



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Agronòmica i del Medi Natural

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica
y del Medio Natural

La problemática de la acrilamida ante tratamientos térmicos
y su posterior digestión gástrica.

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural

AUTOR/A: Ferrer Pérez, Andrea

Tutor/a: Peris Tortajada, Miguel

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022

La problemática de la acrilamida ante tratamientos térmicos y su posterior digestión gástrica

Resumen

La acrilamida es un compuesto potencialmente carcinógeno y puede causar daños al sistema nervioso en humanos, razón por la que se añadió a la lista de sustancias tóxicas alimenticias por la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (“European Food Safety Authority”, EFSA). La acrilamida es una sustancia química que se forma en aquellos alimentos que contienen un alto porcentaje de azúcares reductores, como por ejemplo las patatas, los cereales o los productos de bollería entre otros, cuando se exponen a tratamientos térmicos a altas temperaturas.

En este TFG se expondrá la problemática de la acrilamida en los diferentes alimentos y como:

- a) Las elevadas temperaturas en los procesos de cocinado y el contenido de azúcares reductores en éstos, fomentan su aparición.
- b) Se comporta la acrilamida en los procesos de digestión gástrica en los humanos.
- c) Se ve alterado este compuesto a causa de este proceso biológico.
- d) Puede afectar también a los niveles de pH ácido de los flujos gástricos.

Por último se enunciarán y explicarán las diferentes soluciones que en la actualidad se proponen para tratar de remediar los inconvenientes que derivan de la posible presencia de niveles elevados de acrilamida en los alimentos y sus nefastas consecuencias para la salud.

Entre ellas encontramos el empleo de bajas presiones en la fritura como herramienta para reducir la formación de acrilamida mediante la reacción de Maillard en procesos de fritura. También se hará mención al uso de otras técnicas para reducir o procesar determinados alimentos y disminuir la formación de este compuesto. También se hará una mención a la legislación actual así como propuestas para mitigar la formación de la acrilamida.

Palabras clave

Acrilamida; asparagina; quitosano; azúcares reductores; reacción de Maillard; digestión gástrica.

Summary

Acrylamide is a potentially carcinogenic compound and can cause nervous system damage in humans, which is why it was added to the list of food toxicants by the European Food Safety Authority (EFSA). Acrylamide is a chemical that forms in foods containing a high percentage of reducing sugars, such as potatoes, cereals, bakery products and others, when exposed to heat treatment at high temperatures.

In this dissertation, the problem of acrylamide in different foods will be presented and how it can be reduced:

- a) The high temperatures in cooking processes and the content of reducing sugars in these, promote its appearance.
- b) Acrylamide behaves during gastric digestion processes in humans.
- c) This compound is altered as a result of this biological process.
- d) It may also affect the acid pH levels of gastric flows.

Finally, the different solutions currently proposed to try to remedy the drawbacks resulting from the possible presence of high levels of acrylamide in food and its harmful consequences for health will be described and explained.

These include the use of low pressure in frying as a tool to inhibit the formation of acrylamide through the Maillard reaction in frying processes. Mention will also be made of the use of other techniques to reduce or process certain foods and reduce the formation of this compound. Mention will also be made of current legislation as well as proposals to mitigate the formation of acrylamide.

Keywords

Acrylamide; asparagine; chitosan; reducing sugars; Maillard reaction; gastric digestion.

Valencia, 29 de julio de 2022

Autor: Andrea Ferrer Pérez

Tutor: Miguel Peris Tortajada

Dedicatoria

Agradecer a mis padres y amigos por apoyarme de manera incondicional a lo largo de estos años y durante cada una de mis decisiones.

A Miguel por su amabilidad, ayuda y profesionalidad para realizar este trabajo.

Y por último a mis amigos que aparecieron en esta etapa por estar a mi lado y darme ánimos para seguir adelante y superarme cada día

INDICE:

1. Introducción	1
2. Objetivos	3
3. Materiales y métodos.....	3
4. Resultados.....	4
4.1. La Acrilamida	4
I. Composición.....	4
II. Formación.....	4
4.2. Tratamientos térmicos y su problemática	7
I. Influencia en las patatas fritas	9
II. Influencia en panificación	10
4.3. Problemática ante la digestión gástrica	11
4.4. Soluciones y propuestas para mitigar, reducir o eliminar la acrilamida en los alimentos.....	13
I. Leyes y recomendaciones	13
II. Medidas prácticas para mitigación y reducción.....	14
A. Escaldado.....	14
B. Inmersión.....	14
C. Acidificación.....	15
D. Empleo de presiones reducidas en la fritura	15
E. Selección de materias primas con bajo contenido en asparagina y/o azúcares reductores	16
F. Control y adicción de otros ingredientes	16
G. Utilización de asparaginasa	16
H. Fermentación.....	16
III. Formas de reducir el consumo a nivel individual.....	17
5. Conclusiones.....	18
6. Referencias bibliográficas.....	20

INDICE DE FIGURAS:

<i>Figura 1. Concentraciones de acrilamida en distintos alimentos (Khaneghah et al., 2020)</i>	<i>2</i>
<i>Figura 2. Estructura química de la acrilamida</i>	<i>4</i>
<i>Figura 3. Mecanismo de formación de la acrilamida (Molina, 2015).....</i>	<i>6</i>
<i>Figura 4. Propuesta del mecanismo de formación de acrilamida durante la digestión gástrica in vitro a partir de los precursores asparagina y glucosa (Hamzalıođlu y Gökmen, 2015).</i>	<i>11</i>

1. Introducción

Las investigaciones científicas preliminares sobre la acrilamida en diferentes alimentos dieron lugar a que en abril del 2002 la Agencia de Seguridad Alimentaria Sueca (Swedish National Food Authority) junto con la Universidad de Estocolmo detectaran la presencia de acrilamida en alimentos ricos en carbohidratos y sometidos a altas temperaturas, lo que supuso el descubrimiento de una nueva vía de entrada del tóxico en el organismo (Swedish National Food Administration, 2004). Los investigadores encontraron niveles elevados de acrilamida en los alimentos que fueron estudiados, principalmente en aquellos que eran ricos en almidón (Zyzak *et al.*, 2003).

La Organización Mundial de Salud (OMS) se reunió con el fin de exponer métodos de análisis, posibles problemas de seguridad e hipótesis mecanicistas sobre la acrilamida (FAO, 2002). Por otro lado, se ha clasificado a la acrilamida como un pro-cancerígeno en seres humanos (clase 2A) por el Centro Internacional de Investigación sobre Cáncer (IARC), y también se ha determinado que la exposición a bajos niveles de acrilamida causa daños al sistema nervioso, puesto que cualquier nivel de exposición a una sustancia genotóxica podría dañar de forma potencial el ADN y conllevar la aparición de cáncer, razón por la que los científicos concluyen que no pueden establecer una ingesta diaria tolerable de acrilamida en alimentos.

Tal y como ha señalado la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA), como la acrilamida está presente en una gran variedad de alimentos que son de consumo diario (Figura 1), los más expuestos a ella son los niños debido a su menor peso corporal (EFSA, 2015).

Respecto a los alimentos que contribuyen a la exposición a la acrilamida puede señalarse que los principales colaboradores varían dependiendo de la edad así:

- **En adultos**, los productos que contienen almidón como las patatas y sus derivados (incluidas las patatas caseras fritas, las asadas...) son la fuente dietética de acrilamida más importante llegando a suponer casi un 50% de la exposición media a este compuesto en adultos; seguidos del pan de molde, cereales, galletas, tostadas y el pan crujiente.
- **En niños**, los productos derivados de las patatas fritas (exceptuando las patatas chips y los aperitivos) presentan hasta un 51% de toda la exposición a través de la dieta. El pan blando, los cereales de desayuno, las galletas y otros productos derivados de los cereales o de las patatas pueden contribuir hasta con un 25% más.

