



Universidad
Católica de
Valencia
San Vicente Mártir

TFG

TRABAJO FIN DE GRADO

**GRADO EN
VETERINARIA**

ACRILAMIDA EN PATATAS, PREVENCIÓN Y CONTROL

Carmen Parrales Falero
María Jesús Domínguez Gómez
Curso académico 2023/2024



**Facultad de Veterinaria
y Ciencias Experimentales**
Universidad Católica de Valencia
San Vicente Mártir

Índice de contenidos

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	3
1.1 Peligros derivados de la producción de alimentos en la industria alimentaria	3
1.2 Acrilamida	4
1.2.1 Tubérculos y acrilamida	7
1.2.2 Marco Legal	11
2. OBJETIVOS	13
3. MATERIAL Y MÉTODOS	14
3.1 Metodología	14
3.1.1 Criterios de inclusión	15
3.1.2 Criterios de exclusión	15
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	16
4.1 Resultados del análisis bibliométrico	16
4.2 Factores que afectan a la formación de acrilamida	18
4.3 Métodos de medición	22
4.4 Métodos de reducción	24
5. CONCLUSIONES	29
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de los agentes químicos por sus propiedades cancerígenas según la Agencia Internacional de Investigación del Cáncer (IARC).....	5
Tabla 2. Clasificación de posibles carcinógenos para el ser humano según la American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH)	6
Tabla 3. Composición química de la patata	8
Tabla 4. Niveles de acrilamida en $\mu\text{g}/\text{kg}$ por grupos de alimentos.....	10
Tabla 5. Número de artículos a partir de las diferentes ecuaciones de búsqueda seleccionadas.	16
Tabla 6. Datos de las variables de estudio para evaluar la formación de acrilamida entre patatas recién cosechadas y almacenadas durante 4 meses	19
Tabla 7. Porcentaje de eliminación de acrilamida según la actividad de agua en patatas fritas sometidas a 60°C durante 1 hora	21

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Formación acrilamida	4
Figura 2. Producción de patatas en el año 2022	9
Figura 3. Periodo año de publicación de los diferentes artículos seleccionados para la discusión.....	17
Figura 4. Total de publicaciones empleadas clasificadas por año de publicación.....	17
Figura 5. Formación acrilamida según método cocción.....	20
Figura 6. Formación acrilamida según inmersión en diferentes polisacáridos	25

RESUMEN

La acrilamida es un contaminante químico alimentario y posible carcinógeno que se forma a partir de azúcares reductores y aminoácidos, cuando alimentos ricos en carbohidratos se someten a altas temperaturas. El objetivo de este trabajo ha sido comprender los diferentes factores que influyen en la formación de acrilamida en la patata. Así como, hallar la estrategia más efectiva para reducir su formación y los métodos de detección más eficaces.

La búsqueda bibliográfica se llevó a cabo a través de Pubmed, Google scholar y SciELO, abarcando publicaciones desde el año 2004 hasta 2024. Se utilizaron términos clave en inglés como “acrylamide and potatoes” y se acotó la búsqueda con términos específicos como “not coffee”. Se aplicaron criterios de inclusión y exclusión para delimitar los artículos de interés.

Son muchos los factores que se han ido evaluando para conocer la formación de acrilamida en patatas, dependiendo principalmente de la temperatura, asparagina libre y duración del proceso. Además, la combinación de Cromatografía de Gases-Espectrometría de Masas y Cromatografía Líquida-Espectrometría de masas en Tándem es la técnica más efectiva. NIRS o biosensores se plantean como alternativa, aunque se necesitan más estudios. En cuanto a su mitigación, la inmersión en polisacáridos y el uso de L-asparaginasa destacan como métodos prometedores.

Palabras clave: *Polisacáridos, temperatura, almacenamiento, biosensores, NIRS, L-Asparaginasa*

ABSTRACT

Acrylamide is a food chemical contaminant and possible carcinogen that is formed from reducing sugars and amino acids when carbohydrate-rich foods are subjected to high temperatures. The objective of this work has been to understand the different factors that influence the formation of acrylamide in potato. Also, to find the most effective strategy to reduce its formation and the most efficient detection methods.

