



# FORMACIÓN DE ACRILAMIDA DURANTE EL PROCESAMIENTO DE ALIMENTOS. UNA REVISIÓN.

## Acrylamide formation during the processing of food. A review

Carolina Chaves Ullate <sup>1</sup>, Andrea Irias Mata <sup>2</sup>, María Laura Arias Echandi <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Microbióloga, Laboratorio de Microbiología de Alimentos. Centro de Investigación en enfermedades tropicales (CIET). Facultad de Microbiología. Universidad de Costa Rica.

<sup>2</sup> Química. Escuela de Tecnología de Alimentos. Universidad de Costa Rica.

<sup>3</sup> Microbióloga, Laboratorio de Microbiología de Alimentos. Centro de Investigación en enfermedades tropicales (CIET). Facultad de Microbiología. Universidad de Costa Rica

### RESUMEN

En abril del 2002, un grupo de investigadores suecos dio a conocer que algunos alimentos ricos en almidón y pobres en proteínas, sometidos a procesos con temperaturas mayores a 120°C (fritura, horneado, asado y tostado) contenían el pro-cancerígeno conocido como acrilamida. A partir de ese momento, se desató una verdadera carrera investigativa en torno al tema, generando más de 7000 publicaciones científicas relacionadas con el tema, solo en los últimos 4 años.

Al día de hoy, las investigaciones realizadas dejan en claro que la formación de acrilamida en los alimentos involucra al aminoácido asparragina y a azúcares reductores, los cuales mediante la reacción de Maillard dan como resultado el mencionado compuesto, denominado actualmente como un contaminante del proceso o un contaminante neo formado.

La investigación realizada, se puede decir tiene tres vertientes claramente definidas, una es explicar porque se da la presencia de acrilamida en los alimentos, otra se enfoca en el desarrollo de protocolos y tecnología de punta para la detección de la sustancia en diversos alimentos y la tercera tiene que ver con las medidas a tomar para mitigar la aparición de acrilamida en sustratos alimenticios. Esta revisión tiene como objetivo, brindar al lector una visión actualizada sobre estas tres vertientes anteriormente citadas.

**Palabras clave:** acrilamida, 2-propenamida, Maillard, asparragina, azúcares reductores, glicidamida

### Abstract

In April 2002, a Swedish group of researchers informed that some food products with high starch and low protein constitution and submitted to temperature processes above 120°C contained a pro cancerigenous substance known as acrylamide. From this

moment on, and until actual times, a research race around the theme has been established.

Up to the date, research done clearly describes the formation of acrylamide in food from asparagine and reducing sugars, through Maillard's reaction, and is known as a process contaminant or a neo formed contaminant.

Actual research on the theme has three different approaches, one that explains the presence of acrylamide in food, a second one that focusses in the development of protocols and technology for its detection in food and a third one that tries to develop mitigating measures for the appearance of acrylamide in food substrates. The aim of this review is to bring to the reader an actualized vision of these three approaches.

### **¿Qué es la acrilamida? ¿Cómo se forma?**

La 2-propenamida (acrilamida) es utilizada ampliamente (Matthäus, 2008) en la industria para la síntesis de poliacrilamidas (Lineback, et al., 2012; Matthäus, 2008; Yu, 2007; Arribas, et al., 2012). Es un polvo blanco cristalino que se disuelve en agua, etanol, dimetiléter, metanol, acetona, pero no en heptano ni benceno (Valenzuela et al., 2007, Arribas, et al., 2012, Lingnert et al., 2002).

La acrilamida es considerada por la Agencia Internacional de Investigaciones en Cáncer (International Agency for Cancer Research IARC por sus siglas en inglés) (Clauss, et al., 2008) como "probable cancerígeno para los humanos", esto basándose en estudios realizados en animales. De momento no se tiene claro que estos resultados puedan extrapolarse al ser humano, pero se sabe que la exposición a altas dosis causa daño al sistema nervioso y que este compuesto químico tiene propiedades mutagénicas y carcinogénicas (Clauss, et al., 2008, Matthäus, 2008, Masson, et al., 2007, Jackson, et al., 2005).