No obstante lo anterior, debe puntualizarse que aunque algunos de estos alimentos tienen elevado contenido en acrilamida, los individuos están expuestos limitadamente a esta sustancia siempre que se siga una dieta normal variada (Aesan, 2020).

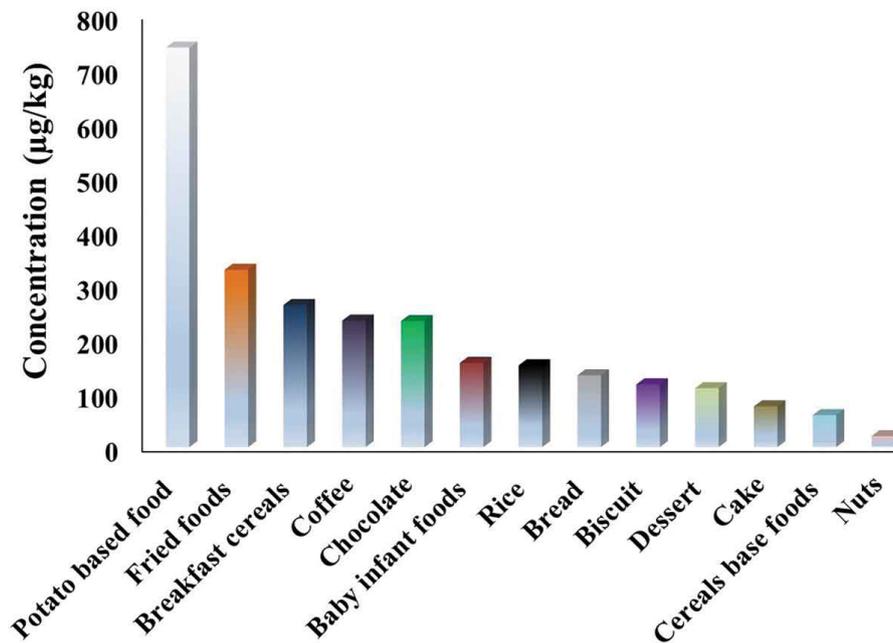


Figura 1. Concentraciones de acrilamida en distintos alimentos (Khaneghah et al., 2020)

Se ha descubierto, a través de las distintas investigaciones desarrolladas, que la formación de acrilamida se produce principalmente gracias a los azúcares y aminoácidos, en especial la asparagina, que están presentes de manera natural en muchos alimentos. Se conoce como reacción de Maillard al proceso químico causante de la formación de acrilamida siendo también el responsable de proporcionar un color y olor que son organolépticamente apetecibles (AESAN, 2020).

En la formación de la acrilamida van a influir las elevadas temperaturas que se dan en los cocinados de los diferentes alimentos como son: cocción, fritura, tostado, asado así como cualquier proceso industrial donde se apliquen temperaturas muy elevadas (Zyzak et al., 2003).

Por otro lado, se ha de mencionar que la acrilamida tiene diversas aplicaciones en distintos ámbitos, pudiendo destacarse que se usa para fabricar poliacrilamida que es un compuesto que se usa principalmente para tratar aguas residuales, además del uso de ambas en la industria textil (Maan et al., 2022). De hecho, en los inicios de las investigaciones llegó a pensarse que la principal fuente de exposición de los seres humanos a la acrilamida provenía del agua potable y del humo de los cigarrillos.

2. Objetivos

El principal objetivo del trabajo es exponer aquellas soluciones que se están planteando en la actualidad para mitigar, frenar o regular la presencia de la acrilamida en nuestra dieta ya que, si bien los expertos de la EFSA han concluido que los niveles actuales de exposición a través de la dieta no suponen peligro para la salud, en niños y bebés con alta exposición a través de la dieta, el margen de exposición (MOE en sus siglas en inglés) se acerca a valores que sí pueden llegar a perjudicar de forma grave la salud.

Para poder proporcionar las distintas soluciones, en el presente Trabajo se explicarán las principales causas que favorecen tanto la formación como el posterior aumento de concentración de acrilamida, y para ello se va a:

- Explicar qué es la acrilamida desde el punto de vista químico.
- Exponer cómo se forma esta sustancia y cuál es su composición.
- Analizar el papel que juegan los tratamientos térmicos en la formación de acrilamida en los alimentos, tanto en el ámbito de la industria alimentaria como del hogar.
- Describir cómo los procesos de digestión gástrica inciden en el aumento de concentración de este compuesto.

La finalidad del trabajo es presentar de una forma clara y concisa las principales problemáticas que se plantean respecto a esta sustancia para así luego exponer y desarrollar las posibles soluciones concretas que se sugieren.

3. Materiales y métodos

El presente trabajo ha sido redactado mediante la búsqueda de información bibliográfica, tanto desde el punto de vista técnico, social y regulatorio.

Para la búsqueda de toda la información técnica y científica se ha consultado en bases de datos con artículos científicos disponibles como son ScienceDirect o PubMed, además de utilizar las páginas webs de organismos especializados en la materia como puede ser The Good Food Institute (GFI) o la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN).

La búsqueda y consulta de toda esta información y metodología ha permitido recopilar todos los aspectos fundamentales sobre la materia tratada, centrándonos en lo que concierne al trabajo presentado.

4. Resultados

4.1. La Acrilamida

La acrilamida (2-propenamida, $\text{CH}_2=\text{CO}-\text{NH}_2$) es un sólido cristalino incoloro e inodoro con un punto de fusión de $84,5\text{ }^\circ\text{C}$, que se forma a partir de la hidratación del acrilonitrilo. Es un compuesto soluble en agua, etanol, acetona, etc. (*Universidad Autónoma de Nuevo León, 2012.*). Además, es un compuesto que reacciona cuando entra en contacto con el aire y se transforma rápidamente en su forma de polímero (poliacrilamida).

Como ya se ha mencionado anteriormente, este compuesto tiene diversas aplicaciones en diferentes sectores industriales: en la fabricación de textiles, de papel, también en la industria del petróleo, cosmética, construcción de túneles y tratamiento de suelos (*Maan et al., 2022*). Además se utiliza en el tratamiento de aguas y de aguas residuales como un agente purificador y floculante (*Oroian et al., 2015*).

I. Composición

La acrilamida $\text{C}_3\text{H}_5\text{NO}$, pertenece al grupo de las amidas α - β insaturadas, dentro de las que se presenta como la más simple de todas ellas debiendo reseñarse que posee propiedades físicas y químicas de sus dos grupos funcionales los cuales son: la amida y el enlace vinílico (*Universidad Autónoma de Nuevo León, 2012*). En la figura 2 observamos la estructura química.

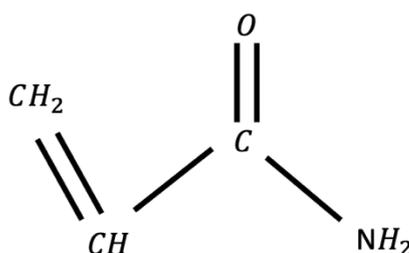


Figura 2. Estructura química de la acrilamida

II. Formación

La acrilamida se forma en ciertos alimentos, principalmente aquellos que tienen un alto contenido de hidratos de carbono y una menor cantidad de proteínas, cuando se exponen a procesos de cocinado a elevadas temperaturas. También la aparición de este compuesto en algunos alimentos está estrechamente relacionada con el contenido en azúcares reductores (*Amrein et al., 2004*).

