

# UCUENCA

## Universidad de Cuenca

Facultad de Ciencias Químicas

Carrera de Bioquímica y Farmacia

### Toxicidad de acrilamida en café y papas fritas

Trabajo de titulación previo a la  
obtención del título de Bioquímico  
Farmacéutico

**Autor:**

Dalila Fernanda Zúñiga Crespo

**Director:**

Jessica Andrea León Vizñay

ORCID: 0000-0003-4913-1717

**Cuenca, Ecuador**

2023-06-13

## Resumen

La presencia del compuesto químico acrilamida fue descubierto en 2002 y se lo denominó como un agente con posible efecto cancerígeno en seres humanos, desde esa fecha se ha realizado varias investigaciones sobre su formación en alimentos, riesgos en la salud y formas de reducir la cantidad de acrilamida en alimentos que tienen un alto riesgo de formación como lo son las papas fritas, café, y cereales. En abril de 2002, la Administración Nacional de Alimentos de Suecia (NFA) e investigadores de la Universidad de Estocolmo anunciaron el descubrimiento de que este químico altamente reactivo, tóxico y potencialmente cancerígeno se forma en muchos tipos de alimentos preparados/cocidos a temperaturas elevadas

El objetivo del presente estudio fue realizar una revisión bibliográfica sobre la toxicidad de acrilamida en café y papas fritas mediante la revisión de artículos que se obtuvieron de diferentes bases digitales como PubMed, Taylor and Francis, Scopus y Google académico, publicados desde 2012 al 2022. El desarrollo de esta revisión bibliográfica señala los diferentes aspectos que se debe vigilar durante el proceso térmico de alimentos como el café y papas fritas, y considerando los riesgos de salud que puede provocar la acrilamida, se afirma la necesidad de mantener estrategias de reducción de este tóxico en los alimentos tanto de forma industrial como en la doméstica.

*Palabras clave:* acrilamida, formación, toxicidad, papas fritas, café, alimentos.

### Abstract

The presence of chemical compound acrylamide was discovered in 2002 and it was named as an agent with a possible carcinogenic effect in humans, since that date several investigations have been carried out on its formation in food, health risks and ways to reduce the amount of acrylamide in foods that have a high risk of formation such as chips, coffee, and cereals. In April 2002, the Swedish National Food Administration (NFA) and researchers from Stockholm University announced the discovery that this highly reactive, toxic, and potentially carcinogenic chemical forms in many types of foods prepared/cooked at elevated temperatures.

The objective of this study was to conduct a bibliographic review on the toxicity of acrylamide in coffee and potato chips by reviewing articles that were obtained from different digital databases such as PubMed, Taylor and Francis, Scopus and Google Scholar, published from 2012 to 2022. The development of this bibliographical review points out the different aspects that must be monitored during the thermal process of foods such as coffee and chips, and considering the health risks that acrylamide can cause, the need to maintain strategies to reduce this toxin in food both industrially and domestically is affirmed.

*Keywords:* acrylamide, formation, toxicity, french fries, coffee, food.

## Índice

Introducción.....	9
Objetivos de estudio .....	11
1. Marco teórico .....	12
1.1. Acrilamida.....	12
1.2. Reacción de Maillard.....	13
1.3. Formación de acrilamida en Alimentos.....	14
1.3.1. Factores de variación de formación de acrilamida en los alimentos .....	15
1.3.2. Acrilamida en café .....	15
1.3.3. Acrilamida en papas fritas .....	16
1.4. Efectos tóxicos de la Acrilamida .....	17
1.5. Reducción del contenido de acrilamida en café y papas fritas .....	18
1.5.1. Materia prima .....	18
1.5.2. Control/adición de otros ingredientes.....	18
2. Marco metodológico .....	20
2.1. Tipo de investigación .....	20
2.2. Estrategias de búsqueda .....	20
2.3. Evaluación.....	21
3. Resultados y discusión.....	23
3.1. Influencia de la temperatura en la formación de acrilamida .....	23
3.2. Acrilamida en papas fritas.....	25
3.3. Acrilamida en café.....	26
3.4. Efectos de la acrilamida sobre la salud .....	27
3.5. Métodos de reducción del contenido de acrilamida en alimentos .....	30
4. Conclusiones y Recomendaciones.....	33
4.1. Conclusiones.....	33
4.2. Recomendaciones .....	34
Referencias.....	35
Anexos .....	39

## Índice de tablas

Tabla 1 Características físico químicas de Acrilamida .....	12
Tabla 2 Cuadro resumen de efectos de la acrilamida sobre la salud. ....	29

## Índice de figuras

Figura 1 Estructura de la Acrilamida .....	12
Figura 2 Etapas de la reacción de Maillard.....	14
Figura 3 Influencia de la temperatura de fritura y la duración del procesamiento del contenido de acrilamida en papas fritas.....	24

## Dedicatoria

Dedico esta tesis a mi padre y a mi madre Franco e Isabel, a Jonathan, a mis abuelos y a mis mascotas Ulises y Pitufina con todo mi amor.

**Dalila.**

## **Agradecimiento**

Quiero agradecer a madre por estar siempre presente, a mi padre por sus consejos, a mis tíos Gabriel, Víctor y Patricio por su amor y consejos; a mis abuelos Julio y Mariana, por las palabras de aliento que me brindaron en cada etapa de este camino y a Jonathan, gracias porque han sido un pilar fundamental en mi carrera.

Por último y no menos importante, quiero agradecerme por creer en mí y por trabajar duro.



## Introducción

El consumo de alimentos como el café y papas fritas es muy frecuente a nivel mundial, sin embargo, no existe una concientización del riesgo que el mal manejo de la cocción de estos alimentos puede provocar en el ser humano. La acrilamida es un compuesto tóxico que es más conocido a nivel industrial que alimentario, por ende, la población debe estar al tanto no solo de cómo se forma este compuesto en los alimentos sino también la manera en la que se puede evitar la formación de acrilamida antes del consumo de alimentos que tenemos al alcance de manera industrial y doméstica.

La acrilamida se convirtió en un asunto de interés para la salud pública cuando en el 2002 se detectó su presencia en varios alimentos de consumo común; anterior a esto no existían indicios de su existencia. Además de los datos de la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA), los Estados Unidos publicaron datos de un estudio de dieta total realizado en 2005 y 2006; donde el 25% de personas presentaban niveles altos de acrilamida. La presencia de acrilamida en los alimentos se está estudiando intensamente desde el informe original sobre los altos niveles de acrilamida encontrados en los alimentos sometidos a altas temperaturas (Schouten et al., 2020). La acrilamida se encuentra principalmente en alimentos de origen vegetal; los alimentos con almidón tratados térmicamente, como las papas, los cereales y los productos de panadería, contienen altos niveles de acrilamida (Anese, 2016).

Con lo expuesto, se puede acotar que, en abril de 2002, se descubrió que este compuesto tóxico con potencial cancerígeno se formaba en diferentes alimentos durante el proceso de cocción a temperaturas elevadas según la Administración Nacional de Alimentos de Suecia (NFA) e investigadores de la Universidad de Estocolmo (Ramírez, 2016).

Es preocupante la formación natural de acrilamida en el proceso de preparación de ciertos alimentos, ya que se considera un contaminante químico con posibles efectos cancerígenos y genotóxicos en el organismo. Además, uno de los efectos comprobados en humanos es la neurotoxicidad que provoca este compuesto por su alto potencial toxicológico (Anese, 2016) (Rufín et al., 2022)

Se ha observado también que se genera de una asociación entre la reacción de Maillard y el cambio de temperatura durante la cocción de los alimentos, como el café y las papas fritas, en este caso alimentos de estudio para el presente proyecto. Hasta la fecha, no se han establecido

en todo el mundo límites permitidos para el consumo de acrilamida en la dieta (Ayvaz & Rodriguez, 2015).

En la presente investigación se ejecutó una revisión bibliográfica en la que se exponen los principales efectos referentes a la presencia de acrilamida en productos como las papas fritas y el café tostado, así como sus efectos tóxicos para el ser humano. Con el fin de presentar datos que sirvan de referente para el consumo y tratamiento de estos alimentos buscando la reducción de ingesta diaria de acrilamida.

## Objetivos de estudio

### Objetivo general

Realizar una revisión bibliográfica sobre la toxicidad de acrilamida en café y papas fritas

### Objetivos específicos

- Conocer los riesgos al que se exponen los consumidores de papas fritas y café preparado a temperaturas que alcanzan o superan los 120°C.
- Enlistar los posibles problemas de salud que genera el consumo excesivo de acrilamida en alimentos.
- Identificar estrategias para reducir la formación de acrilamida en los alimentos detallados.

## 1. Marco teórico

### 1.1. Acrilamida

La acrilamida también llamada vinil-amida, es un monómero, intermediario químico, de aspecto sólido, color blanco, e inodoro, con un pH que puede variar entre 5.5 - 7.5 (Beltrán et al., 2019). Se encuentra clasificado como un probable cancerígeno según lo manifestado por la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC). Este compuesto generalmente se forma en diversos alimentos tanto asados como fritos que se elaboran a altas temperaturas desde los 120°C hasta los 170°C (Lerda, 2020). Se forma a partir de azúcares reductores como la fructosa y la glucosa y un aminoácido, concretamente la asparagina presente en alimentos ricos en almidón (Paulin et al., 2017). Este proceso es explicado por la reacción de Maillard; como se aborda en el siguiente apartado, en donde la acrilamida pasa por diferentes reacciones hasta ser un agente genotóxico (Chaves et al., 2015).

Este compuesto se polimeriza rápidamente al alcanzar el punto de fusión o al exponerse a la luz ultravioleta (Rúa, 2016). Su estructura se observa dentro de la figura 1.

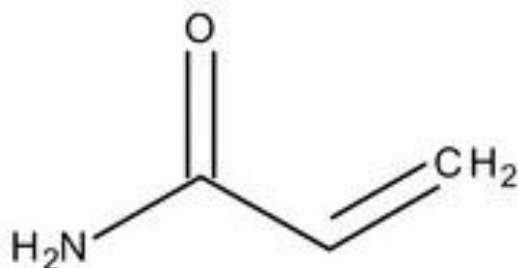


Figura 1 Estructura de la Acrilamida. Fuente (Graciano et al., 2020)

Además, se anota sus principales características físico-químicas, dentro de la siguiente tabla:

<b>Características fisicoquímicas de la acrilamida</b>	
<b>Nombre químico</b>	2-propenamida
<b>Sinónimos</b>	Etilén carboxiamida; amida acrílica; vinil amida
<b>Peso Molecular</b>	71.09 g/mol
<b>Fórmula Química</b>	CH <sub>2</sub> CHCONH <sub>2</sub>
<b>Punto de Ebullición</b>	125°C
<b>Punto de Fusión</b>	87.5°C
<b>Presión de Vapor</b>	1.6 mm Hg a 85°C
<b>Punto de inflamabilidad</b>	138°C
<b>Solubilidad en agua</b>	Miscible

Tabla 1 Características físico químicas de Acrilamida Fuente: (Beltrán et al., 2019)

## 1.2. Reacción de Maillard

La reacción de Maillard es una reacción de pardeamiento no enzimática que involucra una serie de reacciones químicas complejas en las que, una cadena orgánica de azúcares reductores reacciona con un grupo amino libre de un aminoácido o proteína para producir un pigmento marrón color pardo y modificaciones del olor y sabor que puede ser deseables en el caso de fritura, pero que también puede dar lugar a la formación de compuestos indeseables como la acrilamida (Valenzuela & Ronco, 2007).

