su parte, en su estudio acerca del mecanismo de formación de acrilamida en alimentos, Zyzak *et al.* (2003) evaluaron diferentes compuestos carbonílicos (D-glucosa, 2-desoxiglucosa, ribosa y gliceraldehído) para observar la reacción con asparagina y el mecanismo de formación de acrilamida, confirmando mediante la presencia de espectrometría de masas, la presencia de los intermediarios de la reacción.

2.2. Métodos de análisis

Debido a la alta solubilidad y reactividad y la carencia de un grupo cromóforo, la acrilamida no es fácilmente detectable (Mottran *et al.*, 2002). Sin embargo, existen diversos métodos utilizados para su detección, inicialmente para agua, fluidos biológicos, y alimentos no cocinados, la mayoría de ellos basados en cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) o cromatografía de gases. Sin embargo, debido a la complejidad de los sistemas alimenticios, ha sido necesario ir desarrollando otros métodos con alta sensibilidad. Los métodos posteriores se enfocaron en una combinación de cromatografía líquida o cromatografía de gases, con espectrometría de masas (LC-MS, o GC-MS, respectivamente, por sus nombres en Inglés) (Taeymans *et al.*, 2004; Tareke *et al.*, 2002). La ventaja de los métodos basados en LC-MS es que la acrilamida puede analizarse sin necesidad de realizar una derivatización previa, simplificando el análisis (Masson *et al.*, 2007). Otro método es la Reacción de Transferencia de Protones seguida de espectrometría de masas (PTR-MS), el cual es un método conveniente por sus rápidas mediciones (Masson *et al.*, 2007).

Los estudios realizados han mostrado que la extracción incompleta es la causa más probable de error en la determinación de acrilamida, ya sea porque el alimento no se dividió correctamente, se usaron solventes orgánicos en la extracción, o el tiempo es corto y la temperatura baja durante la extracción. Otra causa de error ha sido la destrucción de la acrilamida durante la extracción. Por tanto, un reto existente es el desarrollo de métodos confiables y aplicables a diferentes sistemas, que permitan el análisis de alimentos complejos, ya que actualmente los métodos han mostrado gran variabilidad de una muestra a otra y no existe un método confiable y con alto umbral de detección aplicable a todos los

alimentos (Taeymans *et al.*, 2004). Además, su análisis se complica debido a que la acrilamida es una sustancia reactiva y volátil que puede autodegradarse luego de su formación (Masson *et al.*, 2007).

2.3. Alimentos con mayor contenido de acrilamida

Como se ha expuesto, la presencia de acrilamida en alimentos se ha observado principalmente en aquellos ricos tanto en glucosa como en asparagina, y que son sometidos a procesos de calentamiento como horneado o freído. La mayoría de esos alimentos son derivados de origen vegetal como las papas y cereales. Entre estos alimentos, los que han presentado niveles más altos son: las papas a la francesa, papas y tortillas fritas, corteza de pan, y pan tostado, entre otros.

El-Ziney *et al.* (2009) evaluaron diferentes alimentos de Arabia Saudita con alto contenido de carbohidratos expuestos durante su proceso de elaboración a altas temperaturas. Dichos alimentos los clasificaron en grupos dependiendo de sus características: papas fritas, maíz y extruidos, berenjenas, panes, bizcochos, galletas, pescados, dulces y caramelos, fórmulas infantiles, y fórmulas infantiles en polvo adicionadas con frutas o cereales. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla I junto con alimentos y su contenido reportado de acrilamida.

Sin embargo, la información reportada debe tomarse con precaución, ya que el contenido de acrilamida puede ser muy variable incluso con el mismo alimento producido en diferentes lugares, o entre productos de la misma marca, ya que depende en gran medida de la cantidad de precursores iniciales, y del proceso mediante el cual fue realizado (Friedman y Levin, 2008).

Tabla I. Niveles de acrilamida en algunos alimentos y bebidas.

Grupo	Alimento	Niveles de acrilamida (µg/kg)
Maíz	Palomitas de maíz	180 ^b
	Totopos	199 ^b
	Extruidos con sal	272 ^a
	Tortillas (de harina y maíz)	6 ^b
Papas	Papas fritas	466 ^b
	Papas a la francesa	206 ^a ; 413 ^b
Pan	Pan tostado	213 ^b
	Pan integral	39 ^b
	Bagels	31 ^b
	Donas con levadura	18 ^b
	Hot cakes y waffles	15 ^b
	Pan blanco	11 ^b
	Pastel	10 ^b
Café	Café soluble variedad Robusta	820 ^a
	Café tostado variedad Arábica	290 ^a
	Café de grano	7 ^b
Galletas	Integrales	458 ^b
	Con chispas de chocolate	130 ^b
	Con miel	50 ^a
Cárnicos	Chile con carne	130 ^b
	Pescado a la parrilla	35 ^a
	Nuggets de pollo	24 ^b
	Pescado frito	17 ^a
Semillas	Almendras (fritas o tostadas)	320 ^b
	Cacahuates tostados	27 ^b
Cereales listos para comer	Cereal de avena	174 ^b
	Hojuelas de maíz	61 ^b
	Arroz inflado	56 ^b
	Granola	51 ^b
Otros	Pizza	20 ^b
	Fórmulas para bebés	10-30 ^a

^a El-Ziney *et al.* (2009); ^b Friedman y Levin (2008).