Por tanto, la acrilamida se puede formar a temperaturas elevadas por varias reacciones y su presencia va a estar determinada por las características del alimento. La cantidad formada va a depender tanto del tipo de alimento como de las condiciones (temperatura y tiempo) de calentamiento. La reacción más importante y común es la conocida como reacción de Maillard, entre un azúcar reductor, típicamente la glucosa, y la asparagina, por lo que los contenidos de estas sustancias son críticos. En los derivados de cereales el factor limitante suele ser la asparagina libre, mientras que en las patatas lo es el contenido de azúcares reductores.

Podemos determinar que la acrilamida puede formarse a través de diversos mecanismos (*Moreno et al., 2007*):

- A partir de aminoácidos directamente.
- A través del ácido acrílico el cual puede provenir de la degradación de carbohidratos, lípidos o aminoácidos libres, si bien hay que indicar que se trata de una ruta marginal.
- Por deshidratación/descarboxilación de determinados ácidos orgánicos comunes, como pueden ser el ácido málico, el ácido cítrico o los ácidos lácticos.

En este trabajo nos vamos a centrar en el primero de los mecanismos señalados de formación de la acrilamida, ya que es el que mayor relación presenta con el enfoque de esta exposición.

Puede entonces señalarse que la formación de la acrilamida a partir de aminoácidos libres, concretamente a través de la asparagina, está directamente relacionada con la reacción de Maillard, donde los aminoácidos reaccionan con compuestos carbonilos durante el calentamiento (*Moreno et al., 2007*). La reacción de Maillard, como ya se ha señalado, se describe como un proceso no enzimático de pardeamiento que genera una serie de compuestos que aumentan el sabor y el olor de los alimentos (*Stadler y Scholz, 2004*).

Durante este proceso los aminoácidos libres reaccionarán con los azúcares como glucosa, fructosa y lactosa dando lugar a los productos de la reacción de Maillard. Debe señalarse que se ha demostrado que la fructosa forma más cantidad de acrilamida que la glucosa.

La reacción de Maillard engloba un conjunto muy complejo de reacciones químicas que provocan modificaciones en el color y aroma de los alimentos, siendo las causantes de las características organolépticas y de coloración que definen ciertos alimentos. La supresión de estos compuestos no es posible pues implicaría modificar las rutas químicas a partir de las cuales se forman los sabores, los olores y las demás características de los nutrientes. Los productos mayoritarios de estas reacciones son moléculas que aportan aroma y sabor pero que también pueden ser cancerígenas, como es el caso de la acrilamida. Por último, debe señalarse que el tipo de aminoácido que interviene en la reacción determinará el sabor obtenido.

Por tanto, a partir de la asparagina y de los azúcares reductores se forma la denominada base de Schiff, que puede reaccionar a través de diferentes mecanismos hasta que se produce la acrilamida. El paso clave de la reacción es la descarboxilación de la base de Schiff formándose los intermediarios de la Reacción de Maillard, los cuales podrán liberar directamente acrilamida o indirectamente a través de la acción de su precursor 3-aminopropionamida (Moreno *et al.*, 2007)(Figura 3).

Después de la utilización de un modelo cinético desarrollado para la formación artificial de acrilamida a partir del primer mecanismo mencionado, se observó que la acrilamida no es en realidad el producto final de la reacción de Maillard, sino otro producto intermedio que puede estar sujeto a una reacción de degradación (Knol *et al.*, 2005).

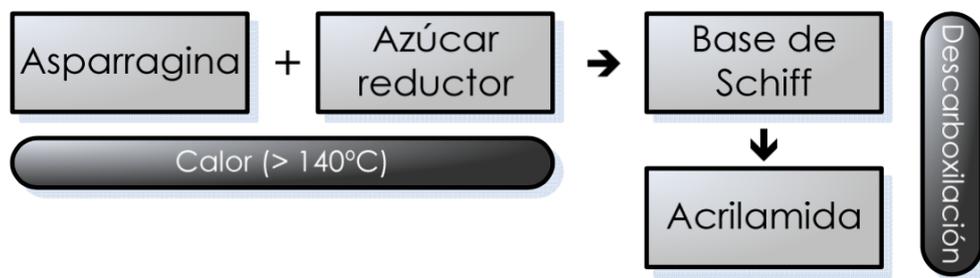


Figura 3. Mecanismo de formación de la acrilamida (Molina, 2015)

4.2. Tratamientos térmicos y su problemática

En la creación de acrilamida intervienen diversos factores como ya se ha señalado, pudiendo destacar entre éstos, la cantidad y el tipo de carbohidratos presentes, el tipo de aminoácidos concurrentes y la presencia de precursores. Pero a pesar de ello, se ha concluido que en la aparición de esta sustancia son determinantes también otros factores más controlables como son la temperatura de cocción y los tiempos a los que están sometidos los alimentos en los distintos tratamientos térmicos, es decir, la relación tiempo-temperatura del proceso (*Tareke et al., 2002*).

Se ha podido constatar que es a partir de temperaturas de 100°C cuando se desencadena la reacción química si bien hay indicios de que la síntesis de acrilamida se acelera con temperaturas superiores a los 140°C. En determinados procesos de cocinado como son la fritura o el horneado, estas elevadas temperaturas se alcanzan muy fácilmente, pudiendo señalarse que esto ocurre no solo en procesos de cocinado industrial sino también en aquellos que se producen en el ámbito doméstico. Por el contrario, en el proceso de cocción no se genera este compuesto ya que no se supera la temperatura de 100°C (*Masson et al., 2007*).

La formación de la acrilamida no se produce de manera uniforme en el alimento tras ser sometido a algún tratamiento térmico, pudiendo señalarse que se encontrará principalmente en la superficie, que es la zona donde mayor temperatura alcanzará en el menor tiempo y a partir de la cual se desencadena la síntesis de este compuesto. A diferencia de ello, generalmente el interior del alimento no alcanza la temperatura mínima para iniciar la reacción desencadenante.

Se da pues una correlación lineal entre la temperatura de cocinado, la duración del proceso y el índice de pardeamiento que adquieren los distintos alimentos, así como con las etapas iniciales de la Reacción de Maillard con la formación de pirazinas (*Navarro et al., 2007*). Algunos científicos incluso aseguran que el índice de pardeamiento de los alimentos se considera como un indicador fiable y práctico de la concentración de acrilamida presente en los alimentos (*Isleroglu et al., 2012*) y que con base en este indicador pueden desarrollarse técnicas fiables, rápidas y de bajo coste para la inspección en la propia línea de procesado (*Mongol y Gökmen, 2014*).

Se concluye entonces que uno de los factores más relevantes, si no el que más, en la formación de la acrilamida es la temperatura.

Se ha comprobado, a través de diferentes estudios realizados, que tras someter los alimentos a procesos térmicos que alcanzan elevadas temperaturas, hay unos alimentos que presentan un nivel moderado de acrilamida, de entre 5 - 50 $\mu\text{g kg}^{-1}$, como es el caso de productos ricos en proteínas.

Sin embargo, aquellos productos alimenticios con un elevado contenido en carbohidratos, como patatas, algunas raíces, cereales y sus derivados, presentan niveles de acrilamida más elevados, de entorno a 150-4000 $\mu\text{g kg}^{-1}$.

Y cuando los alimentos se someten a temperaturas menos elevadas, por ejemplo alimentos hervidos, no existe presencia de acrilamida o se observan niveles muy bajos que no se alcanzan la temperatura suficiente para desencadenar la reacción de Maillard (*Tareke et al., 2002*).

Por todo lo expuesto se concluye que las altas temperaturas influyen de manera directa y determinante en la producción de acrilamida en los alimentos, hecho que se ha constatado con los experimentos que se han llevado a cabo “in vitro” en cultivos de células de mamíferos e “in vivo” en ratas.