La formación de acrilamida depende de la presencia de sustratos específicos (principalmente azúcares libres y aminoácidos), así como de variables de tiempo, temperatura y humedad. Se produce más como el tiempo de exposición de los alimentos a alta temperatura (>120°C) y bajo nivel de humedad (Cámara et al., 2017). La reacción de Maillard comprende tres etapas, que incluyen la fase inicial, intermedia y final, se describen así:

- En la etapa inicial, se forma una base de Schiff a través de la reacción de la molécula de carbonilo activo de un azúcar reductor, un lípido oxidado o una vitamina C con el grupo amino libre de una proteína, un péptido o un aminoácido libre, concomitantemente con la liberación de una molécula de agua. Posteriormente, la ciclación de la base de Schiff conduce a la formación de una glucosilamina N-sustituida de baja estabilidad como producto de condensación. Este es el único paso reversible de la reacción de Maillard (Nooshkam et al., 2018).
- En la etapa intermedia, la glucosilamina se reordena a *material requirement planning* (MRP) tempranos más estables, es decir, productos de reordenación de Amadori (ARP, 1-amino-1-deoxi-2-cetosa a partir de azúcares de aldosa) o productos de reordenación de Heyns (HRP, 2-amino-2-deoxialdosa a partir de azúcares de cetosa) (Antunes et al., 2018).
- Posteriormente, los ARP y probablemente los HRP se degradan a compuestos intermedios según el valor del pH del medio de reacción y se observan dos rutas de 1,2-enolización y 2,3-enolización. La primera se realiza a valores de pH  $\leq 7,0$  y los productos correspondientes son hidroximetilfurfural (a partir de hexosas) o furfural (a partir de pentosas), mientras que la segunda es dominante a valores de pH básicos y los productos de degradación correspondientes a partir de ARPs son reductonas (por ejemplo, 4-

hidroxi-5-metil-2,3-dihidrofurano-3-ona (HMFone) y productos de fisión (por ejemplo, acetol, diacetilo y piruvaldehído) (Anese, 2016).

- En la etapa final de la reacción de Maillard, las condensaciones de aldol y aldehído-amina de las reductonas, los productos de fisión y los productos de degradación de Strecker conducen a la formación de polímeros marrones que contienen nitrógeno (3-4% N) y materiales macromoleculares denominados melanoidinas con una absorción máxima a 420 nm (Abs 420 nm). El peso molecular de los MRP, especialmente de las melanoidinas, depende significativamente de la intensidad térmica; la reacción de Maillard en las etapas iniciales forma MRP de bajo peso molecular (LMW) y los períodos de reacción más largos (más de 24h) conducen a la creación de melanoidinas de alto peso molecular (HMW) (Echeverri et al., 2014). En la figura 2 se observa el proceso de forma resumida.

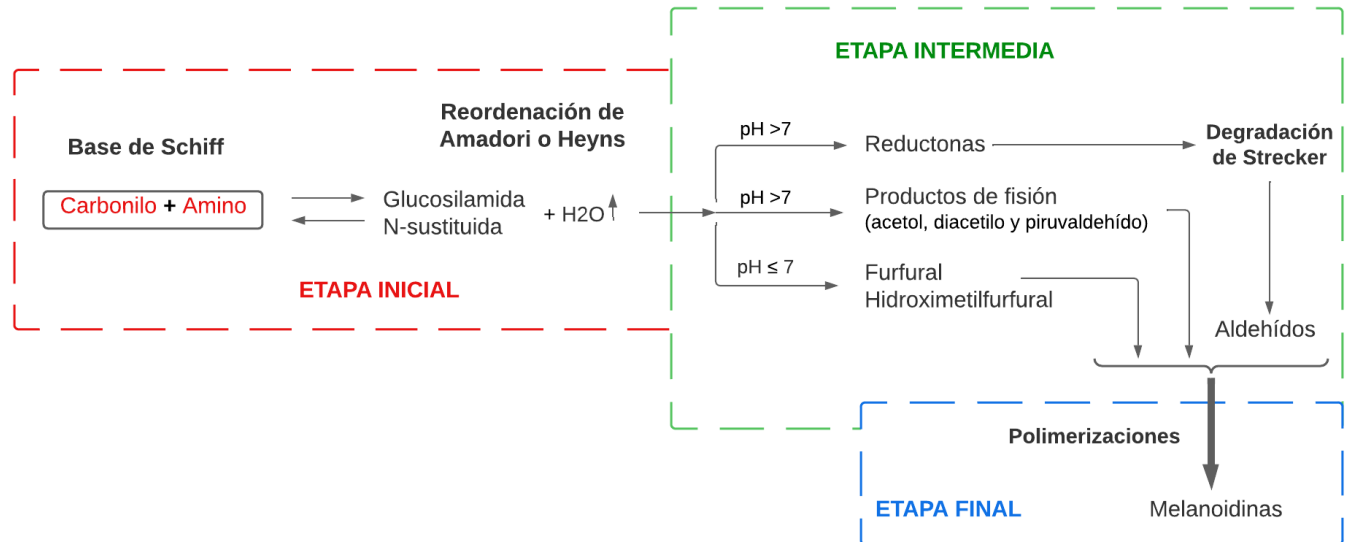


Figura 2 Etapas de la reacción de Maillard. Fuente: Autor

### 1.3. Formación de acrilamida en Alimentos

La acrilamida es un contaminante químico que se genera por un tratamiento térmico de los alimentos de manera natural a partir de la reacción de Maillard entre asparagina y carbohidratos, que son los principales reactantes, estos compuestos se encuentran mayormente en los alimentos vegetales como las papas, cereales, café o el cacao. En consecuencia, estos alimentos son los que generalmente forman acrilamida (Morales et al., 2019). La concentración y la ingesta dietética de los alimentos presentan variaciones significativas, que dependen de los métodos de cocción.

La formación de acrilamida en un alimento se da cuando este sufre un proceso de cocción, sea tostado, horneado o fritura, en donde se utilicen temperaturas óptimas de 180°C, aunque su formación se puede dar desde los 120°C (Uday, 2019).

La formación de acrilamida sigue diferentes rutas en conjunto con el sistema de reacciones de Maillard en los productos alimentarios, donde la ruta de la asparagina es la principal para la formación de acrilamida (Krishnakumar & Visvanathan, 2014).

Las rutas alternativas para formar acrilamida en ausencia de asparagina son las vías de la acroleína y amoníaco, estos compuestos desempeñan un papel importante en los alimentos ricos en lípidos para formar la acrilamida. La acroleína y el ácido acrílico se producen por degradación de lípidos (triglicéridos) sujetos a altas temperaturas, por otro lado, la degradación de aminoácidos con amoníaco puede dar lugar a la formación de acrilamida por descomposición térmica (Krishnakumar & Visvanathan, 2014).

### 1.3.1. Factores de variación de formación de acrilamida en los alimentos

Según Ballarín (2020), se consideran los siguientes como principales:

- **Composición de los alimentos**, los alimentos que contienen precursores de formación de acrilamida son los que tienen mayor riesgo de formar el compuesto tóxico, por ejemplo, alimentos ricos en carbohidratos, como patatas o cereales, o alimentos ricos en asparagina como el café. Además, el tipo de azúcar reductor que contenga el alimento potenciará la formación del compuesto tóxico, esto gracias a que se ha comprobado que la fructuosa favorece la generación de acrilamida en comparación a la glucosa.
- **Alta temperatura**, La formación de acrilamida tiene lugar durante el calentamiento a temperatura elevada, superior a 120°C (es decir, durante la fritura y horneado) de alimentos vegetales ricos en azúcares y generalmente pobres en proteínas. Un caso típico es la fritura de patatas.

### 1.3.2. Acrilamida en café

En el caso del café, la acrilamida se forma de manera natural durante el tostado de los granos de café. En particular, el proceso de tueste es la operación unitaria más importante, ya que es responsable de las principales características químicas, físicas y organolépticas del producto final del café, así como del desarrollo de compuestos bioactivos y antioxidantes.

Este proceso térmico induce a altas temperaturas la formación de componentes tóxicos no deseados, incluyendo la acrilamida, como resultado de la reacción de Maillard principalmente entre la asparagina y los azúcares reductores, como la glucosa y la fructosa. Normalmente, el tueste más oscuro de los granos de café tiende a tener más acrilamida si lo comparamos con un tueste más ligero (Schouten et al., 2020).

En el café, la acrilamida se forma en altas concentraciones durante los primeros minutos de tueste, resultando en  $>7\text{mg/kg}$ . El aumento del tiempo de tueste conduce a la degradación de la acrilamida, pero también a la formación de compuestos indeseables de mal sabor (Schouten et al., 2020).

Los granos de café tostados contienen acrilamida en un rango de  $40\text{-}400\ \mu\text{g/kg}$  con un valor medio de unos  $200\ \mu\text{g/kg}$  mientras que el café instantáneo seco puede contener más de  $500\ \mu\text{g/kg}$  (Soares et al., 2015).

En el caso del café se establecen unos niveles de referencia, indicadores, para verificar la eficacia de las medidas de mitigación de la acrilamida. Estos niveles son:

- $400\ \mu\text{g/kg}$  para el café tostado
- $850\ \mu\text{g/kg}$  para el café instantáneo (soluble) (Soares et al., 2015).

### **1.3.3. Acrilamida en papas fritas**

Los productos de papa cocida, como las papas fritas, los chips de papas fritas y las papas cocidas al horno, representan una proporción sustancial a la ingesta estimada de acrilamida en la población adulta, teniendo el mismo nivel el café y los productos de cereales, el pan, galletas y los panes crujientes (Elmore et al., 2015).

Los niveles de acrilamida encontrados en papas fritas comerciales disponibles (Ottawa, Canadá) fluctuaron ampliamente de  $60$  a  $1800\ \mu\text{g/kg}$ . Comparando las papas fritas, asadas y horneadas, la fritura provoca la mayor formación de acrilamida. Asar trozos de papa provoca una menor formación de acrilamida, seguido de hornear papas enteras. Hervir las papas y meter en el microondas las papas enteras con piel para hacer "papas asadas en el microondas" no produce acrilamida (Powers et al., 2013).



Sumergir las rodajas de papa crudas en agua durante 40-90 minutos antes de freírlas o asarlas reduce la cantidad de precursores de formación de acrilamida lo cual ayuda a reducir la formación de la misma. Almacenar las papas en el frigorífico influye en el contenido de asparagina y azúcares reductores de la papa lo cual provoca un aumento de la acrilamida durante la cocción. Por lo tanto, se debe almacenar las papas fuera del frigorífico, preferiblemente en un lugar oscuro y fresco, como un armario o una despensa. En general, se acumula más acrilamida cuando la cocción se realiza durante períodos más largos o a temperaturas más altas. Cocinar los productos de papa cortados, como las papas fritas congeladas o las rodajas de papa, hasta conseguir un color amarillo dorado en lugar de un color marrón ayuda a reducir la formación de acrilamida. Las zonas marrones tienden a contener más acrilamida (Bethke & Bussan, 2013).

#### **1.4. Efectos tóxicos de la Acrilamida**

Esta sustancia tóxica está clasificada de distintas formas, tal es el caso que la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) la clasifica como probable carcinógeno humano" (Clase 2A) y categoría 2 en la Unión Europea como carcinógeno, mientras que según la clasificación noruega de carcinógenos (que agrupa las sustancias según su capacidad para inducir tumores), se clasifica como carcinógeno de alta potencia (Moreno et al., 2007).

La exposición a la acrilamida y todos los efectos adversos atribuidos a su consumo se han documentado gracias a la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) desde 1994 y en 2005 por la OMS y su Comité de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA), además de evaluar sus riesgos y consideraciones nutricionales. Modificar los procesos de producción de alimentos sobre esta base es un referente en la industria alimentaria. En 1985, la OMS estableció un valor de ingesta diaria tolerable (IDT) de acrilamida de 12  $\mu\text{g}/\text{kg}$  de peso corporal/día, basado en la neurotoxicidad establecida en modelos animales con roedores a dosis repetidas (Paulin et al., 2017).