2.4. Métodos para disminuir su formación

Con el creciente interés en el contenido de acrilamida en alimentos, se han realizado diversos estudios con el propósito de plantear alternativas que permitan su reducción. Para lograrlo, se han tomado diferentes enfoques,

desde reducir la concentración de los precursores, hasta eliminar la acrilamida ya formada. Es por esto que a continuación se mencionan algunos de los enfoques, así como estudios realizados en este respecto, y sus resultados.

a) Reducción en la concentración de los precursores.

Una disminución en el contenido de asparagina puede darse de varias maneras, una es seleccionar de los vegetales disponibles y sus variedades aquellos con el menor contenido de este aminoácido, ya que al estudiar la formación de acrilamida en productos derivados de cereales, se ha observado que mientras más alto es el contenido de asparagina inicial en el trigo, mayor es la concentración de acrilamida en el producto final. Se han evaluado los factores que propician la alta concentración de este aminoácido, encontrando por ejemplo que el trigo cultivado en suelos con bajos niveles de sulfatos tiene hasta 30 veces más asparagina que el cultivado en suelos regulares (Friedman y Levin, 2008). Lo mismo ocurre con las papas, donde la variedad y el suelo de cultivo generan diversas cantidades de carbohidratos y de asparagina, por lo que es necesario seleccionar la variedad con menor cantidad de esos azúcares reductores (Taeymans *et al.*, 2004).

Otro método para disminuir el contenido de asparagina sería inducir su hidrólisis a ácido aspártico y amoniaco mediante bajos pH y/o catalizada por asparaginasa, y finalmente otra opción sería acetilar la asparagina a N-acetilasparagina, previniendo de esta manera la formación de intermediarios N-glicosídicos que forman la acrilamida. También debe cuidarse la temperatura de almacenamiento de papas ya que influye en la cantidad de almidón que es degradado a glucosa, pues se favorece a temperaturas menores a 8°C, pero por estabilidad se almacenan a menores temperaturas (Friedman, 2003).

b) Condiciones de procesamiento durante el horneado y tostado de pan.

Surdyk *et al.* (2004) evaluaron el contenido de acrilamida en pan, encontrando que más del

99% de la acrilamida, se encuentra en la corteza, debido a las temperaturas alcanzadas, y además ese contenido está fuertemente relacionado con el color final adquirido. En otro estudio, se concluyó que un mayor tiempo de horneado causa un incremento en la concentración de acrilamida, y que las partes más tostadas o ennegrecidas del pan son las del contenido más alto de acrilamida, por lo que se recomienda como consumidor no tostar en exceso el pan, o raspar para remover las partes ennegrecidas (Friedman y Levin, 2008).

Otra opción es la fermentación de la masa, pues por ejemplo en masa de trigo y centeno para la elaboración de donas, permite una reducción en el contenido de asparagina, siendo ésta reducción directamente proporcional al tiempo de fermentación (Friedman y Levin, 2008).

c) Efecto de los ingredientes.

La adición o sustitución de algunos ingredientes puede ser benéfica o inducir un mayor desarrollo de acrilamida, como en el caso del bicarbonato de amonio que causa mayor desarrollo, en comparación con el uso de bicarbonato de sodio (Amrein *et al.*, 2006). En cambio, la adición de glicina permite una reducción en el contenido de acrilamida, por lo que se sugiere rociarla sobre la superficie de la masa fermentada (Friedman y Levin, 2008).

El reemplazo de azúcares reductores por otros edulcorantes como la sacarosa (siempre y cuando no se realice también un descenso en el pH), y trehalosa permiten reducir el contenido de acrilamida, lo cual también ocurre con adición de ácido cítrico a sistemas con glucosa. Por otro lado, la adición de antioxidantes en alas de pollo fritas, papas fritas y galletas permite disminuir la cantidad final de acrilamida, a diferencia de lo ocurrido en té donde a pesar de los antioxidantes, la cantidad de acrilamida llega a ser muy alta.

Por tanto, aún son necesarios más estudios que permitan conocer sus efectos en la salud humana.

Conclusiones

La acrilamida está presente en alimentos sometidos a altas temperaturas durante su procesamiento que involucran la reacción de Maillard principalmente entre la asparagina y la glucosa. Existen diversos métodos para la detección de acrilamida, sin embargo, debido a la gran diversidad de matrices alimenticias, no existe un método general aplicable a todas, por lo que es aún un tema a desarrollar y para investigar al respecto.