Estas pruebas han determinado que esta sustancia es cancerígena y por tanto potencialmente puede serlo también en humanos. Además de observarse daños en el material genético de las células utilizadas en los experimentos, se ha podido constatar la aparición de tumores en las ratas que han estado expuestas durante un extenso periodo a la administración de la acrilamida. También se ha observado la posibilidad de producción de daños heredables a nivel genético y cromosomático (*Fungairiño y Isasa, 2004*).

A pesar de los resultados obtenidos en los experimentos realizados en animales o tejidos, se ha concluido que es necesario realizar más estudios y obtener informaciones más concluyentes en el caso de los seres humanos sobre los efectos nocivos que esta sustancia puede tener (*FDA, 2002*).

Entre los posibles efectos provocados por la acrilamida ha podido observarse también un aumento de lesiones de tipo nervioso en aquellos trabajadores que se encuentran en industrias que elaboran productos expuestos a elevadas temperaturas, respecto a otro tipo de trabajadores. La explicación se encuentra en el aire respirado puesto que la acrilamida es un compuesto volátil y las altas temperaturas actúan como precursor (*Fungairiño y Isasa, 2004*).

Por tanto, puede concluirse que existen una serie de factores que influyen en la formación de la acrilamida en los productos alimenticios y que pueden sintetizarse de la siguiente forma:

- Influyen diversos factores, a saber:
 - la cantidad y tipo de carbohidratos y aminoácidos;
 - la presencia de precursores;
 - la relación tiempo-temperatura del proceso (*Tareke et. al, 2002*).
- La asparagina es el aminoácido causante de la reacción (*Zyzak et al., 2003*).
- Los azúcares de cadena más corta presentan mayor reactividad (*Zyzak et al., 2003*).
- Se ha podido demostrar que “la fructosa forma más cantidad de acrilamida que la glucosa en tiempos de calentamiento comparables, debido a que durante el calentamiento los azúcares deben solubilizarse para reaccionar con la asparagina” (*Van Der Fels-Klerx et al., 2014*).
- En la reacción de Maillard, la generación de acrilamida comienza por encima de los 120°C y se acelera a partir de 150°C (*Masson et al., 2007*).

- El índice de pardeamiento se considera como un indicador fiable y práctico de la concentración de acrilamida (*Isleroglu et al., 2012*) en el que basar técnicas fiables, rápidas y de bajo coste para la inspección en la propia línea de procesado (*Mogol y Gökmen, 2014*).

i. Influencia en las patatas fritas

Los factores determinantes en la cinética de formación de la acrilamida son:

- la composición de las patatas y
- las variables de proceso.

Con respecto a las patatas estas aportan los precursores en una determinada concentración que dependerá de la variedad utilizada, de las condiciones del suelo, así como del periodo de cosecha y las condiciones de almacenamientos postcosecha (*Low MY et al., 2006*). En cuanto a las variables del proceso, estas son la temperatura del aceite, el tiempo de cocinado, y ciertas propiedades de la patata como pH, actividad de agua, capilaridad y porosidad (*Surdyk et al., 2004; Gertz et al., 2003*).

En cuanto al tipo de aceite utilizado, así como su estado de oxidación e hidrólisis no tienen un impacto significativo en la producción final de acrilamida en el alimento (*Gertz, et al., 2003*).

Pero se ha visto que en las patatas fritas inglesas (*chips*) aumenta la concentración en acrilamida hasta diez veces más cuando están expuestas a temperaturas de 150°C en aceite usado en comparación con el mismo producto en aceite fresco (*Dunovska, et al., 2004*).

La temperatura junto con el tiempo son los precursores que mayor impacto tienen en la cantidad de acrilamida que se formara en las patatas (*Matthäus et al., 2004; Pedreschi et al., 2005*). Además, la producción final de acrilamida también dependerá de la cantidad de asparagina, azúcares reductores, ya que las patatas fritas, como materia prima, no contienen acrilamida (*Olsson et al., 2004; Williams, 2005*).

La distribución de la temperatura no es regular en la patata por tanto el contenido de acrilamida tampoco lo es, siendo mayor en el exterior y disminuyendo su contenido hacia el interior de la patata, causado por la resistencia de la matriz a la transferencia de calor por la evaporación del agua, así como al grosor y forma de las patatas. Las elevadas temperaturas dan lugar a una rápida disminución del contenido de humedad de las patatas y por tanto esto favorecerá al aumento del contenido de acrilamida en el producto (*Gökmen et al., 2006*).

El pardeamiento comienza cuando se da esa disminución de la humedad y el aumento de la temperatura, y por ello se piensa que es un factor preponderante en cuanto a la formación de acrilamida en la patata (*Ishihara et al., 2006*). Además, por encima de 150°C la formación de acrilamida aumenta significativamente al acelerarse la reacción de Maillard (*Dunovska et al., 2004*).

II. Influencia en panificación

Se han realizado análisis donde se muestra que el contenido de asparagina libre en los cereales está sujeto a control genético, pero a su vez se ve afectado por el entorno que rodea a los cereales, es decir, año de la cosecha, país de origen, plagas, etc. (*Molina, 2015*).

El contenido de asparagina libre en el grano está directamente relacionado con un mayor rendimiento de salvado en la molienda. En el caso de trigo se ha comprobado en el análisis de la molienda de éste, que las fracciones de salvado contienen mayores concentraciones de asparagina que en el caso de las fracciones de harina blanca, circunstancia que también se produce en el caso del centeno (*Curtis et al., 2010*).

Por ello al utilizar los cereales como harinas para la elaboración de pan, este producto se somete a ciertas temperaturas que incrementan el contenido en acrilamida. Aun así, hay que indicar que el pan contiene niveles relativamente bajos en comparación con otros productos como las patatas fritas, pero se ha de tener en cuenta ya que es un producto de consumo muy frecuente en los hogares, además de haberse en elevadas cantidades y se utiliza de formas muy diversas, al fin y al cabo estos productos están muy presentes en la dieta de la gran mayoría de la población (*Bedoya, 2017*).

Es importante tener en cuenta que algunos tipos de pan se utilizan para tostar y por tanto estos tendrán un contenido superior de acrilamida en comparación al pan antes de ser sometido a este proceso de tostado (*Bedoya, 2017*). Un estudio reveló que el contenido en acrilamida en una rebanada de pan blanco antes de ser tostado tenía unos niveles $< 5 \mu\text{g kg}^{-1}$ y posteriormente estos niveles aumentaban al tostarse a 11-161 $\mu\text{g kg}^{-1}$ dependiendo de la coloración del producto final (*Granby et al., 2009*).

A todo lo señalado hay que añadir que se darán variaciones en el contenido en acrilamida en los distintos productos de panificación debido a los agentes de fermentación, así como por el pH antes de hornear la masa de los productos y la intensidad del tratamiento de calor y también puede ser atribuido a las diferencias en cualquiera de los ingredientes utilizados para la elaboración de los diversos productos de panadería (*Govaert, et al., 2007*).

4.3. Problemática ante la digestión gástrica

A continuación, se expondrá cómo se ve afectado el contenido de acrilamida durante la fase gástrica tanto al inicio como al final de esta etapa.

El aumento del contenido de acrilamida tras la fase gástrica puede verse influenciado por los diversos parámetros que intervienen en el proceso de digestión gástrica, tales como el pH ácido del estómago, o el efecto del tiempo y/o de la pepsina que podrían favorecer la liberación de acrilamida en estos alimentos (Romero, 2016).

Según el tipo de alimento el aumento del contenido de acrilamida se dará en una fase u otra de la digestión gástrica. Se ha analizado la variación del contenido de acrilamida tras la fase gástrica y duodenal en matrices similares (patatas fritas tipo *French fries*, patatas *Chips*, galletas dulces y galletas saladas) y se observó que fue claramente dependiente del tipo de alimento. De tal manera que el contenido de acrilamida en las patatas tipo *French fries* o patatas *Chips* se vio incrementado tras la fase gástrica. Por ello se propuso un mecanismo que está relacionado con la presencia de compuestos intermedios en la reacción de Maillard en el alimento, que, a causa del pH ácido del estómago, favorecen la liberación de acrilamida (Hamzalıoğlu y Gökmen, 2015).