Al día de hoy se sabe que la formación de acrilamida en los alimentos involucra al aminoácido asparragina y a azúcares reductores (Figura 1), los cuales mediante la

reacción de Maillard dan como resultado el mencionado compuesto, denominado actualmente como un contaminante del proceso o un contaminante neo formado. La mayor cantidad de acrilamida ha sido detectada en alimentos fritos, asados u horneados con alto contenido de carbohidratos (papas, cereales) que son sometidos a temperaturas mayores a 120°C (Matthäus, 2008, Pedreschi, 2009). La literatura (Masson, et al., 2007) describe que al calentar cantidades equimolares de asparragina y glucosa a 180°C por un período de media hora es posible obtener 368 µmol de acrilamida (Stadler, et al., 2002). Se ha observado que la formación del compuesto es independiente de la temperatura desde los 120°C hasta los 170°C y que a temperaturas más elevadas se da lugar a un proceso de autodegradación poco estudiado hasta el momento (Stadler, et al., 2002; Jackson, et al., 2005). Lo que sí es conocido y reportado por la literatura es la existencia de una alta relación entre el tipo de procesamiento del alimento (valores tiempo- temperatura), el pH, la humedad y la tasa de formación de la acrilamida (Arribas, et al., 2012). Así mismo, también se ha logrado observar que la manera en que el calor es transmitido al alimento (conducción, convección o radiación) no es determinante en la formación de acrilamida (Jackson, et al., 2005). Otros aminoácidos como alanina, arginina, ácido aspártico, cisteína, glutamina, metionina, treonina y valina, pueden producir acrilamida bajo las mismas condiciones, pero en menores cantidades que la asparragina (Zhang, et al., 2007).

Algunos investigadores (Valenzuela, et al., 2007) también han propuesto que a partir del ácido acrílico (presente en alimentos ricos en lípidos) es posible obtener acroleína y ésta puede aportar a la reacción de Maillard su grupo carbonilo el cual, en presencia de asparragina, da como resultado la formación de acrilamida. Adicionalmente, se reporta que la acroleína en presencia de amoníaco mediante reacciones de oxidación puede ser una vía para la obtención de acrilamida (Gertz, et al., 2002; Lingnert et al., 2002), sin embargo, su generación mediante estas vías debe aún ser más estudiada.

### **1. Toxicidad de la acrilamida**

La acrilamida puede ser absorbida por el ser humano mediante tres rutas diferentes: oral, inhalación o contacto dérmico (Arribas, et al., 2012). La mayoría de los estudios disponibles a la fecha, se han realizado en trabajadores expuestos a la inhalación de acrilamida y su absorción por piel, lo que impide valorar en que forma está vía de contacto puede ser comparada con la exposición mediante el consumo de alimentos que contengan acrilamida ya que en éstos últimos las interacciones con otros elementos de la matriz (ej: proteínas) podrían influir en su absorción (Valenzuela et al., 2007; Clauss, et al., 2008). Se han realizado pruebas en las que la acrilamida se administró, a ratas, disuelta en agua, obteniéndose un porcentaje de absorción de 60 a 90%, pero

cuando se administró mediante alimentos fortificados la absorción solo fue del 28 al 47% (Doerge et al., 2005; Arribas, et al., 2012).

Se conoce que, debido a su polaridad, solubilidad en agua y bajo peso molecular la acrilamida se distribuye rápidamente en todo el cuerpo vía circulación sanguínea y puede ser detectada en timo, hígado, riñones e incluso en leche materna (Clauss, et al., 2008; Lineback, et al., 2012). En el hígado mediante la vía del citocromo P450, la acrilamida puede ser conjugada a glutatión y epoxidada a glicidamida (Figura 2). La formación de este derivado es considerada un paso crítico ya que éste compuesto es el responsable de la genotoxicidad de la acrilamida (Clauss, et al., 2008).

Se ha descrito que la exposición a altas dosis de acrilamida, genera daños a nivel del sistema nervioso, sin embargo, vía ingestión de alimentos estas altas dosis no se alcanzan por lo que el mayor efecto mediado por el consumo de alimentos que contengan acrilamida será mutagénico y carcinogénico (Clauss, et al., 2008), donde la glicidamida parece ser la responsable de tales efectos. Los investigadores en el campo, al parecer piensan que el mecanismo por el cual la acrilamida causa daño es una combinación de daño en el ADN, interferencia con la mitosis y meiosis y estrés oxidativo (Arribas, et al., 2012). Este último fenómeno al parecer, logra inducir un estado proinflamatorio que es considerado, un factor de riesgo

para la progresión del aterosclerosis (Naruszewicz, *et al.*, 2009).

En este punto es importante tener en cuenta que, en todos los estudios realizados con animales, se emplearon altas dosis de acrilamida por lo que éste factor aunado a las diferentes rutas de exposición y las diferencias metabólicas entre especies, hace que sea muy difícil realizar la extrapolación de los datos al ser humano (Arribas, *et al.*, 2012).