La información de diferentes estudios realizados demuestra manifestaciones de que la acrilamida y su principal metabolito, la glicidamida producen neurotoxicidad en seres humanos. Otros efectos como la carcinogénesis, problemas reproductivos, y genotoxicidad sólo se han comprobado en estudios con animales, no así en seres humanos. Sin embargo, los efectos adversos que se han comprobado sugieren que como consumidores, debemos tratar de consumir en menor cantidad aquellos alimentos en los que se ha encontrado alto contenido de acrilamida, y a nivel industrial, deben empezar a implementarse métodos que permitan su reducción, sin afectar las características de calidad del producto.

Agradecimientos

A la Universidad de las Américas Puebla y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT, México) por el financiamiento recibido para la realización de este trabajo.

Referencias

- Allan, S. 2002. Acrylamide angst: Another annoying distraction about food safety. *Agrochemical and Environmental News*. 198:2-13.
- Amrein, T. M., Andres, L., Manzardo, G. y Amado, R. 2006. Investigations on the promoting effect of ammonium hydrogen carbonate on the formation of acrylamide in model systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 54:10253-10261.
- Anese, M., Suman, M. y Nicolo, M. C. 2009. Technological strategies to reduce acrylamide levels in heated foods. *Food Engineering Reviews*. 1:169-179.
- Becalsky, A., Lau, B. P., Lewis, D., y Seaman, S. 2003. Acrylamide in foods: occurrence, sources and modeling. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51:802-808.
- Dunovská, L., Hajlová, J., Áajka, T., Holadová, K., Hájková, K. 2004. Changes in acrylamide levels in food products during technological processing. *Czech Journal of Food Sciences*. 22:283-286. Citado en: Masson, L., Muñoz, J.R., Romero, N., Camilo, C., Encina, C., Hernández, L., Castro, J. y Robert, P. 2007. Acrilamida en patatas fritas: revisión actualizada. *Grasas y Aceites*. 58(2):185-193.
- Ehling, S., Hengel, M., Shibamoto, T. 2005. Formation of acrylamide from lipids. En: M. Friedman y D.S. Mottram (Eds). *Chemistry and safety of acrylamide in food*. Springer, New York. pp. 223-234. Citado en: Friedman, M., y Levin, C. 2008. Review of methods for the reduction of dietary content and toxicity of acrylamide. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 56:6113-6140.
- El-Ziney, M. G., Al-Turki, A. A. y Tawfik, M. S. 2009. Acrylamide status in selected traditional Saudi foods and infant milk and foods with estimation of daily exposure. *American Journal of Food Technology*. 4(5):177-191.
- Fan, X. y Mastovska, K. 2006. Effectiveness of ionizing radiation in reducing furan and acrylamide levels in foods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 54:8266-8270.
- Friedman, M. 2003. Chemistry, biochemistry, and safety of acrylamide. A review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51:4504-4526.
- Friedman, M., y Levin, C. 2008. Review of methods for the reduction of dietary content and toxicity of