Esto apunta a que productos intermedios formados a partir de la asparagina y los azúcares reductores durante el tratamiento térmico, sean precursores potenciales de la acrilamida en condiciones gástricas. En un estudio se observó que la liberación de acrilamida se producía en unas matrices rápidamente al inicio de la fase gástrica y en otras de manera más lenta (Romero, 2016).

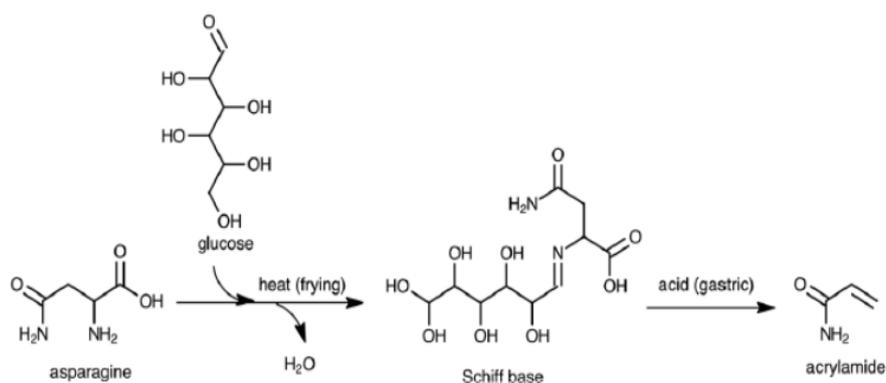


Figura 4. Propuesta del mecanismo de formación de acrilamida durante la digestión gástrica *in vitro* a partir de los precursores asparagina y glucosa (Hamzalıoğlu y Gökmen, 2015).

Según una serie de resultados los cambios en el aumento de acrilamida durante el proceso de digestión gástrica se producen durante los primeros minutos y el cambio de pH tiene lugar en esta etapa y podría ser el responsable de los cambios producidos en el contenido de acrilamida (Romero, 2016) (Figura 4).

Se ha podido confirmar que el pH es responsable del aumento de la acrilamida a partir de un análisis donde se utilizaban dos muestras una de ellas con pepsinas y la otra sin ellas, de manera que se mostraron niveles de acrilamida similares entre la muestra digerida durante el mismo tiempo con pepsinas (Romero, 2016).

Además, estudiando el contenido en acrilamida tras cada etapa gastrointestinal, se ha visto que hay un aumento del 295% tras la fase gástrica comparado con el contenido inicial de acrilamida en patatas fritas, demostrando así que el pH es responsable de estos cambios en el contenido de acrilamida durante el proceso gástrico (Hamzalıoğlu y Gökmen, 2015).

Mientras que durante la digestión duodenal no se ha observado un aumento del contenido en acrilamida sino todo lo contrario, los niveles disminuyeron significativamente durante los primeros quince minutos y se mantuvieron constantes hasta el final de esta fase (Romero, 2016).

En general los estudios llevados a cabo muestran que la acrilamida se absorbe a través de todas las vías de exposición disponibles, pero aun así se sugiere que la más completa es por medio de la vía oral (Erkekoğlu et al., 2010).

La distribución de la acrilamida en los tejidos del cuerpo humano no se ve afectada ni por la dosis ni por la vía de administración. Pero debido a la elevada solubilidad de la acrilamida y de su metabolito la glicidamida en el agua, este compuesto, junto con su metabolito, se distribuye ampliamente por todos los tejidos corporales incluyendo la leche materna y la placenta (Erkekoğlu et al., 2010; Schettgen et al., 2004).

La mayor concentración de acrilamida se observa en el corazón seguido por las glándulas tiroides además de estómago, cerebro, bazo, ... etc. (Kim et al., 2015).

Por todo ello es importante saber cómo afecta el proceso gástrico en el aumento de la concentración de acrilamida ya que ésta afecta al sistema nervioso y es neurotóxica.

4.4. Soluciones y propuestas para mitigar, reducir o eliminar la acrilamida en los alimentos

Se van a exponer en el siguiente apartado diferentes métodos para mitigar, reducir y eliminar la acrilamida de los productos alimentarios. Mediante leyes que explican cómo se ha de abordar esta cuestión, así como también la utilización de ciertas prácticas las cuales han sido probadas y se ha demostrado que son eficaces para reducir este problema de la acrilamida.

I. Leyes y recomendaciones

Desde el punto de vista legal, y a nivel de la industria alimentaria en el caso de la Unión Europea (UE), consideraron aplicar buenas prácticas a lo largo de todo el proceso de elaboración de determinados alimentos, principalmente aquello donde el contenido de acrilamida era relevante y que estas prácticas fueran efectivas y capaces de reducir la formación de acrilamida en el producto final (AESAN, 2020).

De modo que la Comisión Europea respaldó una serie de medidas voluntarias para la industria denominadas Caja de Herramientas de Acrilamida (*Acrylamide Tool Box*) para que las diferentes industrias alimentarias las tengan en cuenta en sus sistemas de análisis de Peligro y Puntos Críticos de Control (APPCC) (FDE, 2019). Esta Caja de Herramientas fue elaborada por la asociación europea *Food and Drink Europe* y colaboraron autoridades nacionales y la Comisión Europea.

3 de 20 de noviembre de 2017 por el que se establecen medidas de mitigación y niveles de referencia para reducir la presencia de acrilamida en los alimentos (EEE, 2017).

En este Reglamento se incluye unos Códigos de Prácticas (CoP) vinculantes y que encaminan a la reducción de los niveles de acrilamida en los productos que se ponen a disposición de los consumidores que van a ser directamente consumidos o incluso para aquellos que cocinen en sus hogares. El Reglamento también dispone de unos valores de referencia para detectar la presencia de acrilamida en los productos alimenticios.

En cuanto a los valores de referencia mencionados son utilizados como referencia en el proceso de producción de los alimentos además de ser indicadores de la eficacia de las medidas de mitigación adoptadas por los operadores económicos.

Hay que indicar que la superación de estos valores de referencia no implica un problema de salud a diferencia de los límites máximos que si se alcanzan estos es obligatorio realizar una revisión inmediata del proceso de elaboración, así como las medidas de mitigación utilizadas (AESAN, 2020).

En el caso de la AESAN (Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición) en el 2015 elaboró una serie de recomendaciones a nivel nacional para el cocinado con el fin de reducir el contenido de acrilamida en los alimentos. Posteriormente en el 2018 estas recomendaciones fueron revisadas y mejoradas después de publicarse un informe del Comité Científico de la AESAN sobre los criterios de seguridad que limiten la exposición a acrilamida producida por la fritura (AESAN, 2020).

Finalizaremos este apartado diciendo que los distintos Reglamentos y recomendaciones mencionados se centran en la industria alimentaria más que en el ámbito del hogar y a nivel individual.

II. Medidas prácticas para mitigación y reducción

En este apartado se comentarán diferentes medidas a nivel experimental que ayudan a reducir y mitigar la formación de acrilamida en los alimentos, debido a su exposición a elevadas temperaturas a causa de los procesos de producción por los cuales tienes que pasar para así obtener los distintos productos finales.

A continuación, se va a mencionar y explicar diferentes pretratamientos que reducen significativamente el contenido de acrilamida en algunos alimentos:

A. Escaldado

Mediante esta operación se eliminan por lixiviación o se reducen significativamente los azúcares reductores (Nuñez, 2001), los cuales participan activamente en la formación de la acrilamida.