## **2. Procesos y alimentos asociados a la formación de acrilamida**

Está establecido que la formación de acrilamida se asocia a alimentos ricos en carbohidratos y relativamente pobres en proteínas (Carrieri, *et al.*, 2009) que son sometidos a operaciones unitarias que presentan temperaturas elevadas. Estos procesos relacionados con la producción de 2-propenamida son: la fritura, el horneado, el tostado y el asado principalmente.

Predecir la cantidad de acrilamida que se formará durante el proceso de freído de un alimento es realmente complejo, ya que hay que considerar muchos parámetros que juegan un papel importante en este sistema (Barutcu, *et al.*, 2009, Carrieri, *et al.*, 2009). El duo tiempo- temperatura debe ser vigilado, además el pH y la concentración de sales también tienen su influencia en la reacción de formación de la acrilamida (Carrieri, *et al.*, 2009). Adicionalmente, es importante mencionar que muchas investigaciones (Barutcu, *et al.*, 2009; Clauss, *et al.*, 2008; Arribas, *et al.*, 2012) informan que el contenido de acrilamida en el interior de los alimentos es más bajo que el contenido en la capa

externa de productos fritos y horneados (Suaterna, 2008).

Debido al hecho, que los resultados obtenidos hasta la fecha no son concluyentes, la acrilamida debe seguir siendo considerada como un agente “potencialmente cancerígeno” para el ser humano, por lo cual los niveles de este compuesto en los alimentos deben ser los mínimos posibles. Para lograr ese objetivo es primordial aclarar las rutas de formación de la acrilamida en los alimentos y a partir de ello elaborar estrategias dirigidas a conseguir los más bajos niveles de acrilamida que sea posible obtener.

Otro factor importante en la fritura es el tipo de aceite utilizado, así como su estado de oxidación e hidrólisis. Aparentemente, este parámetro no afecta de manera significativa la cantidad final de acrilamida que se pueda producir durante la operación (Masson, *et al.*, 2007; Suaterna, 2008), aunque si se reporta un aumento de 10 veces su cantidad cuando se utilizó aceite reusado a 150°C para la producción de papas fritas (Masson, *et al.*, 2007).

Las papas, tanto fritas como chips, son uno de los alimentos más relacionados con la

formación de acrilamida y por tanto también más estudiados en este parámetro. Se sabe que las papas contienen asparragina (Pedreschi, 2009), precursor de la formación de acrilamida, sin embargo, la cantidad de este aminoácido y de los azúcares presentes en las papas son dependientes de su variedad, de las condiciones del suelo donde se cultive, de los fertilizantes utilizados, del período en que se coseche y el manejo y almacenamiento post cosecha que se realice (Pedreschi, 2009; Masson, *et al.*, 2007; Matthäus, 2008; Jackson, *et al.*, 2005). La cantidad de azúcares reductores se ve afectada por la temperatura de almacenamiento que se emplee, ya que los azúcares comienzan a acumularse cuando se da un desequilibrio entre la degradación del almidón, la síntesis de almidón y la tasa de respiración, este fenómeno se presenta a temperaturas menores a 10°C (Pedreschi, 2009; Masson, *et al.*, 2007). Aunque este proceso está bien estudiado y descrito para los azúcares presentes en la papa, se sabe que el contenido de asparragina, no se ve afectado por la temperatura utilizada para el almacenamiento de los tubérculos antes de su procesamiento industrial (Olson, *et al.*, 2004; Masson, *et al.*, 2007).

Como es lógico pensar, luego de observar el panorama muchos investigadores han propuesto diferentes opciones para tratar de reducir la formación de acrilamida durante la fritura, una de estas opciones es la fritura en microondas que no solo logra una reducción importante sino también una disminución en el tiempo de la

operación (Cuadro 1) (Barutcu, *et al.*, 2009).

Los alimentos a base de cereales son otro grupo que llama la atención en cuanto a porcentajes de acrilamida se refiere. En este sentido, el trigo y el centeno son dos de los cereales más utilizados en la dieta de muchos seres humanos. Se ha reportado que el trigo posee cantidades significativas de asparragina libre y azúcares reductores (Zhang *et al.*, 2007). Sin embargo, los datos para la cantidad de aminoácidos libres y azúcares reductores del centeno no son tan claros (Zhang *et al.*, 2007). Al igual que con las papas las condiciones de cultivo, fertilización y almacenamiento de los granos parecen tener influencia en los niveles de acrilamida que se encuentran en estos productos y sus derivados (Clauss, *et al.*, 2008).