El Reglamento 2017/2158 de la Comisión Europea refiere que el nivel de referencia es 500  $\mu\text{g}/\text{kg}$  papas fritas listas para consumir y 850  $\mu\text{g}/\text{kg}$  para café instantáneo (Patiño et al., 2020). La Agencia Noruega de Alimentos ha realizado un estudio en el que ha establecido una ingesta diaria de acrilamida en la población, y a partir de estos, su Comité Científico ha estimado el riesgo de padecer cáncer como consecuencia de la intoxicación de acrilamida a través de los alimentos. El consumo medio diario de acrilamida sería de 38  $\mu\text{g}$  al día en los hombres y de 29  $\mu\text{g}$  al día en

las mujeres. Esto equivale a una ingesta de 0,49 y 0,46  $\mu\text{g}/\text{kg}$  de peso corporal, respectivamente (Acero, 2019).

La acrilamida, tiene una rápida absorción y distribución en el organismo debido a que es una molécula hidrófila y es altamente soluble tanto en animales como en humanos, la acrilamida de la dieta se absorbe y distribuye rápidamente por numerosos órganos y tejidos como: timo, hígado, corazón, cerebro y riñones. Distintas investigaciones han puesto en evidencia su potencial para generar genotoxicidad, clastogenicidad, carcinogenicidad y neurotoxicidad. La neurotoxicidad atribuida al consumo crónico y sostenido de acrilamida ha sido reportado como único efecto adverso detectado en humanos (Sáenz, 2017).

Los estudios en animales han demostrado que la acrilamida se absorbe por todas las vías de exposición y que la vía oral es más rápida y completa en todas las especies. Además, se puede distribuir por todos los tejidos del cuerpo, al igual que en la leche y la placenta puesto que la acrilamida y también sus metabolitos poseen un alto nivel de solubilidad en agua (Paulin et al., 2017).

### **1.5. Reducción del contenido de acrilamida en café y papas fritas**

Se aplica diferentes estrategias para intentar reducir el contenido de acrilamida basadas en la modificación de factores como: materia prima, control/adición de otros ingredientes, elaboración y tratamientos térmicos (Chaves et al., 2015).

#### **1.5.1. Materia prima**

Las medidas a tomar en este factor sería elección de materia prima (tipo de papa o café) que posea menor cantidad de azúcares reductores, y el almacenamiento del tubérculo a temperaturas mayores a los  $6^{\circ}\text{C}$  para reducir la acumulación de estos azúcares, otra estrategia bastante viable para reducir la formación de acrilamida tanto en la papa como en el café es realizar pre procesos como remojo, blanqueado y lavado con la idea de disminuir azúcares reductores mediante lixiviación (Chaves et al., 2015). Los dos principales precursores a considerar en lo que respecta a la materia prima es la asparagina y los azúcares reductores.

#### **1.5.2. Control/adición de otros ingredientes**

Se sabe que varios tratamientos previos al procesamiento de alimentos eliminan los aminoácidos libres y los azúcares involucrados en la formación de acrilamida. La adición de aminoácidos como

glutamina, alanina, lisina, cisteína es uno de los métodos más utilizados para reducir químicamente la formación de acrilamida (Echeverri et al., 2014).

En el café como en las papas fritas la disminución de pH del medio impedirá la formación de la reacción de Maillard, por otro lado, la inmersión de alimentos como las papas en ácido cítrico combinado con un tratamiento adicional con escaldado o blanqueado logra reducir el 70% de los niveles de acrilamida, aunque este proceso puede afectar la calidad sensorial del alimento. La adición de sacarosa y levadura ayuda a la disminución del contenido de acrilamida en el proceso de elaboración del café (Chaves et al., 2017).

El contenido de azúcares reductores de la papa fresca tiene una relación muy estrecha con los niveles de acrilamida. Las variedades con azúcares reductores y bajo contenido de asparagina producen menos acrilamida en las mismas condiciones de fritura. El ácido nicotínico y el piridoxal inhiben la formación de acrilamida en tiras de papa frita en un 51% y un 34%, respectivamente. Por lo tanto, algunas vitaminas en concentraciones apropiadas pueden inhibir la formación de acrilamida (Echeverri et al., 2014).

## 2. Marco metodológico

### 2.1. Tipo de investigación

Se realizó una revisión bibliográfica la cual tiene como objetivo la recopilación de información relevante acerca de la acrilamida, en esta se empleó diferentes bases de datos de acceso libre y filtros de búsqueda como palabras claves y fecha de publicación.

### 2.2. Estrategias de búsqueda

Le metodología que se aplicó fue una revisión y síntesis de toda la evidencia disponible en revistas científicas y bases digitales como Scopus, Taylor and Francis, PubMed u otras bases digitales de acceso libre, en donde se utilizó palabras claves como acrilamida, toxicidad, formación, café y papas fritas, al igual que operadores booleanos como AND, OR y NOT.

Se utilizó como filtro el año de publicación de los documentos que fue en el rango 2012 – 2022 en idioma inglés y español. Se realizó una primera búsqueda utilizando palabras claves y operadores booleanos en cada una de las bases digitales, de la siguiente manera:

- Scopus
  - Acrilamida en alimentos -agua.
  - Acrilamida en café +papas fritas.
- Taylor and Francis
  - Formación%acrilamida +alimentos
  - Acrilamida%alimentos
  - Formación%acrilamida café +papas fritas
- PubMed
  - Acrilamida%formación
  - Acrilamida%toxicidad +alimentos
- Google académico
  - Acrilamida toxicidad +formación
  - Acrilamida%papas fritas
  - Acrilamida%café

Se obtuvo 361 resultados los cuales se encontraron distribuidos de la siguiente manera:

Base digital	Artículos encontrados
Scopus	76
Taylor and Francis	95
PubMed	83
Google académico	107

A los 361 artículos obtenidos de las diferentes bases digitales se los sometió a criterios de inclusión y exclusión, los mismos que son mencionados a continuación, luego de este proceso quedaron 187 artículos.

**Criterios de inclusión:** Idioma español o inglés de bases digitales como Scopus, Taylor and Francis, PubMed u otras bases digitales de acceso libre, que han sido publicadas desde 2012 en adelante que traten sobre la formación del compuesto acrilamida en alimentos como el café y papas fritas, además estos artículos deben tener relevancia sobre la toxicidad de este compuesto en los alimentos mencionados anteriormente y de los problemas que esta puede provocar en el ser humano.

**Criterios de exclusión:** Publicaciones de revistas, tesis o cualquier documento publicado antes del 2012 o que tratan sobre otro tema ajeno a la formación de acrilamida en alimentos diferentes al café y papas fritas. Serán excluidos artículos que traten sobre la toxicidad del compuesto acrilamida en el agua y no en alimentos o que traten sobre problemas de salud que el compuesto provoca en el ser humano por exposición laboral.

### 2.3. Evaluación

Según (Salamanca, 2019) CONSORT, PRISMA, STROBE y COREQ son herramientas que aseguran que la información utilizada es relevante para fabricar un documento, por lo tanto se realizó un check list tomando como referencia una lista de chequeo con la herramienta PRISMA publicada por (Maros & Juniar, 2016) la cual se puede observar en el Anexo A. Esta lista de chequeo se eligió porque se acoplaba a los requerimientos de validación que se necesita para saber la importancia del contenido de un documento para el tema de estudio.

REQUISITOS	CUMPLE	NO CUMPLE
La revisión identifica lo que se sabe actualmente con respecto a la acrilamida.		
Revisión relevante para el tema de estudio.		
Respuesta que proporciona la revisión a la pregunta de investigación.		
El resumen expresa relación con el tema de estudio.		
Las referencias citadas son actuales (publicaciones de los últimos 10 años)		
El lenguaje utilizado en el documento es preciso.		

Se eligió los artículos que cumplieron con estos 6 requisitos obteniendo de los 187 documentos un total de 61 artículos a los cuales se los sometió a un catálogo de revisión que se observa en el Anexo B, tomando en consideración variables como título, año de publicación y palabras claves, las variables de contenido fueron alimento, temperatura, formación, toxicidad, y mitigación.

Luego de realizar el catálogo se revisó cada una de las variables y en la sección de observación colocada al final del mismo se escribió y se subrayó si el artículo era relevante (color amarillo) y si no era relevante (color rojo) para el tema de estudio, de esta manera se logró excluir 24 artículos, de los cuales 8 tenían información irrelevante que trataba sobre métodos de determinación de acrilamida en alimentos, 2 contenían información repetida y 14 no eran de acceso gratuito. Con respecto a los artículos con información repetida se excluyó aquel artículo que menos información aportaba al trabajo final, de este último análisis se obtuvo 38 documentos con los cuales se realizó la revisión bibliográfica.

### 3. Resultados y discusión

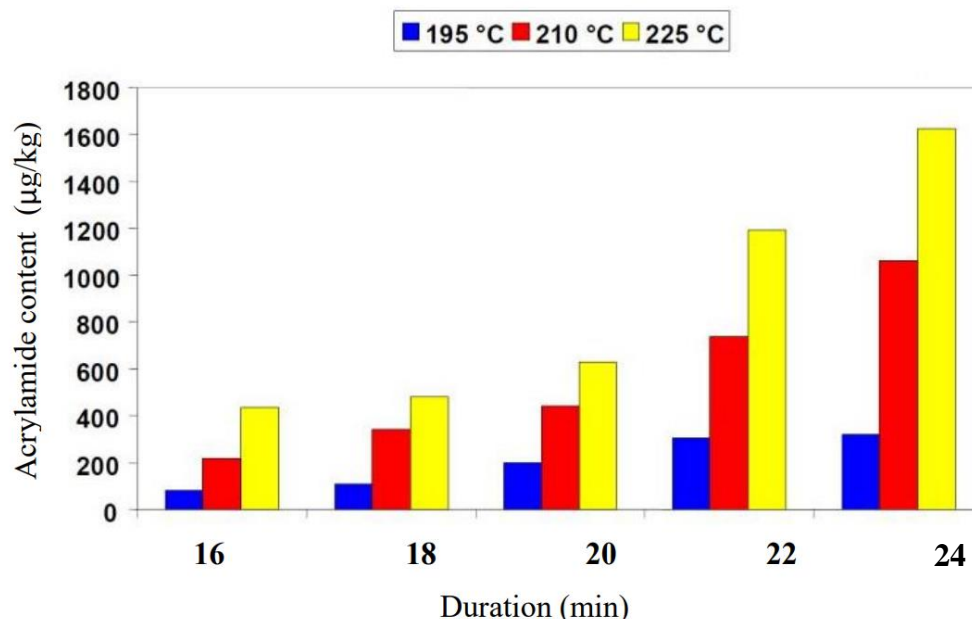
La acrilamida en su forma monomérica es un compuesto tóxico que daña el sistema nervioso a altas exposiciones y está clasificado por la IARC como "probablemente cancerígeno para los humanos" (Clase 2A) (Lerda, 2020).

#### 3.1. Influencia de la temperatura en la formación de acrilamida

Según Lerda (2020), la cocción de los alimentos fritos depende del rango de temperatura utilizado. El tratamiento térmico a 180°C produce productos indeseables como la acrilamida, así como productos oscuros y de sabor desagradable. En la investigación de Ballarín (2020), comenta que la acrilamida se forma cuando los alimentos que contienen almidón en su composición química, como las papas y los cereales, se fríen o se exponen a temperaturas superiores a 120°C, de la misma manera, Chaves et al. (2017), afirma que la acrilamida se forma en alimentos que son sometidos a temperaturas mayores a 120°C, además indica, que 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 altas se da un proceso de autodegradación que se encuentra poco estudiado hasta el momento.

Nótese que, limitando lo mencionado en estos artículos, el uso de temperaturas inferiores a 120°C es beneficioso para el proceso de fritura; ahora, tomando en consideración que, según Chaves et al. (2017), es posible obtener alrededor de 368  $\mu\text{mol}$  de acrilamida al calentar cantidades equimolares de asparagina y glucosa por un periodo de 30 minutos a 180°C, por tal motivo se dijo que al aumentar la temperatura y acortar el tiempo de contacto entre el alimento y el aceite, es posible obtener un alimento que conserve sus características, pero sin la formación de acrilamida, aunque si bien es cierto no es una investigación que se encuentre totalmente estudiada.