La reducción del contenido de azúcares reductores por escaldado podrían disminuir la concentración de acrilamida cerca de un 60% en el caso de las patatas chips (Haase et al., 2003). Realizando un tratamiento térmico a baja temperatura (120 °C) junto con la operación de escaldado en agua caliente antes de realizar la fritura, se reduce drásticamente el contenido de acrilamida en las patatas chips. Esta técnica redujo la concentración de acrilamida en 68 %, 75 % y 49 % a temperaturas de 120 °C, 150 °C y 180 °C respectivamente (Pedreschi et al., 2005).

B. Inmersión

Todo tratamiento relacionado con inmersiones en el caso de las patatas *chips* contribuyen a la reducción de aminoácidos lo cual es positivo desde el punto de vista de la disminución del contenido de acrilamida, pero a nivel organoléptico afecta de forma negativa ya que afectaría a los componentes que determinan la calidad sensorial (Ishihara et al., 2006).

Por tanto, mediante este tipo de pretratamiento se debería tener en cuenta no solo que es beneficioso en cuanto a la reducción de acrilamida en el alimento, sino que habría que buscar alguna forma para que no afectara de manera tan negativa a nivel organoléptico. En este caso se tendría que realizar inmersiones en agua a una temperatura alta pero no durante tiempos tan prolongados.

C. Acidificación

La acidificación es otro de los pretratamientos de interés ya que el pH es determinante en el porcentaje y grado de formación de los productos de la reacción de Maillard (*Namiki, 1988*).

Está claro que el mecanismo de reducción de acrilamida en un medio ácido es la conversión del grupo α -amino nucleofílico libre desprotonado a amino no nucleofílico protonado (*Jung et al., 2003*).

Por tanto, es posible inducir a la reducción del contenido de acrilamida en alimentos que se exponen a procesos de fritura empleando ácido cítrico o aceite de fritura que lo contenga (*Gertz et al., 2003*).

Aun así, hay que indicar que a escala industrial este pretratamiento se realiza algunas veces para estabilizar el color. Por ello esta adición de ácido cítrico no siempre será un paso añadido con el fin de disminuir el contenido de acrilamida en el alimento (*Masson et al., 2007*).

D. Empleo de presiones reducidas en la fritura

El empleo de esta técnica en la elaboración de patatas chips también sirve para reducir el contenido de acrilamida en el producto final.

Se ha observado que el efecto de la temperatura sobre la formación de acrilamida es menos dramático para fritura usando esta técnica de presión reducida ya que las temperaturas empleadas para este estudio utilizadas eran más bajas (118 °C, 125°C y 140°C) (*Granda et al., 2004*).

De hecho, con este método se ha obtenido una reducción de acrilamida del 94 %, a una temperatura de fritura de 118°C y con una presión reducida de 16,661 kPa, con resultados sensoriales deseables en textura y color (*Masson et al., 2007*).

Por tanto, se puede decir que esta técnica es muy útil a la hora de reducir el contenido de acrilamida en productos que se exponen a elevadas temperaturas mediante la fritura. Ya que los tratamientos térmicos son los principales causantes de la formación de acrilamida en productos como las patatas, pan, galletas etc.

E. Selección de materias primas con bajo contenido en asparagina y/o azúcares reductores

Desarrollar variedades de patatas y trigos con concertaciones inferiores de azúcares reductores.

La privación de azufre en los cultivos aumenta el contenido en asparagina en los granos. A su vez una mayor disponibilidad de nitrógeno provoca un aumento de los niveles de asparagina (*Pedreschi et al., 2014*).

Por tanto, sería útil realizar un estudio de cómo obtener variedades con menor contenido en estos dos compuestos ya que son precursores en la formación de acrilamida. Además, desde el punto de vista agronómico mejorar las prácticas de cultivo de tal forma que obtengamos un equilibrio en cuanto al azufre, así como el nitrógeno.

F. Control y adicción de otros ingredientes

En este caso, el uso de harina con un elevado grado de extracción es mejor ya que están contendrán menos asparagina a diferencia de las harinas integrales.

Los productos de panadería y en galletas se recomienda utilizar leudantes (gasificantes) a base de potasio o sodio como remplazo del amonio ya que esta sustancia potencia la formación de acrilamida (*Mesías et al., 2019*).

G. Utilización de asparaginasa

La asparaginasa es una enzima capaz de descomponer la asparagina en ácido aspártico y amoniaco. De esta forma se evita que la asparagina reaccione con los azúcares reductores para formar la acrilamida (*Mesías et al., 2019*).

Esta enzima tiene el potencial de lograr reducir en un 60-90 % el contenido de acrilamida en ciertos productos de pastelería.

H. Fermentación

La fermentación mediante levaduras o bacterias de ácido láctico es otro de los procedimientos que reduce de manera significativa los azúcares reductores y por tanto limita a su vez la formación de acrilamida (*Molina, 2015*).

III. Formas de reducir el consumo a nivel individual

Las autoridades no han recomendado ninguna modificación en el ámbito alimentario de la población, pero sería aconsejable reducir el consumo de ciertos alimentos que contenga acrilamida.

A continuación, se mencionará una serie de propuestas que ayuden a los individuos a reducir el consumo de algunos alimentos y así como formas de sustituir ciertos cocinados los cuales favorecen a una mayor formación de acrilamida.

Tratar de llevar una dieta equilibrada y lo más sana posible. Los alimentos empleados en nuestras dietas deben ser lo menos procesados posibles, es decir, que sean naturales y frescos.

Además, se ha de tener en cuenta que los más expuestos a este compuesto son los infantes, bebés y adolescentes ya que consumen en mayor medida alimentos como patatas fritas y derivados, galletas y productos a base de cereales.

No obstante, y como ya se ha mencionado, siempre que se siga una dieta normal y variada donde haya una limitación en cuanto al consumo de estos alimentos, a este grupo de población no le afectaría de forma negativa a la salud.

Luego, a nivel individual en el hogar se recomienda elaborar los alimentos de la siguiente forma para reducir la formación de acrilamida en ellos (*EUFIC, 2014*):

- No tostar demasiado los alimentos o quemarlos al freírlos.
- Intentar sustituir el proceso de fritura y horneado por hervir los alimentos.
- Consumir pan tostado con un color claro en lugar de un marrón oscuro. No consumir las zonas más oscuras.
- En el caso de cocinar patatas en rodajas como patatas fritas, intentar que tengan un color amarillo dorado en lugar de color marrón.
- Tratar de consumir alimentos con un bajo contenido en asparagina y/o azúcares reductores.

En conclusión, hay que evitar consumir alimentos que tengan un pardeamiento muy oscuro ya que es sinónimo de un mayor contenido de acrilamida principalmente en su superficie. A su vez también se recomienda sustituir todo proceso de elaboración donde se empleen elevadas temperaturas, ya que favorecen la formación de acrilamida debido a que las temperaturas superiores a 100°C desencadenan la reacción de Maillard; siempre será mejor utilizar el hervido como método de cocinado.

5. Conclusiones

Tras investigar y analizar toda la información disponible sobre cómo la acrilamida se ve afectada por factores como la temperatura y la digestión gástrica, además de desarrollar los diferentes objetivos propuestos en el presente Trabajo de Fin de Grado, las conclusiones extraídas serían las siguientes:

1.

Los alimentos que contribuyen a una mayor exposición a la acrilamida son aquellos que contienen almidón, es decir, las patatas junto con sus derivados, los cereales, la bollería y productos relacionado con la panificación.

Por ello, se debería de hacer un consumo responsable de estos alimentos además de elaborarlos de una forma a través de la cual no estén expuestos a tratamientos térmicos excesivamente elevados.

2.