- acrylamide. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 56:6113-6140.
- Gertz, C., Klostermann, S., Kochhar, P. 2003. Deep frying: the role of water from food being fried and acrylamide formation. *Oléagineux, Corps Gras, Lipides*. 10(4):297-303. Citado en: Masson, L., Muñoz, J. R., Romero, N., Camilo, C., Encina, C., Hernández, L., Castro, J. y Robert, P. 2007. Acrilamida en patatas fritas: revisión actualizada. *Grasas y Aceites*. 58(2):185-193.
- Granda, C., Moreira, R. G. y Tichy, S. E. 2004. Reduction of acrylamide formation in potato crisps by low-temperature vacuum frying. *Journal of Food Science*. 69(8):405-411.
- Hogervorst, J.G., Schouten, L.J., Konings, E.J., Goldbohm, A. y Van der Brandt, P. 2007. A prospective study on dietary acrylamide intake and the risk of endometrial, ovarian and breast cancer. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention*. 16(11):2304-2313.
- IARC. 1994. Acrylamide, IARC monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of the chemicals to Humans. International Agency of Research on Cancer. 60. Citado en: El-Ziney, M. G., Al-Turki, A. A. y Tawfik, M. S. 2009. Acrylamide status in selected traditional Saudi foods and infant milk and foods with estimation of daily exposure. *American Journal of Food Technology*. 4(5):177-191.
- Masson, L., Muñoz, J. R., Romero, N., Camilo, C., Encina, C., Hernández, L., Castro, J. y Robert, P. 2007. Acrilamida en patatas fritas: revisión actualizada. *Grasas y Aceites*. 58(2):185-193.
- Mottram, D. S., Wedzicha, B. L. y Dodson, A. T. 2002. Acrylamide is formed in the Maillard reaction. *Nature*. 419:448-449. Citado en: Masson, L., Muñoz, J. R., Romero, N., Camilo, C., Encina, C., Hernández, L., Castro, J. y Robert, P. 2007. Acrilamida en patatas fritas: revisión actualizada. *Grasas y Aceites*. 58(2):185-193.
- Mucci, L. A., Dickman, P. W., Steinek, G., Adami, H. O. y Augustsson, K. 2003. Dietary acrylamide and cancer of the large bowel, kidney and bladder. Absence of an association in a population based study in Sweden. *Journal of Cancer*. 88:84-89. Citado en: Friedman, M. 2003. Chemistry, biochemistry, and safety of acrylamide. A review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51:4504-4526.
- Pelucchi, C., Galeone, C., Levi, F., Negri, E., Franceschi, S., Talamini, R., Bosetti, C., Giacosa, A. y La Vecchia, C. 2005. Dietary acrylamide and human cancer. *International Journal of Cancer*. 118:467-471.
- Rice, J. M. 2005. The carcinogenicity of acrylamide. *Mutation Research*. 580:3-20. Citado en Masson, L., Muñoz, J. R., Romero, N., Camilo, C., Encina, C., Hernández, L., Castro, J. y Robert, P. 2007. Acrilamida en patatas fritas: revisión actualizada. *Grasas y Aceites*. 58(2):185-193.
- Romani, S., Bacchioca, M., Rocculi, P. y Rosa, M. 2008. Effect of frying time on acrylamide content and quality aspects of French fries. *European Food Research and Technology*. 226:555-560.
- Sharma, A., Sharma, R. y Jain, J. 2008. Biochemical changes in the liver of Swiss albino mice orally exposed to acrylamide. *Maejo International Journal of Science & Technology*. 2(3):542-550.
- Sorgel, F., Weissenbacher, R., Kinzig-Schippers, M., Hofmann, A., Illauer, M., Skott, A. y Landersdorfer, C. 2002. Acrylamide increased concentrations in homemade food and first evidence of its variable absorption from food, variable metabolism and placental and breast milk transfer In humans. *Chemotherapy*. 48:267-274. Citado en: Friedman, M. 2003. Chemistry, biochemistry, and safety of acrylamide. A review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51:4504-4526.
- Stadler, R. H., Blank, I., Varga, N., Robert, F., Hau, J., Guy, P. A., Robert, M. C. y Riediker, S. 2002. Acrylamide from Maillard reaction products. *Nature*. 419:449-450.
- Surdyk, N. Rosén, J., Andersson, R. y Åman, P. 2004. Effects of asparagine, fructose and baking conditions on acrylamide content in yeast-leavened wheat bread. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 52:2047-2051.
- Taeymans, D., Wood, J., Ashby, P., Blank, I., Studer, A., Stadler, R., Gonde, P., Van Eijck, P., Laljie, S., Lingnert, H., Lindblom, M., Matissek, R., Muller, D., Tallmadge, D., O'Brien, J., Thompson, S., Silvani, D. y Withmore, T. 2004. A Review of acrylamide: an industry perspective on research, analysis, formation and control. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 44:323-347.
- Tareke, E., Rydberg, P., Karlsson, P., Eriksson, S. y Tornqvist, M. 2002. Analysis of acrylamide, a carcinogen formed in heated foodstuffs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50:4998-5006.
- Tyl, R., y Crump, K. 2002. Acrylamide in food. *Fd. Std. Agency*. 5:215-222. Citado en: Sharma, A., Sharma,

- R. y Jain, J. 2008. Biochemical changes in the liver of Swiss albino mice orally exposed to acrylamide. *Maejo International Journal of Science and Technology*. 2(3):542-550.
- WHO. 2002. Health implications of acrylamide in food. Report of a Joint FAO/WHO Consultation. Geneva, Suiza. Última consulta el 4 de noviembre de 2010. Disponible en: http://www.who.int/foodsafety/publications/chem/en/acrylamide_full.pdf
- Wu, Y. Q., Yu, A. R., Tang, X. Y., Zhang, J y Cui, T. 1993. Determination of acrylamide metabolite, mercapturic acid by HPLC. *Biomedical and Environmental Sciences*. 6:273-280. Citado en: Friedman, M. 2003. Chemistry, biochemistry, and safety of acrylamide. A review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51:4504-4526.
- Zyzak, D. V., Sanders, R. A., Stoianovic, M., Tallmadge, D. H., Eberhart, B. L., Ewald, D. K., Gruber, D. C., Morsch, T. R., Strothers, M. A., Rizzi, G. P. y Villagran, M. D. 2003. Acrylamide formation mechanism in heated foods. A review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51:4504-4526.