El proceso de tostado que conlleva la producción de café es otra operación relacionada con la formación de acrilamida. Este proceso utiliza temperaturas de aproximadamente 220-250°C (Summa, *et al.*, 2007) con niveles de acrilamida de 45 a 539 mgk<sup>-1</sup> (Summa, *et al.*, 2007), pero al parecer estas cantidades no son estables y decrecen con el tiempo (Gökmen, 2006). El café ha llamado también la atención de la comunidad científica no sólo por la presencia de acrilamida, sino también por su poder antioxidante que incluso pareciera relacionarse con baja incidencia de algunos tipos de cáncer (George *et al.*, 2008). Tanto la formación de acrilamida como la presencia de sustancias con poder

antioxidante se relación estrechamente con la reacción de Maillard, por lo cual si se toman medidas para tratar de reducirla, probablemente se estarían disminuyendo ambas sustancias en el producto final (Summa, *et al.*, 2006), razón por la cual investigaciones recientes (Summa, *et al.*, 2007; Summa, *et al.*, 2006) alertan sobre la importancia de valorar el impacto que pueden tener ciertas medidas de mitigación de la formación de acrilamida, en otros componentes del producto, como es el caso de la capacidad antioxidante del café.

### 3. Métodos de detección de acrilamida en alimentos

Paralelamente al anuncio en 2002 de la existencia de acrilamida en alimentos, se desarrolló también un gran movimiento para contar con metodologías lo suficientemente exactas y sensibles que permitieran determinar los niveles de acrilamida en diferentes matrices alimentarias. En este sentido, los reportes en la literatura indican que existe uniformidad en cuanto a las técnicas de detección, siendo las más comúnmente utilizadas la cromatografía de gases acoplada a la espectrometría de masas (GC-MS) con un límite de detección de 10–30 mgkg<sup>-1</sup> (Yusá *et al.*, 2006) y la cromatografía líquida acoplada, también a la espectrometría de masas (LC-MS) con una detección límite de 30–50 mgkg<sup>-1</sup> (Yusá *et al.*, 2006; Lineback *et al.*, 2012). Existen también otra serie de metodologías no oficiales que han mostrado un buen

desempeño en cuanto a detección de acrilamida en alimentos, entre ellas se menciona la electroforesis capilar (CE), análisis inmunoenzimáticos y más recientemente biosensores (Oracz, *et al.*; 2011).

En lo que respecta a los procedimientos de extracción y purificación de las muestras se reporta que existen notables diferencias (Valenzuela, *et al.*, 2007; Oracz, *et al.*; 2011), las cuales van a estar marcadas principalmente por la matriz alimentaria que vaya a ser analizada. Los procedimientos de extracción que comúnmente se utilizan van desde sonicación, dispersión y agitación a alta velocidad hasta agitación en rotor o extracción con fluidos supercríticos (Oracz, *et al.*; 2011), utilizando en todos los casos (excepto en extracción de fluidos supercríticos donde se utiliza CO<sub>2</sub>), agua como disolvente (Yusá *et al.*, 2006). Posterior a la extracción se debe realizar la purificación, para lo que se recomienda el uso de dos diferentes pasos de extracción de fase sólida (SPE), lentos y laboriosos.

Sin importar cual metodología se emplee siempre el disolvente utilizado es el agua. Esto representa un importante problema para realizar la concentración del extracto (Yusá *et al.*, 2006), ya que, aunque utilizar el agua como disolvente es bastante económico y eficaz, es poco específico. Otras sustancias como almidón, proteínas y azúcares pueden competir con la acrilamida dependiendo de las condiciones aplicadas durante la extracción (Gökmen *et al.*, 2009).

Oracz y colaboradores en su revisión del 2011, mencionan algunos de los métodos de detección de acrilamida en alimentos más utilizados (Cuadro 2).

#### **4. Estrategias para reducir la formación de acrilamida en alimentos**

Existen diferentes estrategias centralizadas en reducir la formación de la 2-propenamida (Gökmen *et al.*, 2007; FAO, 2009; FAO/WHO 2002; Lineback *et al.*, 2012; Clauss, *et al.*, 2008), pero casi todas se basan en la modificación de los siguientes parámetros: materias primas, control/adición de otros ingredientes, elaboración y tratamientos térmicos (FAO, 2009).

Hay que tener en cuenta que debido a la heterogeneidad de los alimentos que pueden presentar formación de acrilamida las estrategias de mitigación pueden ser muy diversas.