La influencia de la temperatura y el tiempo en la formación de acrilamida en papas fritas fue investigada por Matthäus en el 2002, este estudio consistió en someter al alimento a temperaturas entre 195-225°C con un tiempo de fritura entre 16-24 minutos. La figura 3 ilustra los resultados de esta investigación, en donde podemos observar el aumento sustancial de acrilamida relacionado con el aumento de temperatura, como conclusión de este estudio se dijo que la temperatura de fritura no debe exceder los 170-175°C para así evitar niveles altos de acrilamida en el alimento (EFSA, 2015).



*Figura 3 Influencia de la temperatura de fritura y la duración del procesamiento del contenido de acrilamida en papas fritas. Fuente (EFSA, 2015)*

Debido a la baja exposición de calor, se previene la deshidratación y la desnaturalización. Además de la presencia de compuestos tóxicos como la acrilamida, los niveles de grasa pueden aumentar si no se controlan los parámetros de tiempo y temperatura durante el tratamiento térmico (Akgün & Arıcı, 2019).

Una comparación de datos de García & Ventura (2015) y Delgado (2016), muestra que los productos elaborados con alimentos fritos tienen un alto contenido de grasas, pero como señala González (2015), se ha informado que la absorción de grasas en los alimentos se debe a la exposición prolongada de estos a temperaturas en un rango de 100 a 120°C. En este caso, se recomienda aumentar la temperatura y reducir el tiempo de cocción para evitar la absorción de grasas, esto debido a que Chaves et al. (2017), Krishnakumar & Visvanathan (2014) y Ayvaz & Rodriguez (2015), afirman que la acroleína puede ser una vía de formación de acrilamida, la acroleína y el ácido acrílico se forman por degradación de lípidos especialmente de triglicéridos sujetos a altas temperaturas, entonces, la acroleína en presencia de amoníaco mediante reacciones de oxidación puede formar acrilamida, cabe señalar que esta vía de formación debe ser aún más estudiada.



Sin embargo, literaturas como la de Krishnakumar & Visvanathan (2014), Hermosilla (2018), Uday (2019), entre otros, afirman que la vía principal de formación de acrilamida en los alimentos es la mediada por la asparagina en el conjunto de reacciones de Maillard.

### 3.2. Acrilamida en papas fritas

Las papas fritas son uno de los alimentos con los niveles más altos de acrilamida. Los alimentos con mayores contenidos de acrilamida son las papas fritas al estilo tradicional (300 µg/kg) las papas chips (700 µg/kg) (Ballarín, 2020). En su investigación Powers et al. (2013) encontraron en papas fritas una cantidad de acrilamida que fluctúa de 60 a 1800 µg/kg. Según lo que mencionan estos datos se podría suponer que el rango de acrilamida que podemos encontrar en las papas fritas es 300 a 1800 µg/kg.

Se puede señalar que los factores más importantes que determinan la cinética de formación de acrilamida en una concentración es dependiente de su variedad, de las condiciones del suelo, del periodo de cosecha y de las condiciones de almacenamiento de post cosecha. Por otra parte, se debe destacar que el tiempo, temperatura del aceite, porosidad y propiedades del alimento como actividad acuosa, porosidad y pH son variables importantes durante el proceso (Chaves et al., 2017) (Graciano et al., 2020).

Si la temperatura del aceite es elevada, la deshidratación se da con mayor facilidad y los niveles elevados de temperatura y humedad baja colaboran en la formación de acrilamida. Una cantidad superior al 10% de agua presente en la materia a freír, actúa como inhibidor de formación de acrilamida, es por esto que se debe considerar la relación contenido de agua / temperatura / temperatura interna de las láminas de papa durante el proceso térmico, este último es importante debido a que la formación de acrilamida es un fenómeno de superficie, en la superficie del alimento se alcanza con mayor rapidez la temperatura a la cual esta se forma, sin embargo, el tiempo de cocinado no es suficiente para que el interior del alimento alcance estas temperaturas y se forme el compuesto (Yaranga, 2019) (Lerda, 2020).

Un hallazgo relevante según Hermosilla (2018), es que por encima de los 150°C la producción de acrilamida aumenta considerablemente, entonces es posible que a esta temperatura los valores de humedad estén más bajos que el valor referencial (10%) y de esta manera la reacción de Maillard se acelere, es por eso que se debe tomar en cuenta que la reacción depende de variables como tiempo, temperatura y humedad (Cámara et al., 2017). La importancia de la

humedad recae en el papel que tiene la actividad acuosa ( $a_w$ ) en la reacción de Maillard, una  $a_w$  entre 0.6 – 0.7 favorece la reacción al aumentar la movilidad de los sustratos, una  $a_w$  por debajo de 0.6 hará que los sustratos disminuyan su velocidad impidiendo así su unión, por otro lado, un exceso de agua también afectará la reacción debido a que disminuye la velocidad de reacción por una dilución de los sustratos específicos (Bello, 2000).

### 3.3. Acrilamida en café

Según la EFSA (2015), las concentraciones de acrilamida en el café tostado (249  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) son inferiores a las del café instantáneo (710  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ). Por otro lado, Soares et al., (2015) afirman que los granos de café tostados contienen acrilamida en un rango de 40-400  $\mu\text{g}/\text{kg}$  con un valor medio de unos 200  $\mu\text{g}/\text{kg}$  mientras que el café instantáneo seco puede contener más de 500  $\mu\text{g}/\text{kg}$ . Ahora, según lo mencionado por estos autores, con respecto al café tostado el rango podría ser de 200 a 400  $\mu\text{g}/\text{kg}$  mientras que para el café instantáneo 400 a 700  $\mu\text{g}/\text{kg}$ .

El proceso de tostado del café se realiza a temperaturas entre 220 y 250°C, se debe considerar que el tiempo y la velocidad del tostado son de vital importancia para obtener buenas propiedades sensoriales del café como un buen aroma, color y sabor. El café se somete a temperaturas relativamente altas a comparación de otros alimentos por lo que es un factor predeterminante para que se produzca la reacción de Maillard y acrilamida, en este alimento el tóxico pasa de una etapa de formación neta a una etapa donde predominan las reacciones de degradación y la propia volatilización de la molécula (Fernández, 2015) (Morales et al., 2019).

La acrilamida en el café no se acumula durante el tostado ya que su formación y degradación se produce simultáneamente, esto debido a que en el proceso de tostado la acrilamida se forma a inicios de la reacción, pero mientras aumenta el tiempo esta se degrada. La formación del tóxico no parece verse afectada por el contenido de azúcares reductores, es posible que solo esté relacionada con la concentración de asparagina en el fruto (Fernández, 2015). Autores como Fernández (2015) y Estrada & Dioses (2022) tomaron en cuenta la presencia de asparagina libre para realizar una mención sobre la especie de café, en esta se indica que el café de especie Arábico tiene menor concentración de asparagina en comparación a la especie Robusta por lo que presentará menores niveles de formación de acrilamida.

### 3.4. Efectos de la acrilamida sobre la salud

Uno de los efectos tóxicos no carcinogénicos mejor estudiados es la neurotoxicidad provocada por exposiciones crónicas a acrilamida, que causa una neurodegeneración consistente en la disminución considerable del número de neuronas implicadas en el desarrollo locomotor y la aparición de neuropatía periférica (principal alteración descrita en humanos). Tampoco se puede descartar un daño en el sistema nervioso central. Además, ensayos clínicos con ratones han constatado que la exposición a acrilamida provoca el desarrollo de incapacidad reproductiva masculina, causada por una reducción en la síntesis de progesterona (Ballarín, 2020). Los estudios *in vitro* y otros *in vivo* en animales, revelan que la acrilamida produce neuropatía, que se reproduce fácilmente y genera un cuadro similar al humano con degeneración distal de los nervios sensitivos y motores provocando neurotoxicidad. De acuerdo con lo anterior, el riesgo más importante del compuesto tóxico es la neurotoxicidad, la cual está comprobada mediante estudios en humanos (Rufín et al., 2022).

En investigaciones también se ha detectado el potencial que tiene la acrilamida para generar genotoxicidad, clastogenicidad y carcinogenicidad, esto no se ha comprobado en humanos debido a que la acrilamida y su metabolito la glicidamida son tóxicos, esto lo comprobaron mediante pruebas realizadas en animales (Rufín et al., 2022), en su artículo Lerda (2020) afirma que existen estudios en donde se ha encontrado asociación entre la ingesta de acrilamida y el cáncer, pero, otros estudios no han podido probar dicha relación. Según Ballarín (2020), la glicidamida, ha sido objeto de estudios experimentales en animales para comprobar su riesgo tras la ingesta debido a que en literaturas como Anese (2016) menciona que la glicidamida es considerada un compuesto más reactivo que la acrilamida.

Tanto la acrilamida como la glicidamida inducen neurotoxicidad, sin embargo, la glicidamida al ser un epóxido puede llegar a tener mayores riesgos cancerígenos y genotóxicos debido a que genera aductos con el ADN aumentando así las mutaciones al ser más reactiva que la acrilamida (Rufín et al., 2022).

La genotoxicidad de la acrilamida, así como de su metabolito han sido ampliamente estudiadas. Estudios de genotoxicidad *in vitro* indican que la acrilamida es un mutágeno débil en células de mamíferos, pero un agente eficaz clastógeno, mientras que la glicidamida es un mutágeno fuerte y un clastógeno. En estudios *in vivo* la acrilamida es un genotóxico en células somáticas y germinales además de ser cancerígena en múltiples tejidos en ratones y ratas (EFSA, 2015).

Un hallazgo relevante se destaca en Uday (2019), que dice que la acrilamida causa una preocupación de sus posibles efectos al ser ingerida en la dieta de los seres humanos durante el embarazo, esto debido a que el tóxico puede atravesar las barreras placentarias, este artículo también se revela que un estudio realizado en ratones por Ghanayem y colaboradores en el año 2010, mostró una disminución en el porcentaje de fetos vivos, mayor mutagenicidad de células germinales y mayor toxicidad reproductiva.

La acrilamida se metaboliza de dos maneras: mediada por glutatión que se convierte en ácido mercaptúrico y epoxidación que consiste en la conversión a glicidamida, en las dos vías los compuestos se excretan mediante la orina, por otro lado, al conjugarse con el glutatión aumenta el estrés oxidativo (Ayvaz & Rodriguez, 2015); en la investigación de Urbančič, et al. (2014), comenta que la acrilamida y glicidamida puede formar aductos en la hemoglobina, así que, según lo mencionado anteriormente, mediante el monitoreo de ácido mercaptopúrico en la orina, así como en la medición de aductos de hemoglobina se puede detectar la presencia de acrilamida y de su metabolito durante 120 días, por lo que estos se pueden usar como biomarcadores (Rufin et al., 2022).

Existen mecanismos no genotóxicos por los cuales la acrilamida puede causar cáncer, como por ejemplo la disminución de glutatión (estrés oxidativo), por expresión genética alterada (cambios del estado redox celular) o influencia de los niveles hormonales (Molina, 2015).

Según la EFSA (2015), la relación entre la exposición a acrilamida a través de la dieta y el riesgo de cáncer se han analizado en diferentes estudios epidemiológicos, estos sugirieron que existe un mayor riesgo de cáncer en células renales, células endometriales y cáncer de ovario, pero la evidencia es limitada e inconsistente.

La acrilamida es un carcinógeno genotóxico ya que modifica irreversiblemente el material genético. Este compuesto se absorbe muy eficientemente en el tracto digestivo, la mayor parte de la acrilamida es acomplejada con el glutatión y excretada a las pocas horas; sin embargo, una parte puede ser oxidada por la enzima citocromo oxidasa, mayoritariamente presente en el hígado, hacia un epóxido derivado mucho más reactivo, la glicidamida (Morales et al., 2019).

Los estudios epidemiológicos en animales muestran que la exposición a acrilamida causa cáncer, sin embargo, en humanos no se observa de una manera evidente esta relación, por lo que han

concluido que el riesgo en humanos es probablemente demasiado bajo para que sea detectado mediante estudios epidemiológicos (Molina, 2015).