La legislación actual tanto a nivel nacional como europeo propone únicamente recomendaciones para la mitigación de la formación de acrilamida, y ha establecido unos niveles de referencia en los productos alimentarios que no son de obligado cumplimiento, es decir, las industrias elaboradoras de productos que contienen acrilamida -tanto por el tipo de alimento como por su forma de elaboración- no tienen una responsabilidad legal en cuanto a cumplir con estos niveles de referencia de acrilamida en los productos finales.

Por tanto, en este caso sería necesario contar con una legislación donde los niveles de referencia en los distintos alimentos fueran de obligado cumplimiento. Estas leyes podrían ser redactadas entre la Comisión Europea junto con la industria alimentaria, así como con científicos expertos en esta área.

3.

Se ha constado después de realizar diferentes estudios que la acrilamida presente en los alimentos aumenta el riesgo de padecer un cáncer sin importar la edad, es decir, afecta a todos los individuos por igual. Eso sí, los niños son el grupo más expuesto, no por la edad sino por su peso corporal.

Entonces, sabiendo que la gran mayoría de alimentos que consumimos presentan acrilamida en mayor o menor medida, no sólo se ha de tener en cuenta que la población siga una dieta normal y variada, sino que tenemos que poner el foco en realizar más estudios de cómo afecta esta exposición de acrilamida en los seres humanos, ya que la mayoría de los datos obtenidos son en estudios en animales, es decir, se debería invertir en investigaciones de cómo evoluciona la acrilamida en la población.

4.

En cuanto a la posibilidad de que se den unos efectos nocivos de la acrilamida sobre el sistema nervioso debido a la ingesta de alimentos que contenga este compuesto no se ha considerado importante. Aun así, al igual que en el punto tres, sería recomendable seguir realizando investigaciones en torno a este problema ya que no se ha obtenido suficiente información.

Hemos de indicar que en el caso de los trabajadores que se encuentran en contacto con los gases generados durante la elaboración de productos con contenido de acrilamida, sí se han visto afectados, generando problemas al sistema nervioso debido a la inhalación. Por tanto, se tendría que redactar alguna normativa donde se diera una mayor protección a los trabajadores en la industria alimentaria.

5.

Se deberían obtener más datos sobre la toxicidad de la acrilamida, ya que no hay suficientes estudios donde se recoja de forma clara el efecto que puede causar este componente en el ser humano.

Por ello, es conveniente que las autoridades difundan información sobre este compuesto, así como claves para que las personas sepan cómo tratar de reducir y/o mitigar el consumo y formación de la acrilamida.

6.

Después de todo lo analizado en cuanto a la problemática de la acrilamida, el factor más determinante es la temperatura ya que causa un aumento bastante significativo de este compuesto en el producto final.

Por consiguiente, la forma de reducir la concentración de este compuesto es sometiendo a los alimentos a diferentes pretratamientos, como puede ser la acidificación y también el trabajar con presiones reducidas. Aun así, se debe de seguir investigando métodos que sean capaces de eliminar casi al completo la acrilamida formada en el producto final, sin afectar de forma negativa a las características organolépticas de nuestros alimentos.

6. Referencias bibliográficas

- Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN). (2022). (Enlace: https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/web/seguridad_alimentaria/subdetalle/acrilamida.htm). **Fecha ultima de visualización: 06/22**
- Amrein, T.M.; Bachmann, S.; Noti, A. (2003). Potential of acrylamide formation, sugars and free asparagine in potatoes: a comparison of cultivars and farming systems. *J Agric Food Chem*, 51: 5556-5560. **Fecha ultima de visualización: (05/22)**
- Dunovská, L.; Hajlová, J.; Ajka, T.; Holadová, K.; Hájková, K. (2004). Changes of acrylamide levels in food products during technological processing. *J. Food Sci*, 2: Special Issue, 283-286. **Fecha ultima de visualización: (04/22)**
- Erkekoğlu, P. y Baydar, T. (2010). Toxicity of acrylamide and evaluation of its exposure in baby foods. Cambridge Univ Press. *Nutrition research reviews*, 23: 323-333. **Fecha ultima de visualización: (03/22)**
- European Food Information Council (EUFIC).(2014). Consejo Europeo sobre Información Alimentaria. (Enlace: <https://www.eufic.org/en/>). **Fecha ultima de visualización: (03/22)**
- Molina, E. (2015) EVALUACIÓN DEL RIESGO DE EXPOSICIÓN ALIMENTARIA A ACRILAMIDA EN ESPAÑA. **Fecha ultima de visualización: (07/22)**
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). (2002). Consultation on Health Implications of Acrylamide in Food, Geneva. **Fecha ultima de visualización: (07/22)**
- FOOD AND DRUG ADMINISTRATION (FDA). (2002). FDA Draft Action Plan for Acrylamide in Food U.S. Department of Health and Human Services. U.S. Food and Drug Administration. *Center for Food Safety and Applied Nutrition*. **Fecha ultima de visualización: (06/22)**
- Food and Drink Europe (FDE). (2019).(Enlace: https://www.fooddrinkeurope.eu/wp-content/uploads/2021/05/FoodDrinkEurope_Acrylamide_Toolbox_2019.pdf) **Fecha ultima de visualización: (07/22)**
- FUNGAIRIÑO, L. V. y ISASA, E. T.(2004). IV. Tratamientos industriales y culinarios como causa de sustancias tóxicas alimentarias. **Fecha ultima de visualización: (06/22)**
- 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. **Fecha ultima de visualización: (05/22)**

-Gökmen, V.;Palazo lu, T.; Fienyuva, H. (2006). Relation between the acrylamide formation and time–temperature history of surface and core regions of French fries. *Journal of Food Engineering*, 77: 972–976. **Fecha ultima de visualización: (07/22)**

-Govaert, Y.; Arisseto, A.; Van Loco, J.; Scheers, E.; Fraselle, S.; Weverbergh, E.; Goeyens, L. (2006). Optimisation of a liquid chromatography–tandem mass spectrometric method for the determination of acrylamide in foods. *Analytica Chimica*, 556: 275–280. **Fecha ultima de visualización: (06/22)**

-Granda, C.; Moreira, R.G.; Tichy, S.E. (2004). Reduction of acrylamide formation in potato crisps by low-temperature vacuum frying. *Journal of Food Science*, 69 (8): 405-411. **Fecha ultima de visualización: (07/22)**

-Haase, U.N.; Matthaus, B.; Vosmann, K. (2003). Acrylamide formation in foodstuffs - Minimising strategies for potato crisps. *Deutsche Lebensm. Rund*, 99 (3): 87-90. **Fecha ultima de visualización: (04/22)**

-Hamzalıođlu, A. y Gökmen, V. (2015). Investigation of the reactions of acrylamide during in vitro multistep enzymatic digestion of thermally processed foods. *Food & Function*, 6(1): 109–14. **Fecha ultima de visualización: (04/22)**

-Romero, I. (2016). EVOLUCIÓN DEL CONTENIDO EN ACRILAMIDA DURANTE EL PROCESO DIGESTIVO DE DISTINTOS ALIMENTOS.
https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/69356/TFM%20Isabel%20Romero%20anchez_14673879870666864157193386015621.pdf?sequence=1&isAllowed=y
Fecha ultima de visualización: (06/22)

-Ishihara, K.; Matsunaga, A.; Nakamura, K.; Sakuma, K.; Koga, H. (2006). Examination of conditions inhibiting the formation of acrylamide in the model system of fried potato. *Biosci. Biotechnol. Biochem*,70(7): 1616-1621. **Fecha ultima de visualización: (04/22)**

-Isleroglu, H.; Kemerli, T.; Sakin-Yilmazer, M.; Guven, G.; Ozdestan, O. Uren, A; Kaymak-Ertekin, F. (2012). Effect of Steam Baking on Acrylamide Formation and Browning Kinetics of Cookies. *Journal of Food Science*, 77(10): E257-E263. **Fecha ultima de visualización: (05/22)**

-Jung, M.Y.; Choi, J.; Ju, J.W. (2003). A novel technique for limitation of acrylamide formation in fries and baked corn crisps and in French fries. *Journal food science*, 68 (4): 1287-1290. **Fecha ultima de visualización: (07/22)**

-Kim, H.T.;Shin,S.; Kim, K.B.; Seo, W.S.; Shin, J.; C;Choi, J.H.; Weon, K.Y.; Joo, S.H.; Jeong, S.W.; Shin, B.S. (2015). Determination of acrylamide and glycidamide in various biological matrices by liquid chromatographytandem mass spectrometry and its application to a pharmacokinetic study. *Elsevier. Talanta*, 131: 46-54. **Fecha ultima de visualización: (07/22)**

- Granby, K.; Nielsen, J.N.; Rikke, V.H.; Christensen, T.; Kann, M. & Leif, H.S. (2009). Pages 921-929.