Con respecto a materias primas (en general) existe una base de datos bastante importante (FAO 2009; Clauss, *et al.*, 2008; Matthäus, 2008; Jackson, *et al.*, 2005). Las principales medidas a tomar pueden ser aplicadas desde el campo haciendo elección de la variedad de alimento (papa, grano de cereal) que posea menor cantidad de azúcares reductores y evitando la fertilización con abonos ricos en nitrógeno ya que se ha visto que estos ayudan a generar mayor cantidad de asparragina libre (Jackson, *et al.*, 2005; Clauss, *et al.*, 2008; Matthäus, 2008). Adicional a estas medidas también se

reporta como deseable el almacenamiento, sobre todo de la papa a temperaturas mayores a los 6°C ya que esta medida previene la acumulación de azúcares reductores en el tubérculo (Clauss, *et al.*, 2008; Matthäus, 2008; Lineback *et al.*, 2012; FAO, 2009). Otra estrategia al parecer bastante viable es realizar pre-procesos como remojo, blanqueado y lavado con la idea de disminuir por lixiviación azúcares reductores (Matthäus, 2008; Lineback *et al.*, 2012; FAO, 2009; Lineback *et al.*, 2012; FAO, 2009). Aplicando estos pre-tratamientos algunos autores (Jackson, *et al.*, 2005) reportan hasta un 50% de disminución de los azúcares reductores.

Referente al control/adición de otros ingredientes se hace mención de varias estrategias cuyo propósito es reducir la formación de acrilamida (Valenzuela *et al.*, 2007; Clauss, *et al.*, 2008; Matthäus, 2008; Lineback *et al.*, 2012; FAO, 2009; Jackson, *et al.*, 2005). Una de ellas es la adición de asparraginasa, la cual es capaz de degradar la asparragina a ácido aspártico y amonio (Lineback *et al.*, 2012). Esta estrategia parecer ser importante en productos de panadería donde se reportan (Jackson, *et al.*, 2005) disminuciones de hasta 75% de asparragina libre y 55% de formación de acrilamida en productos de panadería.

Se conoce también que disminuir el pH del medio desfavorece la reacción de Maillard y por tanto la formación de acrilamida. Sin embargo, se reporta que la adición de ácidos como el cítrico, combinado con algunos pre-tratamientos como el blanqueado o escaldado, aunque logran reducir hasta en un 70% los niveles de acrilamida, afectan la calidad sensorial sobre todo de los productos a base de papa (Clauss, *et al.*, 2008; Matthäus, 2008, Zhang *et al.*, 2007). Otra posibilidad, que al parecer es prometedora en los productos de panadería, es extender el tiempo de fermentación con ayuda de levaduras capaces de desdoblar la asparragina y los azúcares reductores disminuyendo así la cantidad de reactantes para que se lleve a cabo la formación de acrilamida (Lineback *et al.*, 2012; Clauss, *et al.*, 2008). Se ha ensayado también la adición de cationes divalentes y trivalentes (sales de calcio), y adición de antioxidantes (extractos de hojas de bambú) entre otras estrategias a éste nivel (Lineback *et al.*, 2012; Zhang *et al.*, 2007; Gökmen *et al.*, 2007).

## 5. Conclusiones

Las investigaciones realizadas hasta la fecha permiten concluir que la acrilamida no se encuentra en la mayoría de las materias primas, si no que es formada como consecuencia de ciertas operaciones unitarias que se realizan para conservar o dar mejor sabor a algunos alimentos. La formación de acrilamida durante dicho procesamiento, está íntimamente ligada a la conocida reacción de Maillard, y se genera cuando el aminoácido asparragina reacciona con azúcares reductores en presencia de temperaturas mayores a los 120°C (Arribas, *et al.*, 2012; Pedreschi, 2009).

Finalmente, con respecto a los procesos de elaboración y tratamientos térmicos se recomienda vigilar muy bien el tiempo y temperatura utilizados, ya que estos son el catalizador de la reacción de formación de acrilamida y se mencionan estrategias como la fritura en microondas o al vacío con el fin de reducir la cantidad de acrilamida en el producto final (Zhang *et al.*, 2007; Barutcu, *et al.*, 2009).

Clauss, *et al.*, y Zhang *et al.*, (Clauss, *et al.*, 2008; Zhang *et al.*, 2007) recopilan en sus investigaciones algunos de los trabajos más relevantes en cuanto a estrategias de mitigación de formación de acrilamida se refiere.