Según Rufín, et al. (2022), las investigaciones deben continuar con estudios epidemiológicos específicamente diseñados con metodologías más precisas, para confirmar o refutar la relación entre la exposición alimentaria a acrilamida y el riesgo de cáncer.

Se ha realizado varios estudios para poder determinar una ingesta diaria tolerable de acrilamida, sin embargo, científicos de la EFSA llegaron a la conclusión que es imposible establecer esta dosis, pero mencionan que no se puede desestimar la presencia en los alimentos debido a que puede provocar efectos negativos en la salud del consumidor a mediado y/o largo plazo. Debido a esto establecieron un rango de dosis en el cual la acrilamida presenta mayor riesgo carcinogénico o neurotóxico, en donde, el límite mínimo de confianza para la dosis referencia (BMDL) de acrilamida es 0,170 mg/kg de peso corporal/día para los efectos carcinogénicos, y de 0,43 mg/kg de peso corporal/día para los efectos neurotóxicos, según la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (Rufín et al., 2022) (EFSA, 2015). Sin embargo, (Molina, 2015), señala que la evaluación de la ingesta de acrilamida es particularmente difícil puesto que los niveles dependen en gran medida de la naturaleza y el alcance del tratamiento térmico de los alimentos.

<b>Efecto sobre la salud mencionado</b>	<b>Número de artículos</b>
Neurotoxicidad	8
Cáncer	17
<b>Tipos de cáncer</b>	
<b>Ratas</b>	<b>Ratones</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adenomas</li> <li>• Fibroma de la glándula mamaria</li> <li>• Carcinoma en la glándula tiroides</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adenocarcinoma de la glándula mamaria</li> <li>• Adenomas alveolares</li> <li>• Tumores benignos en ovarios</li> <li>• Sarcomas de piel</li> </ul>

*Tabla 2 Cuadro resumen de efectos de la acrilamida sobre la salud. Fuente: Autor*

### 3.5. Métodos de reducción del contenido de acrilamida en alimentos

Se puede señalar que los factores más importantes que determinan la cinética de formación de acrilamida y su posterior degradación son la composición de la papa o café (concentración de azúcares reductores y asparagina) y las variables de proceso (tiempo y temperatura de cocción) (Chaves et al., 2015).

Tanto Chaves et al. (2017) y Krishnakumar & Visvanathan (2014) afirman que se debe considerar la elección de la materia prima, es decir, tanto como en la papa y/o café se debe escoger la variedad que menor cantidad de azúcares reductores posea. Por otro lado, el almacenamiento del alimento, Chaves et al. (2017) mencionan que se debe almacenar las papas a una temperatura mayor a 6°C para reducir la acumulación de azúcares reductores, Krishnakumar & Visvanathan (2014) y Hermosilla (2018) afirman que se debe almacenar la papa a una temperatura de 8°C para reducir la formación de acrilamida, según Bethke & Bussan (2013), las papas no se deben almacenar en ambientes fríos porque aumenta el riesgo de formación de acrilamida, y por último Yaranga (2018) menciona que el almacenamiento correcto es a temperaturas inferiores a los 8-10°C. Tomando en consideración lo mencionado por estos autores, se podría tomar un rango de referencia de 6 a 8°C como temperaturas óptimas para el almacenamiento de las papas antes de la fritura y de esta manera evitar la acumulación de azúcares reductores y así la formación de acrilamida durante el proceso térmico.

Según Chaves et al. (2017) y Bethke & Bussan (2013), el remojar la papa unos 40 a 90 minutos antes de freírla reduce los precursores de formación de acrilamida, esto debido a que según Yaranga (2018), al cortar las papas el almidón queda en la superficie y este es un precursor para la aparición de acrilamida, al remojar o simplemente lavar las rodajas de papa luego de cortarlas se disminuye los azúcares reductores. Autores como Yaranga (2018), Chaves et al. (2017) y Hermosilla (2018) hacen mención sobre el escaldado para reducir la formación de acrilamida mediante lixiviación de precursores, especialmente de azúcares reductores para controlar la reacción de Maillard y así disminuir la formación de acrilamida, ese proceso según Yaranga (2018), a 90°C por un minuto da una reducción de 57% mientras que Hermosilla (2018) menciona que a 70°C por 10-15 minutos se obtiene una reducción entre 65-96%. Los autores antes citados mencionan que la inmersión de la papa en ácido cítrico disminuye el riesgo de formación de acrilamida, ahora, Chaves et al. (2017) no menciona la temperatura ni tiempo de escaldado y de inmersión, hace solo una mención del 70%, así que con lo que afirma Yaranga (2018) que el

porcentaje de disminución es del 99.4% con un proceso de escaldado a 90°C por un minuto más la inmersión en ácido cítrico 1% p/p por una hora podemos tener una mejor referencia sobre el tiempo y temperatura.

Al sumergir las papas en ácido cítrico a una concentración de 2%, está comprobado según Yaranga (2018), que produce cambios en la textura de la papa tornándose dura y además produce un sabor amargo, es por esta razón que se ha establecido que el porcentaje del ácido debe ser de 1% ya que a esta concentración no se genera cambios de textura ni tampoco cambios organolépticos del alimento, mientras que al sumergir el café en ácido cítrico, el contenido de acrilamida disminuyó significativamente, pero al mismo tiempo el color café también disminuyó debido a la protonación del grupo amino de la asparagina lo cual dificulta la formación de N-glicosilamina (Fernández, 2015).

La adición de sacarosa y levadura disminuye el contenido de acrilamida en el café durante la fermentación, cualquier aumento en la concentración de sacarosa aumenta la actividad de las células de levadura, por lo tanto, la degradación de la acrilamida, además la sacarosa inhibe la formación de la reacción de Maillard al no poseer un grupo carbonilo. Otra razón para la extinción de la acrilamida durante la fermentación puede ser la adsorción de moléculas por parte de las células de levadura, sin embargo, hasta la fecha se siguen realizando investigaciones sobre mas procesos de como disminuir los precursores de formación de acrilamida en el café lo cual es de vital importancia científica debido a las altas temperaturas a las que este debe ser tostado (Echeverri et al. 2014) (Chaves et al., 2017).

Tanto la EFSA como la FDA, han fabricado documentos que se basan en que el operador de la industria tome las medidas apropiadas para disminuir al máximo posible la presencia de un contaminante, en este caso, contienen estrategias para la industria alimentaria que permiten reducir la cantidad de acrilamida en diferentes productos dependiendo de su fabricación, formulación y calidad de los alimentos. El contenido de los documentos presentados por estas dos entidades es muy similar, una de las diferencias a señalar es el hecho que las estrategias para la mitigación del tóxico en el café están mejor descritas en la guía presentada por la FDA que presenta una estructura en función del alimento mientras que la guía de la EFSA mantiene una estructura en función del factor que interviene en la formación de la acrilamida (Sáenz, 2017). Esta normativa la aplican las industrias, catering, hotelería y restaurantes; además proporciona

valores de referencia para determinar de manera efectiva la presencia del tóxico (Cámara et al., 2017).

De acuerdo a Ayvaz & Rodríguez (2015), en su análisis, se presta especial atención a las frituras (patatas, otros alimentos, frituras, croquetas, etc.), ya que también forman parte importante de la dieta de las personas. Para ellos, también se han reportado otras vías alternativas para no aumentar la formación de acrilamida, la más importante es la insaturación formada a partir del glicerol por hidrólisis de acroleína (2-propenal)-triglicéridos (aceites). La formación de acrilamida por esta vía depende de la disponibilidad de grupos amino de los aminoácidos presentes en la dieta.



## 4. Conclusiones y Recomendaciones

### 4.1. Conclusiones

Las investigaciones realizadas hasta el momento indican que la acrilamida no se encuentra en la mayoría de las materias primas y se forma como resultado de ciertas manipulaciones realizadas para preparar o dar un mejor sabor a ciertos alimentos. Además, uno de los factores más importantes que se pudo destacar en la formación de acrilamida fue la temperatura del proceso térmico al que se somete el alimento, en este caso, gracias a varias investigaciones se determinó que la temperatura óptima para que no se forme acrilamida es menor o igual a 120°C.

Hasta la fecha, la acrilamida se ha considerado un carcinógeno humano potencial. Aunque hay estudios científicos que sugieren que la exposición a esta toxina causa daño en el ADN, estos estudios se han realizado en modelos animales, sin embargo, no se han publicado estudios epidemiológicos que muestren la cantidad. La acrilamida en los alimentos consumidos por la población en general aumenta considerablemente el riesgo de desarrollar todo tipo de cáncer por esta causa.

Existe un riesgo más que es la neurotoxicidad generada por la ingesta de acrilamida, este es uno de los efectos con mejores estudios hasta la fecha y el único comprobado en humanos gracias a diferentes estudios e investigaciones, por esta razón se lo denomina como el efecto más importante que puede causar el compuesto tóxico acrilamida.

Se identificó varias estrategias para reducir la cantidad de acrilamida en los alimentos, de esta manera se puede elegir una que vaya acorde al producto que se desee obtener, en relación al café se concluye la falta de información con respecto a estrategias de reducción en acrilamida, puesto que es uno de los alimentos con mayor riesgo a formación del tóxico y que más probabilidad tiene de sufrir cambios organolépticos durante el proceso de tostado. Se puede mencionar un consumo medio tolerable de acrilamida en la dieta de 0,49 µg/kg hombres y 0,46 µg/kg mujeres de peso corporal, pero al ser la acrilamida un compuesto tóxico que produce efectos neoplásicos se recomienda mantener como referencia el BMDL determinado para cada efecto en la salud que queremos evitar, siendo estos valores 0,170 mg/kg de peso corporal/día para los efectos carcinogénicos, y de 0,43 mg/kg de peso corporal/día para los efectos neurotóxicos.

## 4.2. Recomendaciones

- Realizar más investigaciones sobre el proceso específico de formación de acrilamida en el café para poder mantener un proceso adecuado de tostado verificando que el tóxico acrilamida no llegue a formarse o se degrade en su totalidad.
- Difundir la información sobre la neurotoxicidad que produce la acrilamida en el ser humano para que la población tenga un mejor conocimiento sobre la toxicidad de este compuesto.
- Vigilar tiempo y temperatura del proceso de cocción de los alimentos ya que son factores que afectan de manera directa la formación, y en el caso del café también la degradación de acrilamida.

## Referencias

- Acero, M. (2019). Evaluación de la capacidad de la cafeína para evitar la progresión de la fibrosis hepática inducida con tioacetamida en la rata. *Ayañ*, 8(5), 55. <https://repositorio.cinvestav.mx/bitstream/handle/cinvestav/1118/SSIT0016183.pdf?sequence=1>
- Akgün, B., & Arıcı, M. (2019). Evaluation of acrylamide and selected parameters in some Turkish coffee brands from the Turkish market. *Food Additives and Contaminants - Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*, 36(4), 548–560. <https://doi.org/10.1080/19440049.2019.1586454>
- Anese, M. (2016). Acrylamide in coffee and coffee substitutes. En *Acrylamide in food: Analysis, content and potential health effects* (págs. 181-195). Italia: Elsevier.
- Antunes, A., Ciudad, S., Mir, J., Raso, J., Cebrián, G., & Álvarez, I. (2018). Ultrasound as a pretreatment to reduce acrylamide formation in fried potatoes. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 49, 158–169. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.08.010>
- Ayvaz, H., & Rodriguez, L. (2015). Application of handheld and portable spectrometers for screening acrylamide content in commercial potato chips. *Food Chemistry*, 174, 154–162. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.11.001>
- Ballarín, A. (2020). *TRABAJO FIN DE GRADO TÍTULO: Estimación de la exposición a acrilamida en la dieta de la población española Tutor: Marta Mesías García Resumen Abstract Palabras clave Introducción Objetivos Material y métodos Resultados y discusión Conclusiones Bibliografía*. 1–21.
- Bello, J. (2000). Conservación por reducción del contenido acuoso. In *Ciencia bromatológica. Principios generales de los alimentos*.
- Beltrán, D., María, R., Durán, M., Luisa, P., Ramírez, M., Evelyn, V., & Zarate Henao, Y. (2019). *Acrilamida: agente genotóxico y probable carcinogénico*. 1–53. <https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/5376/BeltranRodriguezDaniela2020.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Bethke, P., & Bussan, A. (2013). *Acrylamide in Processed Potato Products*. 403–424. <https://doi.org/10.1007/s12230-013-9321-4>
- Cámara, M., Pilar, C., González, M., Mañes, J., Rodríguez, D., Ros, G., & Talens, P. (2017). Nutrición (AECOSAN) sobre los criterios de seguridad que limiten la exposición a acrilamida producida por la fritura de patatas Sección de Seguridad Alimentaria y Nutrición. 26, 55.
- Chaves, C., Irias, A., & Laura, M. (2015). FORMACIÓN DE ACRILAMIDA DURANTE EL PROCESAMIENTO DE ALIMENTOS. UNA REVISIÓN. Acrylamide formation during the processing of food. A review. *M Arias Rev. Costarricense de Salud Pública*, 2(2), 28–35. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rcsp/v25n2/1409-1429-rcsp-25-02-28.pdf>
- Delgado, R. (2016). Contenido de acrilamida en frituras de tortilla preparadas a partir de maíces pigmentados. *Revista mexicana de ingeniería química*, 69-78.