Fecha ultima de visualización: (07/22)

-Knol, J.J.; Van Loon WA, M.; Linssen, J.P.H.; Ruck, A.L.; Van Boekel, M.A.J.S.; Voragen, A.G.J. (2005) Toward a kinetic model for acrylamide formation in a glucose-asparagine reaction system. *J. Agric. Food Chem*, 53(15): 6133-6139. **Fecha ultima de visualización: (06/22)**

-Asociación Española de Toxicología (AETOX). (2007). La acrilamida, contaminante químico de procesado: Revisión. *Revista de Toxicología*, 24: 1-9. **Fecha ultima de visualización: (04/22)**

-Low, M.Y.; Koutsidis, G.; Parker, J.; Elmore; Dodson, A.; Mottram, D. (2006). Effect of citric acid and glycine addition on acrylamide and flavor in a potato model system. *J. Agric. Food Chem*, 52: 7011-7016. **Fecha ultima de visualización: (04/22)**

-Maan, A. A.; Anjum, M. A.; Khan, M. K. I.; Nazir, A.; Saeed, F.; Afzaal, M.; Aadil, R. M. (2022). Acrylamide Formation and Different Mitigation Strategies during Food Processing. *Food Reviews International*, 38(1): 70-87.

<https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1719505>

Fecha ultima de visualización: (06/22)

-Masson, L.; Muñoz, J.R.; Romero, N.; Camilo, C.; Encina, C.; Hernández, L.; Castro, J.; Robert, P. (2007). Acrylamide in fried potatoes. *Grasas y Aceites*, 58(2): 185-193. **Fecha ultima de visualización: (07/22)**

-Matthaüs, B.; Haase, N.; Vosmann, K. (2004). Factors affecting the concentration of acrylamide during deepfat frying of potatoes. *Eur. J. Lipid Sci. Technol*, 106: 793-801. **Fecha ultima de visualización: (05/22)**

-Mesías, M.; Delgado-Andrade, C.; Morales, F.J. (2019). Matrices alimentarias alternativas para formulaciones de snacks en términos de formación y mitigación de acrilamida. *J Sci Food Agric*, 99: 2048-2051. **Fecha ultima de visualización: (06/22)**

- Navarro, M.; Armendáriz, C.; Gutiérrez Fernández, A.J.; Fernández, A.M.; Hardisson de la Torre, A. (2007). Acrilamida, contaminante químico de procesado. *Revista de Toxicología Asociación Española de Toxicología*, 24: 1-9. **Fecha ultima de visualización: (05/22)**

-Mottram, D. S.; Wedzicha B. L.; Dodson, A. T. (2002). Food chemistry: acrylamide is formed in the Maillard reaction. *Nature Publishing Group. Nature*, 419: 448-449. **Fecha ultima de visualización: (04/22)**

-Namiki, M. (1988). Chemistry of Maillard reactions: Recent studies on the browning reaction mechanism and the development of antioxidants and mutagens. *Food Res*, 32: 115-84. **Fecha ultima de visualización: (07/22)**

-Núñez, H. (2001). Calidad en la producción de papas fritas. Presente y perspectivas de la industria de snacks en Chile. *Publicaciones Misceláneas Agrícolas*, 50: 41-48. **Fecha ultima de visualización: (05/22)**

-Olsson, K.; Svensson, R.; Roslund, C. (2004). 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*, 84: 447–458. **Fecha ultima de visualización: (06/22)**

-Pedreschi, F.; Mariotti, M.S.; Granby, K. (2014). Problemas actuales en la acrilamida dietética: formación, mitigación y evaluación de riesgos. *J Sci Food Agric*, 94: 9-20. **Fecha ultima de visualización: (05/22)**

-Pedreschi, F.; Moyano, P.; Kaack, K.; Granby, K. (2005). Color changes and acrylamide formation in fried potato slices. *Food Research International*, 38: 1-9. **Fecha ultima de visualización: (04/22)**

-REGLAMENTO (UE) 2017/2158 DE LA COMISIÓN de 20 de noviembre de 2017 por el que se establecen medidas de mitigación y niveles de referencia para reducir la presencia de acrilamida en los alimentos, 2017.

<https://www.boe.es/doue/2017/304/L00024-00044.pdf>

Fecha ultima de visualización: (06/22)

-Schettgen, T.; Kütting, B.; Hornig, M.; Beckmann, M.W.; Weiss, T.; Drexler, H.; Angere, J. (2004). Transplacental exposure of neonates to acrylamide a pilot study. Springer. *International archives of occupational and environmental health*, 77: 213-216. **Fecha ultima de visualización: (05/22)**

-Stadler, R.H.; Scholz, G. (2004) Acrylamide: an update on current knowledge in analysis, levels in food, mechanism of formation, and potential strategies of control. *Nutr Rev*, 62(12): 449-467. **Fecha ultima de visualización: (07/22)**

-Surdyk, N.; Roseän, J.; Andersson, R.; Aman Per. (2004). Effects of Asparagine, Fructose, and Baking. Conditions on Acrylamide Content in Yeast-Leavened Whe at Bread. *J. Agric. Food Chem*, 52: 2047-2051. **Fecha ultima de visualización: (06/22)**

-Swedish National Food Administration (SNFA). (2004). Acrylamide is formed during the preparation of foods. **Fecha ultima de visualización: (04/22)**

-Tareke, E.; Rydberg, P.; Karlsson, P.; Eriksson, S.; Tornqvist, M. (2002). Analysis of acrylamide, a carcinogen formed in heated foodstuffs. *AMER CHEMICAL SOC. Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50: 4998- 5006. **Fecha ultima de visualización: (07/22)**

-UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN. (2012.) **Fecha ultima de visualización: (05/22)**

- Vedoya, V. (2017). Influencia de las condiciones de proceso para la reducción de acrilamida con la adición de compuestos naturales o sintéticos a un producto de panificación frito (donas). Un aporte a la disminución de un riesgo para la salud humana. http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/2569/1/Influencia_con_dicones_proceso_reduccion_acrilamida.pdf

Fecha ultima de visualización: (07/22)

-Williams, J. (2005). Influence of variety and processing conditions on acrylamide levels in fried potato crisps. *Food Chemistry*, 90: 875–881. **Fecha ultima de visualización: (06/22)**

-Zyzak, D. V.; Sanders, R. A.; Stojanovic, M.; Tallmadge, D. H.; Eberhart, B. L.; Ewald, D. K.; Gruber, D. C.; Morsch, T. R.; Strothers, M. A.; Rizzi, G. P.; Villagran, M. D. (2003). Acrylamide Formation Mechanism in Heated Foods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(16): 4782-4787. **Fecha ultima de visualización: (07/22)**
<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jf034180i>