Hasta el momento, se considera a la acrilamida como un potencial cancerígeno para el ser humano ya que aunque existen estudios científicos que sugieren que la exposición a éste tóxico genera daño en el ADN, dichos estudios han sido llevados a cabo en modelos animales y hasta la fecha no se ha publicado ningún estudio epidemiológico que afirme que las cantidades de acrilamida consumidas en los alimentos, por la población en general, aumenten significativamente el riesgo de sufrir algún tipo de cáncer por ésta causa. Sin embargo, las autoridades mundiales en inocuidad alimentaria recomiendan utilizar estrategias tendientes a la disminución de ésta sustancia en los alimentos (FAO, 2005).

Cuando se realizó el anuncio de la presencia de acrilamida en los alimentos paralelamente se generó también un auge en la investigación y diseño de tecnologías que permitan detectar esta sustancia en diversos alimentos. Actualmente existen dos métodos oficiales para la detección de acrilamida en matrices alimentarias, la cromatografía de gases acoplada a la espectrometría de masas (GC-MS) y la cromatografía líquida acoplada, también a la espectrometría de masas (LC-MS) (Yusá et al., 2006; Lineback *et al.*, 2012). Actualmente el mayor traspíe en cuanto a detección de acrilamida se refiere es la complejidad y laboriosidad que presentan las técnicas de extracción de acrilamida (Gökmen *et al.*, 2009; Oracz, *et al.*; 2011; Lineback *et al.*, 2012).

Finalmente existen prometedoras investigaciones en el campo que deben seguir siendo incentivadas con el fin de lograr comprender el fenómeno de formación de la acrilamida en los alimentos, de una manera integral, para así poder tomar decisiones adecuadas en el ámbito de la salud pública y la inocuidad alimentaria.

### Bibliografía

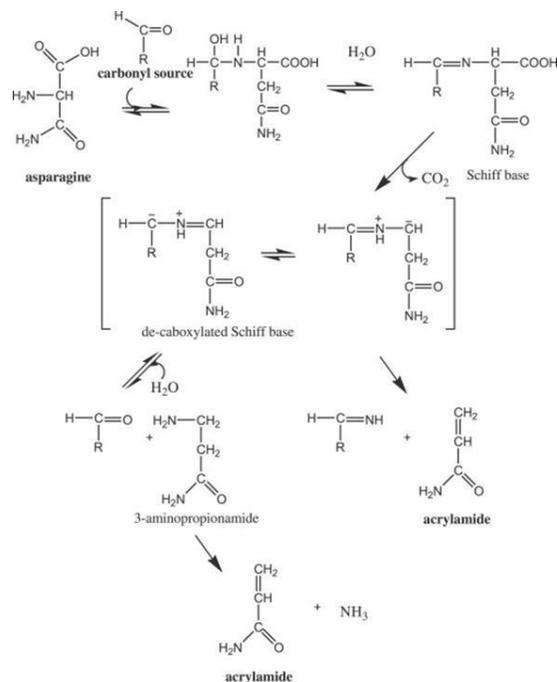
1. Arribas G, Morales, F. Recent Insights in Acrylamide as Carcinogen in Foodstuffs. *Advances in*

- Molecular Toxicology 2012; 6:163-184
2. Barutcu I., Sahin S., Sumnu G. Acrylamide formation in different batter formulations during microwave frying. *LWT- Food Science and Technology* 2009; 42:17-22
3. Carrieri G., De Bonis M., Pacella C., Pucciarelli A., Ruocco G. Modeling and validation of local acrylamide formation in a model food during frying. *Journal of Food Engineering* 2009; 95: 90–98
4. Claus A., Carle R., Schieber A. Acrylamide in cereal product: A review. *Journal of Cereal Science* 2008; 47: 118-133
5. Doerge D., Young J., McDaniel L., Twaddle N., Churchwell M. Toxicokinetics of acrylamide and glycidamide in B6C3F (1) mice. *Toxicol. Appl. Pharmacol* 2005; 202: 258–267
6. FAO/WHO. Consultation on Health Implications of Acrylamide in Food: Summary Report. Geneva, Switzerland: FAO/WHO. 2002
7. FAO/WHO. Red Internacional de Autoridades de inocuidad de los alimentos (INFOSAN). Acrilamida en los alimentos un riesgo potencial para la salud. 2005 Nota técnica. <http://www.who.int/foodsafety>
8. FAO. Código de prácticas para reducir el contenido de acrilamida en los alimentos. <http://www.acrylamide-food.org/> 2009
9. George S., Ramalakshmi K., Mohan Rao I. A Perception on Health Benefits of Coffee, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 2008;48 (5): 464-486
10. Gertz C., Klostermann S. Analysis of acrylamide and mechanisms of its