- Graciano, M., Sumaya, M., Rodríguez, J., Bautista, P., Jiménez, E., Sánchez, L., & López, G. (2020). Impacto en la formación de acrilamida a partir de aditivos de especias culinarias con actividad antioxidante//Impact on acrylamide formation from culinary spice additives with antioxidant activity. *Biotechnia*, 22(2), 128–135. <https://doi.org/10.18633/biotechnia.v22i2.1254>
- Echeverri, M., Jaramillo, L., Quiroz, J. (2014). Acrilamida: formación y mitigación en procesamiento industrial de alimentos. Obtenido de Corporacion Uiversitaria Lasallista, Antioquia.
- EFSA. (2015). Scientific Opinion on acrylamide in food. *EFSA Journal*, 13(6). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.4104>
- Elmore, S., Briddon, A., Dodson, A., Muttucumaru, N., Halford, N., & Mottram, D. (2015). Acrylamide in potato crisps prepared from 20 UK-grown varieties: Effects of variety and tuber storage time. *Food Chemistry*, 182, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.02.103>
- Estrada, T., & Dioses, R. (2022). *DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS TÍTULO: “ Revisión : Acrilamida en Alimentos .”*
- Fernández, P. (2015). *ACRILAMIDA EN ALIMENTOS SOMETIDOS A TRATAMIENTOS TÉRMICO.*
- García, D., & Ventura, L. (2019). *Aplicación del método de espectroscopia infrarroja para la identificación de acrilamida en papas tipo chips.* <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/8307/%0A>
- González, C. (2015). *Mitigación de la formación de acrilamida en hojuelas de papas mediante el uso de fritura al vacío.* Santiago: Universidad de Chile.
- Hermosilla, L. (2018). *Evaluación De Los Niveles De Concentración De La Acrilamida En Alimentos Térmicamente Procesados.* [http://tauja.ujaen.es/bitstream/10953.1/9379/1/TFG\\_Hermosilla\\_Parrado\\_Laura.pdf%0A](http://tauja.ujaen.es/bitstream/10953.1/9379/1/TFG_Hermosilla_Parrado_Laura.pdf%0A)
- Krishnakumar, T., & Visvanathan, R. (2014). Acrylamide in Food Products: A Review. *Journal of Food Processing & Technology*, 05(07). <https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000344>
- Lerda, D. (2020). La acrilamida en los alimentos y la salud humana. Revisión. *Methodo. Investigación Aplicada a Las Ciencias Biológicas*, 5(3). [https://doi.org/10.22529/me.2020.5\(3\)05](https://doi.org/10.22529/me.2020.5(3)05)
- Maros, H., & Juniar, S. (2016). *Listas de chequeo.* 1–23. <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/listaschequeo.pdf>
- Molina, E. (2015). *Evaluación Del Riesgo De Exposición Alimentaria a Acrilamida En España.* 304. <https://roderic.uv.es/bitstream/handle/10550/43885/MolinaPeriz.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Morales, F., Mesias, M., & Delgado, C. (2019). *Acrilamida en alimentos una vision desde la investigacion.* <https://digital.csic.es/handle/10261/203194>

- Moreno, I., Rubio, I., Gutiérrez, A., Cameánz, A., & Hardisson De La Torre, A. (2007). La acrilamida, contaminante químico de procesado: Revisión. *Revista de Toxicología*, 24(1), 1–9. <https://www.redalyc.org/pdf/919/91924101.pdf%0A>
- Nooshkam, M., Varidi, M., & Bashash, M. (2019). The Maillard reaction products as food-born antioxidant and antibrowning agents in model and real food systems. *Food Chemistry*, 275(May 2018), 644–660. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.083>
- Patiño, L., Cardona C, & Castellanos J. (2019). Study of the parameters of extraction of acrylamide in potato snack (*Solanum tuberosum*) in Colombia. *Bioteconología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 18(1), 25–34. <https://doi.org/https://doi.org/10.18684/bsaa.v18n1.1408>
- Paulin, G., Güemes, N., Piloni, J., & Quintero, A. (2017). Revisión: Acrilamida en los alimentos, daños a la salud y estrategias para su inhibición. *Boletín De Ciencias Agropecuarias Del ICAP*, 3(5). <https://doi.org/10.29057/icap.v3i5.2064>
- Powers, S., Mottram, D., Curtis, A., & Halford, N. (2013). Acrylamide concentrations in potato crisps in Europe from 2002 to 2011. *Food Additives and Contaminants - Part A*, 30(9), 1493–1500. <https://doi.org/10.1080/19440049.2013.805439>
- Ramírez, K. (2016). *EVALUACIÓN In vivo DEL POTENCIAL EFECTO PROTECTOR DE Lactobacillus reuteri y Lactobacillus casei Shirota CONTRA EL EFECTO TÓXICO DE ACRILAMIDA*. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. , Sonora. Obtenido de [https://ciad.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1006/768/1/Ram%C3%ADrez-Ortiz%20K%20del%20R\\_MC\\_2016.pdf](https://ciad.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1006/768/1/Ram%C3%ADrez-Ortiz%20K%20del%20R_MC_2016.pdf)
- Rúa, L. (2016). Riesgos Y Alertas Alimentarias : La Acrilamida. *Universidad Complutense*. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/50659/>
- Rufín, L., Delgado, L., & Méndez, J. (2022). Efectos patogénicos de la acrilamida para la salud. Una revisión. *Revista Médica Electrónica*, 44(2), 388–402. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1684-18242022000200388](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1684-18242022000200388)
- Sáenz, S. (2017). *Acrilamida y su presencia en los alimentos*. 34. [http://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/28391/1/TFG-O\\_1102.pdf](http://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/28391/1/TFG-O_1102.pdf)
- Salamanca, A. (2019). Checklist para autores y checklist para lectores: diferentes herramientas con diferentes objetivos. *Nure Investigación*, 19(99), 1–4. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7125323.pdf>
- Schouten, M., Tappi, S., & Romani, S. (2020). Acrylamide in coffee: formation and possible mitigation strategies—a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(22), 3807–3821. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1708264>
- Soares, C., Alves, R., & Oliveira, B. (2015). Acrylamide in Coffee: Influence of Processing. In *Processing and Impact on Active Components in Food*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-404699-3.00069-X>

- Uday, F. (2019). *Evaluación del riesgo toxicológico de la acrilamida del café de las marcas más consumidas en la zona urbana de la ciudad de Cuenca*. [http://dspace.ucuenca.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/32753/1/Trabajo de Titulación.pdf](http://dspace.ucuenca.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/32753/1/Trabajo%20de%20Titulaci3n.pdf)
- Urbančič, S., Hadolin, M., Dimitrijević, D., Demšar, L., & Vidrih, R. (2014). Stabilisation of sunflower oil and reduction of acrylamide formation of potato with rosemary extract during deep-fat frying. *Lwt*, 57(2), 671–678. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.11.002>
- Valenzuela, R., & Ronco, A. (2007). Acrilamida en los Alimentos. *Revista Chilena Nutrición*, 34. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182007000100001>
- Yaranga, R. (2019). *Efecto de la temperatura de escaldado y frito en el contenido de acrilamida de papa nativa, oca y mashua amarilla*.

## Anexos

### Anexo A

Section/Topic	#	Checklist Item	Prisma (2009) Lista de Chequeo	Reported on Page #
<b>TÍTULO</b>				
Título	1	Identificar la publicación como revisión sistemática, metaanálisis o ambos		
<b>RESUMEN</b>				
Resumen estructurado	2	Facilitar un resumen estructurado que incluya, según corresponda: antecedentes; objetivos; fuente de los datos; criterios de elegibilidad de los estudios; participantes e intervenciones; evaluación de los estudios y métodos de síntesis; resultados; limitaciones; conclusiones e implicaciones de los hallazgos principales; número de registro de la revisión sistemática		
<b>INTRODUCCIÓN</b>				
Justificación	3	Describir la justificación de la revisión en el contexto de lo que ya se conoce sobre el tema		
Objetivos	4	Plantear de forma explícita las preguntas que se desea contestar en relación con los participantes, las intervenciones, las comparaciones, los resultados y el diseño de los estudios (PICOS)		
<b>MÉTODOS</b>				
Protocolo y registro	5	Indicar si existe un protocolo de revisión al que se pueda acceder (por ej., dirección web) y, si está disponible, la información sobre el registro, incluyendo su número de registro		
Criterios de elegibilidad	6	Especificar las características de los estudios (por ej., PICOS, duración del seguimiento) y de las características (por ej., años abarcados, idiomas o estatus de publicación) utilizadas como criterios de elegibilidad y su justificación		
Fuentes de información	7	Describir todas las fuentes de información (por ej., bases de datos y períodos de búsqueda, contacto con los autores para identificar estudios adicionales, etc.) en la búsqueda y la fecha de la última búsqueda realizada		
Búsqueda	8	Presentar la estrategia completa de búsqueda electrónica en, al menos, una base de datos, incluyendo los límites utilizados, de tal forma que pueda ser reproducible		
Selección de los estudios	9	Especificar el proceso de selección de los estudios (por ej., el cribado y la elegibilidad incluidos en la revisión sistemática y, cuando sea pertinente, incluidos en el metaanálisis)		
Proceso de extracción de datos	10	Describir los métodos para la extracción de datos de las publicaciones (por ej., formularios pilotado, por duplicado y de forma independiente) y cualquier proceso para obtener y confirmar datos por parte de los investigadores		
Lista de datos	11	Listar y definir todas las variables para las que se buscaron datos (por ej., PICOS, fuente de financiación) y cualquier asunción y simplificación que se hayan hecho		
Riesgo de sesgo en los estudios individuales	12	Describir los métodos utilizados para evaluar el riesgo de sesgo en los estudios individuales (especificar si se realizó al nivel de los estudios o de los resultados) y cómo esta información se ha utilizado en la síntesis de datos		
Medidas de resumen	13	Especificar las principales medidas de resumen (por ej., razón de riesgos o diferencia de medias)		
Síntesis de resultados	14	Describir los métodos para manejar los datos y combinar resultados de los estudios, cuando esto es posible, incluyendo medidas de consistencia (por ej., ítem 2) para cada meta-análisis		



## Anexo B

Pregunta de investigación:		¿La formación de acrilamida provoca riesgos en la salud? ¿Cómo disminuir la cantidad de acrilamida en café y papas fritas?											
Responsable:		Daila Zúñiga											
Código	Título	Año de publicación	URL	Fuente (revista)	Cita	Palabras claves del artículo	1	2	3	4	5	SI/NO	Observación
							Café o papas fritas	Temperatura	Formación	Toxicidad	Mitigación		
001	ACRILAMIDA: AGENTE GENOTÓXICO Y PROBABLE CARCINOGENICO	2019	<a href="https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/5376/Beltran%20Rodriguez%20Daniela%202020.pdf?sequence=3&amp;isAllowed=y">https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/5376/Beltran%20Rodriguez%20Daniela%202020.pdf?sequence=3&amp;isAllowed=y</a>	Universidad el Bosque	(Beltrán, et al., 2019)	Acrilamida, Glicinamida, genotoxicidad, aductos de hemoglobina, carcinogenicidad	x	x	x	x	x		
002	Evaluation of acrylamide and selected parameters in some Turkish coffee brands from the Turkish market	2019	10.1080/19440049.2019.1586454	Food Additives & Contaminants	(Akgün & Arıcı, 2019)	Acrylamide; HMF; LC-MS/MS; Turkish coffees; caffeine; chemical composition; physical properties.	x	x	x	x	x		
003	La acrilamida, contaminante químico de procesado	2007	<a href="https://www.redalyc.org/pdf/919/91924101.pdf">https://www.redalyc.org/pdf/919/91924101.pdf</a>	Revista de Toxicología	(Moreno et al., 2007)	Acrilamida, toxicidad, fuentes alimentarias, ingestas dietéticas	x	x	x	x	x		
004	Estimating the acrylamide exposure of adult individuals from coffee: Turkey	2020	10.1080/19440049.2020.1819570	Food Additives & Contaminants	(Basaran & Aydin, 2020)	Acrylamide, Turkey, coffee, dietary acrylamide intake, exposure	x	x	x	x	-----		No gratuito
005	Supercritical fluid extraction as a potential mitigation strategy for the reduction of acrylamide level in coffee	2013	10.1016/j.jfoodeng.2012.10.045	Journal of Food Engineering	(Banchero, 2013)	-----	x	x	-----	x	x		No gratuito
006	Revisión: Acrilamida en los alimentos, daños a la salud y estrategias para su inhibición	2017	<a href="https://doi.org/10.29057/icap.v3i5.2064">https://doi.org/10.29057/icap.v3i5.2064</a>	Boletín de Ciencias Agropecuarias del ICAP.	(Paulin et al., 2017)	Acrilamida, hidratos de carbono, antioxidantes, asparagina.	x	x	x	x	x		



007	Scientific Opinion on acrylamide in food	2015	<a href="https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.4104">https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.4104</a>	EFSA Journal	(EFSA, 2015)	BMD; MOE; acrylamide; exposure; food; glycidamide; risk assessment	x	x	x	x	x		
008	Acrylamide in coffee: formation and possible mitigation strategies	2020	10.1080/10408398.2019.1708264	Critical Reviews in Food Science and Nutrition	(Schouten et al., 2020)	Acrylamide, coffee, formation, mitigation, roasting	x	x	x	x	x		
009	Estimación de la exposición a acrilamida en la dieta de la población española	2020	file:///C:/Users/Usuario/Downloads/ANDREA%20BALLARIN%20GONZALEZ(1).pdf	UNIVERSIDAD COMPLUTENSE	(Ballarín, 2020)	Acrilamida, toxicidad, exposición, dieta	x	x	x	x	x		
010	ACRILAMIDA EN LOS ALIMENTOS	2007	<a href="http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182007000100001">http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182007000100001</a>	Revista chilena de nutrición	(Valenzuela & Ronco, 2007)	Acrylamide, Maillard reaction, starch-rich foods, carcinogen	x	x	x	x	x		
011	Acrylamide in potato crisps prepared from 20 UK-grown varieties: Effects of variety and tuber storage time	2015	<a href="https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.02.103">https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.02.103</a>	Food Chemistry	(Elmore et al., 2015)	Acrylamide, reducing sugars, free amino acids, potato, solanum tuberosum, crisps, colour, Maillard reaction, storage, cultivar	x	x	x	x	x		
012	Enzymatic control of the acrylamide level in coffee	2013	doi:10.1007/s00217-013-1927-8	Eur Food Res Technol	(Cha, 2013)	-----	x	x	x	x	x		No gratuito
013	Acrylamide in commercial foods and intake by infants in Estonia	2017	<a href="https://doi.org/10.1080/19440049.2017.1347283">https://doi.org/10.1080/19440049.2017.1347283</a>	Food Additives & Contaminants	(Elias et al., 2017)	Acrylamide content, comercial foods, infants, intake.	x	x	x	x	----		No gratuito

014	Acrylamide in coffee and coffee substitutes	2016	10.1016/B978-0-12-802832-2.00009-7	Acrylamide in food	(Anese, 2016)	-----	x	x	x	x	x		
015	Impact of the characteristics of fresh potatoes available in retail on exposure to acrylamide: Case study for French fries	2017	10.1016/j.foodcont.2016.11.005	Food Control	(Mesias et al., 2017)	-----	x	x	x	x	x		No gratuito
016	Informe del Comité Científico de la Agencia Española de Consumo, Seguridad Alimentaria y Nutrición (AECOSAN) sobre los criterios de seguridad que limiten la exposición a acrilamida producida por la fritura de patatas.	2017	-----	Revista del comité científico	(Cámara et al., 2017)	Patata, acrilamida, exposición, fritura	x	x	x	x	x		
017	Riesgos y Alertas Alimentarias: La Acrilamida.	2016	<a href="https://eprints.ucm.es/id/eprint/50659/">https://eprints.ucm.es/id/eprint/50659/</a>	Universidad Complutense	(Rúa, 2016)	Acrilamida, Azúcares reductores, Salud, Seguridad Alimentaria, Fritura, Tostado	x	x	x	x	x		
018	Important factors to consider for acrylamide mitigation in potato crisps using pulsed electric fields	2019	<a href="https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.05.008">https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.05.008</a>	Innovative Food Science & Emerging Technologies	(Genovese et al., 2019)	Potato crisps, acrylamide, electroporation, mass transfer, colour, texture	x	x	x	x	x		Información irrelevante
019	A Review of Current Methods for the Determination of Acrylamide in Food Products	2012	10.1007/s12161-011-9277-2	Food Analytical Methods	(Kepekci et al., 2012)	Acrylamide, food, cancer, analysis, chromatography, review	x	x	x	x	-----		No gratuito
020	Acrilamida en alimentos: una visión desde la investigación científica.	2019	<a href="https://digital.csic.es/handle/10261/203194">https://digital.csic.es/handle/10261/203194</a>	Revista ACTA	(Morales et al., 2019)	Seguridad alimentaria, contaminante químico, acrilamida, procesado térmico	x	x	x	x	x		
021	Stabilisation of sunflower oil and reduction of acrylamide formation of potato with rosemary extract during deep-fat frying.	2014	<a href="https://www.researchgate.net/profile/Simona-Urbancic/publication/284814867_Stabilisation_of_sunflower_oil_and_reduction_of_acrylamide_formation_of_potato_rosemary_extract_during_deep-fat_frying/links/5d00d27f92851c874c5fd3f4/Stabilisation-of-sunflower-oil">https://www.researchgate.net/profile/Simona-Urbancic/publication/284814867_Stabilisation_of_sunflower_oil_and_reduction_of_acrylamide_formation_of_potato_rosemary_extract_during_deep-fat_frying/links/5d00d27f92851c874c5fd3f4/Stabilisation-of-sunflower-oil</a>	LWT-food science and technology	(Urbančič, et al., 2014)	Rosemary extract, acrylamide, sunflower oil, deep-fried potato, frying	x	x	x	x	-----		

022	La acrilamida en el procesamiento de los alimentos	2016	<a href="http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v82n1/a01v82n1.pdf">http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v82n1/a01v82n1.pdf</a>	Revista de la Sociedad Química	(Muñoz, 2016)	-----	x	x	x	x	x		Información repetida
023	Acrylamide in processed potato products.	2013	10.1007/s12230-013-9321-4	American Journal of Potato Research	(Bethke & Bussan, 2013)	Solanum tuberosum, acrylamide and glicidamide, glucose and fructose, chip and fry color, neurotoxin, cancer	x	x	x	x	x		
024	Acrylamide in coffee: Influence of processing. En Processing and Impact on Active Components in Food	2015	<a href="https://doi.org/10.1016/B978-0-12-404699-3.00069-X">https://doi.org/10.1016/B978-0-12-404699-3.00069-X</a>	Academic Press	(Soares et al., 2015)	Antioxidants; EPR spectroscopy; Flavour; Melanoidins; Oxidation; Spin trapping; Storage	x	x	x	x	x		
025	The determination of acrylamide content in brewed coffee samples marketed in Turkey	2020	<a href="https://www.researchgate.net/profile/Burhan-Basaran/publication/337095233_The_determination_of_acrylamide_content_in_brewed_coffee_samples_marketed_in_Turkey/links/61bf87564b318a6970f24b2f/The-determination-of-acrylamide-content-in-brewed-coffee-samples-m">https://www.researchgate.net/profile/Burhan-Basaran/publication/337095233_The_determination_of_acrylamide_content_in_brewed_coffee_samples_marketed_in_Turkey/links/61bf87564b318a6970f24b2f/The-determination-of-acrylamide-content-in-brewed-coffee-samples-m</a>	Food Additives & Contaminants	(Basaran & Aydin, 2020)	Acrylamide; coffee; Turkish coffee; instant coffee; LC-MS/MS	x	x	x	x	-----		Información irrelevante
026	Acrylamide formation during the processing of food. A review.	2017	<a href="https://www.scielo.sa.cr/pdf/rcsp/v25n2/1409-1429-rcsp-25-02-28.pdf">https://www.scielo.sa.cr/pdf/rcsp/v25n2/1409-1429-rcsp-25-02-28.pdf</a>	Revista Costarricense de Salud Pública	(Chaves et al., 2015)	2-propenamida; acrilamida; asparagina; azúcares reductores; maillard	x	x	x	x	x		
027	Evaluación Del Riesgo De Exposición Alimentaria a Acrilamida En España	2015	<a href="https://roderic.uv.es/bitstream/handle/10550/43885/MolinaPeriz.pdf?sequence=2&amp;isAllowed=y">https://roderic.uv.es/bitstream/handle/10550/43885/MolinaPeriz.pdf?sequence=2&amp;isAllowed=y</a>	Repositorio Universidad de Valencia	(Molina, 2015)	-----	x	x	x	x	x		
028	Reassessment of the acrylamide risk: Belgium as a case-study	2016	<a href="https://www.favv-afscs.be/scientificcommittee/publications/articles/_documents/Claeys_et_al_2016_Acrylamide_risk_-_case-study_Belgium.pdf">https://www.favv-afscs.be/scientificcommittee/publications/articles/_documents/Claeys_et_al_2016_Acrylamide_risk_-_case-study_Belgium.pdf</a>	Food Control	(Claeys et al., 2016)	Acrylamide, exposure, trend observation, risk assessment, risk policy	x	x	x	-----	-----		Información irrelevante
029	Levels of acrylamide in commercial potato crisps sold in Nairobi county, Kenya	2015	<a href="http://article.foodnutritionresearch.com/pdf/jfnr-3-8-4.pdf">http://article.foodnutritionresearch.com/pdf/jfnr-3-8-4.pdf</a>	Journal of Food and Nutrition Research	(Ogolla et al., 2015)	Acrylamide, potato chips, carcinogen, colour, processing	x	x	x	-----	-----		Información irrelevante