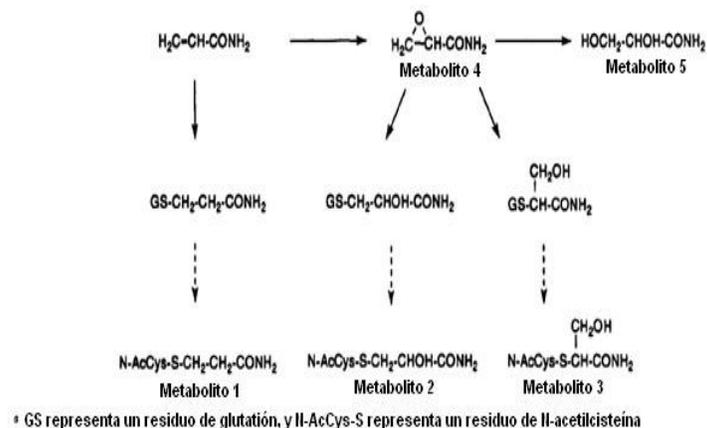
- formation in deep-fried products. *Eur. J. Lipid. Sci. Tech* 2002; 104: 762-771
11. Gökmen V, Palazo lu T, fiennyuva H. Relation between the acrylamide formation and time-temperature history of surface and core regions of French fries. *Journal of Food Engineering* 2006; 77: 972-976
  12. Gökmen V., Morales F., Atac B., Serpen A., Arribas-Lorenzo G. Multiple-stage extraction strategy for the determination of acrylamide in foods. *Journal of Food Composition and Analysis* 2009; 22: 142-147
  13. Gökmen V., Senyuva H. Study of colour and acrylamide formation in coffee, wheat flour and potato chips during heating. *Food Chemistry* 2007; 99: 238-243
  14. Gökmen V., Senyuva H. Acrylamide formation is prevented by divalent cations during the Maillard reaction. *Food Chemistry* 2007; 103: 196-203
  15. Jackson L., Al-Taher F. Processing Issues: Acrylamide, Furan and Trans Fatty Acids Ensuring Global Food Safety 2005; 384-405
  16. Lineback D., Coughlin J., Stadler R. Acrylamide in Foods: A Review of the Science and Future Considerations. *Annual Review of Food Science and Technology* 2012; 3: 15-35
  17. Lingnert H., Grivas S., Jägerstad M., Skog K., Törnqvist M., Aman P. Acrylamide in food: mechanisms of formation and influencing factors during heating of foods. *Scandinavian Journal of Nutrition* 2002; 46 (4): 159-172
  18. Masson L., Muñoz J., Romero N., Conrado C., Encina C., Hernández L., Castro J., Robert P. Acrilamida en patatas fritas: Revisión actualizada. *Grasas y aceites* 2007; 58(2), 185-193
  19. Matthäus B. Acrylamide Formation During Frying. Edited by SerpilSahin and Servet GulumSumnu 2008. *Advances in Deep-Fat Frying of Foods*. 143-168
  20. Naruszewicz M., Zapolska-Downar D., Kosmider A., Nowicka G., Kozłowska M., Wojciechowska A., Vikström M., Trönqvist M. Chronic intake of potato chips in humans increases the production of reactive oxygen radicals by leukocytes and increases plasma C-reactive protein: a pilot study. *Am. J. Clin. Nutr* 2009; 89:773-777
  21. Olsson K, Svensson R, Roslund C. Tuber components affecting acrylamide formation and colour in fried potato: variation by variety, year, storage temperature and storage time. *Journal of the Science of Food Agriculture* 2004; 84:447-458
  22. Oracz J., Nebesny E., Zyzelewicz D. New trends in quantification of acrylamide in food products. *Talanta* 2011; 86: 23- 34
  23. Pedreschi F. Acrylamide Formation and Reduction in Fried Potatoes. Edited by Enrique Ortega-Rivas. *Processing Effects on Safety and Quality of Foods*. 2009; 231-251
  24. Stadler R., Blank I., Varga N., Robert F., Hau J., Guy P., Robert M., Riediker S. Acrylamide from Maillard reaction products. *Nature* 2002; 419:449-450
  25. Suaterna, A. La fritura de los alimentos: pérdida y ganancia de nutrientes en los alimentos fritos. *Perspectivas en Nutrición Humana* 2008; 10 (1): 77-88
  26. Sumner S., MacNeela J., Fennell T. Characterization and Quantitation of Urinary Metabolites of [1, 2, 3-<sup>13</sup>C] Acrylamide in Rats and Mice Using <sup>13</sup>C Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy. *Chemical. Research Toxicology* 1992; 5, 81-89
  27. Summa C., de la Calle B., Brohee M., Stadler, R., Anklam E. Impact of the