030	Evaluación de la capacidad de la cafeína para evitar la progresión de la fibrosis hepática inducida con tioacetamida en la rata.	2019	<a href="https://repositorio.cinvestav.mx/bitstream/handle/cinvestav/1118/SSIT0016183.pdf?sequence=1">https://repositorio.cinvestav.mx/bitstream/handle/cinvestav/1118/SSIT0016183.pdf?sequence=1</a>	Centro de Investigación y de estudios avanzados del Instituto Politécnico Nacional	(Acero, 2019)	-----	x	x	x	x	-----		
031	Application of handheld and portable spectrometers for screening acrylamide content in commercial potato chips.	2015	10.1016/j.foodchem.2014.11.001	Food Chemistry	(Ayvaz & Rodriguez, 2015)	Acrylamide, potato chips, handheld spectrometers, portable spectrometers, NIR, MIR	x	x	x	x	x		
032	Determination of acrylamide in selected foods from the romanian market	2021	10.3390/foods10092110	Foods	(Pogurschi et al., 2021)	Acrylamide, bread, exposure, Arabica ground roasted coffee, potato chips, pretzels	x	x	x	----	----		Información irrelevante
033	EVALUACIÓN In vivo DEL POTENCIAL EFECTO PROTECTOR DE Lactobacillus reuteri y Lactobacillus casei Shirota CONTRA EL EFECTO TÓXICO DE ACRILAMIDA.	2016	file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Ramirez-Ortiz%20K%20del%20R_MC_2016.pdf	Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C.	(Ramírez, 2016)	Acrilamida, glicidamida, probióticos, modelo murino	x	x	x	x	x		
034	Acrylamide in coffee: Estimation of exposure from vending machines	2016	<a href="https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.02.005">https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.02.005</a>	Journal of Food Composition and Analysis	(Mesías & Morales, 2016)	Acrylamide, coffee, exposure, processing contaminantes, food analysis, food composition, food safety	x	x	x	----	----		No gratuito
035	DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS TÍTULO : “ Revisión : Acrilamida en Alimentos	2022	----	Repositorio Universidad Nacional de Frontera	(Estrada & Dioses, 2022)	acrilamida, asparagina, carbohidrato, carcinógeno.	x	x	x	x	x		
036	Study of the parameters of extraction of acrylamide in potato snack (Solanum tuberosum) in Colombia	2020	<a href="https://doi.org/10.18684/bsaa.v18n1.1408">https://doi.org/10.18684/bsaa.v18n1.1408</a>	Biología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial	(Patiño, et al., 2020)	Fritura, cáncer, reacción de maillard, toxicidad en alimentos	x	x	x	x	----		
037	Association between acrylamide exposure and sex hormones in males: NHANES	2020	doi:10.1371/journal.pone.0234622	PloS one	(Chu et al., 2020)	-----	-----	x	x	x	----		Información irrelevante

038	ACRILAMIDA: Formación y mitigación en procesamiento industrial de alimentos.	2014	-----	Corporación Universitaria Lasallista	(Echeverri, et al., 2014)	-----	x	x	x	x	x		
039	Influence of the frying process and potato cultivar on acrylamide formation in French fries	2016	10.1016/j.foodcont.2015.10.028	Food Control	(Yang et al., 2016)	Asparagine, colour, oil uptake, reducing sugars, sucrose, texture	x	x	x	-----	-----		Información irrelevante
040	The Maillard reaction products as food-borne antioxidant and antibrowning agents in model and real food systems.	2018	doi:10.1016/j.foodchem.2018.09.083	Food Chemistry	(Nooshkam, et al., 2018)	Antibrowning, antioxidant mechanism, free radicals, lipid radicals, lipid oxidation, Maillard reaction, Maillard reaction products, metal chelation, reducing capacity	x	x	x	x	-----		
041	Acrylamide in Romanian food using HPLC-UV and a health risk assessment	2015	10.1080/19393210.2015.1010240	Food Additives & Contaminants	(Oroian et al., 2015)	Acrylamide, HPLC, DAD detector, coffee, french fries, potato chips	x	x	x	-----	-----		No gratuito
042	La acrilamida en los alimentos y la salud humana.	2020	<a href="https://www.researchgate.net/publication/342692260">https://www.researchgate.net/publication/342692260</a>	Revista Methodo	(Lerda, 2020)	acrilamida; análisis y mitigación; mecanismos de formación; metabolización; metodologías de; s; toxicidad	x	x	x	x	x		
043	Determination of acrylamide levels in potato crisps and other snacks and exposure risk assessment through a Margin of Exposure approach	2017	<a href="https://doi.org/10.1016/j.fct.2017.08.006">https://doi.org/10.1016/j.fct.2017.08.006</a>	Food and Chemical Toxicology	(Esposito et al., 2017)	Acrylamide, margin of exposure, potato chips, savoury snacks, risk characterization	x	x	-----	-----	-----		No gratuito
044	ACRILAMIDA EN ALIMENTOS SOMETIDOS A TRATAMIENTOS TÉRMICO.	2015	<a href="https://www.google.com/url?sa=t&amp;rct=j&amp;q=&amp;esrc=s&amp;source=web&amp;cd=&amp;cad=rja&amp;uact=8&amp;ved=2ahUKEwjiucb2hqb9AhUCSjABHSuuBOQQFnoECBEQAQ&amp;url=https%3A%2F%2Fbibliotecadigital.univalle.edu.co%2Fbitstream%2Fhandle%2F10893%2F9931%2FCB-0551941.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy&amp;usq=AOvVaw3CJRNmRc9s8s4-_h-ZCb_u">https://www.google.com/url?sa=t&amp;rct=j&amp;q=&amp;esrc=s&amp;source=web&amp;cd=&amp;cad=rja&amp;uact=8&amp;ved=2ahUKEwjiucb2hqb9AhUCSjABHSuuBOQQFnoECBEQAQ&amp;url=https%3A%2F%2Fbibliotecadigital.univalle.edu.co%2Fbitstream%2Fhandle%2F10893%2F9931%2FCB-0551941.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy&amp;usq=AOvVaw3CJRNmRc9s8s4-_h-ZCb_u</a>	Repositorio Universidad del Valle	(Fernández, 2015)	Acrilamida, alimentos procesados, temperatura, tratamientos térmicos.	x	x	x	x	x		
045	Ultrasound as a pretreatment to reduce acrylamide formation in fried potatoes.	2018	doi:10.1016/j.ifset.2018.08.010	Innovative Food Science & Emerging Technologies	(Antunes et al., 2018)	Ultrasound, acrylamide, potato, mass transfer	x	x	x	x	-----		

046	Acrylamide concentrations in potato crisps in Europe from 2002 to 2011.	2013	doi:10.1080/19440049.2013.805439	Food Additives & Contaminants	(Powers, et al., 2013)	LC-MS/MS, statistical analysis, acrylamide, potatoes, snack products	x	x	x	x	----		
047	EVALUACIÓN DE NIVELES DE ACRILAMIDA EN ALIMENTOS COLOMBIANOS	2014	<a href="https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/16060/GarzonBelenaAngelicaMaria2014.pdf?sequence=1">https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/16060/GarzonBelenaAngelicaMaria2014.pdf?sequence=1</a>	Repositorio Pontificia Universidad Javeriana	(Garzón, 2014)	----	x	x	x	x	----		No gratuito
048	Acrylamide in commercial potato crisps from Spanish market: Trends from 2004 to 2014 and assessment of the dietary exposure	2015	<a href="https://digital.csic.es/bitstream/10261/114550/1/Acrylamide_in_commercial_potato_crisps.pdf">https://digital.csic.es/bitstream/10261/114550/1/Acrylamide_in_commercial_potato_crisps.pdf</a>	Food and Chemical Toxicology	(Mesías & Morales, 2015)	Potato crisps, acrylamide, dietary intake, exposure, trend	----	x	----	----	----		Información irrelevante
049	Desarrollo de un método analítico para la cuantificación de acrilamida en tostadas de tortillas de maíz procedentes de Monterrey (México) y estimación de la exposición dietética	2017	<a href="https://ddd.uab.cat/pub/tesis/2017/hdl_10803_405408/mesl1de1.pdf">https://ddd.uab.cat/pub/tesis/2017/hdl_10803_405408/mesl1de1.pdf</a>	Universidad Autónoma de Barcelona	(Santos, 2017)	----	x	x	x	----	----		Información repetida
050	Efecto de la temperatura de escaldado y frito en el contenido de acrilamida de papa nativa, oca y mashua amarilla.	2018	<a href="https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5052/T010_76622535_T.pdf">https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5052/T010_76622535_T.pdf</a>	Repositorio Universidad Nacional del Centro del Perú	(Yaranga, 2019)	----	x	x	x	x	x		
051	Impacto en la formación de acrilamida a partir de aditivos de especias culinarias con actividad antioxidante.	2020	<a href="https://doi.org/10.18633/biotecnia.v2i2.1254">https://doi.org/10.18633/biotecnia.v2i2.1254</a>	Biotecnia	(Graciano, et al., 2020)	Especias culinarias, antioxidantes, aditivos, acrilamida, cromatografía de líquidos	x	x	x	x	----		
052	Acrylamide in food products: A review.	2014	<a href="https://www.researchgate.net/profile/T-Krishnakumar-2/publication/276406200_Acrylamide_in_Food_Products_A_Review/links">https://www.researchgate.net/profile/T-Krishnakumar-2/publication/276406200_Acrylamide_in_Food_Products_A_Review/links</a>	Journal of Food Processing & Technology	(Krishnakumar & Visvanathan, 2014)	acrylamide; asparagine; bakery; cereal; maillard reaction; potato products	x	x	x	x	x		
053	Efectos patogénicos de la acrilamida para la salud. Una revisión	2022	<a href="http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&amp;pid=S1684-18242022000200388">http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&amp;pid=S1684-18242022000200388</a>	Revista Medica electronica	(Rufin et al., 2022)	acrilamida, salud, toxicidad, genotoxicidad, carcinogenicidad, neurotoxicidad	x	x	x	x	x		

054	Aplicación del método de espectroscopia infrarroja para la identificación de acrilamida en papas tipo chips	2015	<a href="https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/8307/">https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/8307/</a>	Universidad de El Salvador Sistema Bibliotecario	(García & Ventura, 2019)	----	x	x	x	x	x		
055	Acrylamide levels in coffee powder, potato chips and French fries in Addis Ababa city of Ethiopia	2021	doi:10.1016/j.foodcont.2020.107727	Food Control	(Deribew & Woldegiorgis, 2021)	Acrylamide, exposure, coffee, potato chips, french fries	x	x	x	----	----		No gratuito
056	Evaluación de los niveles de concentración de acrilamida en alimentos térmicamente procesados	2018	<a href="http://tauja.ujaen.es/bitstream/10953.1/9379/1/TFG_Hermosilla_Parrado_Laura.pdf">http://tauja.ujaen.es/bitstream/10953.1/9379/1/TFG_Hermosilla_Parrado_Laura.pdf</a>	Repositorio Universidad de Jaen	(Hermosilla, 2018)	----	x	x	x	x	x		
057	Evaluación del riesgo toxicológico de la acrilamida del café de las marcas más consumidas en la zona urbana de la ciudad de Cuenca.	2019	<a href="http://dspace.ucuenc.a.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/32753/1/Trabajo de Titulación.pdf">http://dspace.ucuenc.a.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/32753/1/Trabajo de Titulación.pdf</a>	Repositorio Universidad de Cuenca	(Uday, 2019)	Acrilamida. Café. Riesgo toxicológico. Margen de exposición	x	x	x	x	x		
058	Acrylamide formation in fried potato products – Present and future, a critical review on mitigation strategies	2012	10.1016/j.foodchem.2011.08.001	Food Chemistry	(Vinci et al., 2012)	Acrylamide, fried potato product, french fries, mitigation strategies, lab scale test, industrial production, risk management	x	x	x	x	x		No gratuito
059	Acrilamida y su presencia en los alimentos	2017	<a href="http://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/28391/1/TFG-O1102.pdf">http://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/28391/1/TFG-O1102.pdf</a>	Universidad de Valladolid	(Sáenz, 2017)	Acrilamida, reacción de Maillard, tóxicos alimentarios, cáncer.	x	x	x	x	x		
060	Processing effects on acrylamide content in roasted coffee production	2020	doi:10.1016/j.foodchem.2020.126550	Food Chemistry	(Esposito et al., 2020)	Acrylamide, bromination, GC-MS, process optimization, roasting degree, Robusta, solid phase extraction	x	x	x	----	----		No gratuito
061	Occurrence of acrylamide carcinogen in Arabic coffee Qahwa, coffee and tea from Saudi Arabian market	2017	10.1038/srep41995	Scientific reports	(Khan et al., 2017)	----	x	x	x	----	----		No gratuito