- roasting degree of coffee on the in vitro radical scavenging capacity and content of acrylamide. *LWT- Food Science and Technology* 2007; 40: 1849–1854
28. Summa S., Wenzl T., Brohee M., Mast J., de la Calle B., Anklam E. Investigation of the correlation of the acrylamide content and the antioxidant activity of model cookies. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2006; 54: 853–859
  29. Valenzuela, R & Ronco, A. Acrilamida en los alimentos. *Revista chilena de nutrición* 2007; 34(1): 8-16
  30. Yusà V., Quintás G., Pardo O., Martí P., Pastor, A. Determination of acrylamide in foods by pressurized fluid extraction and liquid chromatography-tandem mass spectrometry used for a survey of Spanish cereal-based foods. *Food Additives and Contaminants* 2006; 23(3):237-244
  31. Zhang, Y & Ying Zhang. Formation and Reduction of Acrylamide in Maillard Reaction: A Review Based on the Current State of Knowledge. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 2007; 47(5): 521-542

**Figura 1. Mecanismo de formación de acrilamida a partir de la descarboxilación del compuesto de Amadori. Fuente: Clauss *et al.*, 2008**



**Figura 2. Mecanismo propuesto para la degradación de acrilamida. Fuente: Sumner *et al.*, 1992.**



\* GS representa un residuo de glutatión, y H-AcCys-S representa un residuo de H-acetilcisteína

**Cuadro 1. Cantidad de acrilamida presente en pollo frito en microondas o por fritura profunda tradicional (Barutcu *et al.*)**

Tipo de tratamiento	Tiempo de freído en minutos	Acrilamida $\mu\text{g}/\text{kg}$
Freído en microondas	1.5	75.75 $\pm$ 9.17
Freído profundo	5	87.90 $\pm$ 5.56

**Cuadro 2. Metodologías más empleadas para la detección de acrilamida en diferentes matrices alimentarias (Oracz, *et al.*; 2011).**

Alimento	Método	% de recuperación	Límite de detección/Límite de cuantificación	Publicación
Papas fritas	GC-MS, EI	102-110%	5 $\mu\text{g kg}^{-1}$ / 10 $\mu\text{g kg}^{-1}$	Cheng <i>et al.</i> , 2006
Cereales	SPME/GC-MS	102-103%	0.9 $\mu\text{g kg}^{-1}$ / 3 $\mu\text{g kg}^{-1}$	Bermudo <i>et al.</i> , 2006

Café y cacao	LC-MS/MS, ESI	93-99%	10 $\mu\text{g kg}^{-1}$ / 20 $\mu\text{g kg}^{-1}$	Arisset <i>et al.</i> , 2008
Té	GC-MS, EI	94-108%	0.2ng ml <sup>-1</sup> / 0.6ng ml <sup>-1</sup>	Mizukami <i>et al.</i> , 2006
Diversos alimentos	GC-MS, EI	1-7% (precisión)	5.2 $\mu\text{g kg}^{-1}$ / 15.7 $\mu\text{g kg}^{-1}$	DiasSoares <i>et al.</i> , 2009
Agua	ELISA	NR	65.7 $\mu\text{gkg}^{-1}$ (límite detec)	Preston <i>et al.</i> , 2008
Snack, galletas y pan tostado	CZE-FASI-UV	16% (precisión)	3 ng g <sup>-1</sup> (límite detec)	Bermudo <i>et al.</i> , 2006
Papas crisy	UPLC-MS/MS, ESI	82-99%	1 $\mu\text{g kg}^{-1}$ / 3 $\mu\text{g kg}^{-1}$	Zhang <i>et al.</i> , 2007
Alimentos fritos	GC-ECD	87-97%	65.7 $\mu\text{gkg}^{-1}$ (límite detec)	Hamlet <i>et al.</i> , 2004

NR: no reporta, GC-MS: Cromatografía de Gases/espectrometría de masas, EI: ionización de electrones, SPME: microextracción en fase sólida, ELISA: Ensayo por inmunoabsorción ligado a enzimas, ESI: ionización electrospray, CZE: electroforesis capilar de zona, FASI: campo amplificado de inyección de muestra, UV. Ultravioleta, UPLC: cromatografía líquida de ultra eficacia, ECD: detector de captura de electrones. Fuente: Oracz, *et al.*; 2011