The literature search was carried out through Pubmed, Google scholar and sciELO, covering publications from 2004 to 2024. Key terms such as “acrylamide and potatoes” were used and the search was narrowed down with specific terms such as “not coffee”. Inclusion and exclusion criteria were applied to delimit the articles of interest.

Many factors have been evaluated to know the formation of acrylamide in potatoes, depending mainly on temperature, free asparagine and duration of the process. In addition, the combination of Gas Chromatography_Mass Spectrometry and Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry is the most effective technique. NIRS or biosensors are raised as an alternative, although further studies are needed. In terms of mitigation, immersion in polysaccharides and the use of L-asparaginase stand out as promising methods.

Keywords: *Polysaccharides, temperature, storage, biosensors, NIRS, L-Asparaginase*

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Peligros derivados de la producción de alimentos en la industria alimentaria

Los contaminantes son sustancias que se encuentran en los alimentos sin ser añadidos intencionalmente, siendo el resultado de diversas etapas a lo largo de la cadena alimentaria, desde la producción hasta el almacenamiento, pasando por la fabricación, transformación, tratamiento y envasado, así como debido a la contaminación medioambiental. Esta contaminación suele afectar negativamente la calidad de los alimentos y puede representar un riesgo para la salud humana. Por tanto, resulta crucial mantener estos contaminantes en niveles aceptables desde el punto de vista toxicológico (AESAN, 2023).

La seguridad alimentaria es una de las grandes preocupaciones a nivel mundial para los consumidores. Aunque los incidentes de intoxicación alimentaria a causa de contaminación microbiana siguen estando a la cabeza en los últimos años, los riesgos para la salud derivados de la contaminación química son significativos (A.Ali y M.H.Akhtar, 2003).

Los contaminantes más comunes provienen de diversas fuentes, como pesticidas y herbicidas, productos químicos ambientales (PCB, dioxinas y metales pesados, incluidos el plomo, mercurio, arsénico, cadmio), contaminantes químicos generados durante el procesamiento de alimentos (acrilamida, furanos, aminas heterocíclicas, hidrocarburos aromáticos policíclicos, productos de glicación avanzada), así como contaminantes naturales tóxicos (glicoalcaloides y micotoxinas), sustancias químicas migradas de materiales de envasado, medicamentos veterinarios, residuos de antibióticos, hormonas y otros residuos químicos (EFSA, 2023).

Además de la presencia de contaminantes no deseados, la calidad y seguridad de los alimentos pueden verse afectadas por la inclusión de ciertos aditivos alimentarios, fitonutrientes, la exposición a la irradiación y otros compuestos. La creciente demanda de alimentos seguros y saludables presenta desafíos tanto para los productores de alimentos como para las agencias reguladoras encargadas de velar por la seguridad alimentaria. (A.Ali y M.H.Akhtar, 2003).

1.2 Acrilamida

La acrilamida es una sustancia química que se forma en los productos alimenticios que contienen almidón, cuando son sometidos a procesos culinarios a temperaturas superiores a 120°C y con baja humedad (ELIKA, 2021).

Se forma principalmente a partir de azúcares y aminoácidos (mayormente la asparagina) que están presentes naturalmente en muchos alimentos (EFSA, 2015).

El proceso químico principal que causa este pardeamiento se conoce como Reacción de Maillard y es responsable de dar el color «tostado» a ciertos alimentos, influyendo además en su sabor (EFSA, 2015).

La reacción de Maillard es una reacción de pardeamiento no enzimático que engloba una serie de reacciones químicas complejas mediante las cuales los azúcares reductores pueden reaccionar con un grupo amino libre, proveniente de un aminoácido o de una proteína y producir una serie de pigmentos de color pardo y modificaciones del olor y sabor que pueden ser deseables en el caso de fritura, pero además pueden dar lugar a la formación de compuestos indeseables como la acrilamida. Por lo tanto, la formación de acrilamida (Figura 1) depende de la presencia de los precursores (azúcares libres y el aminoácido) además de las variables tiempo, temperatura y humedad ya mencionadas (Ballarín González, 2020).

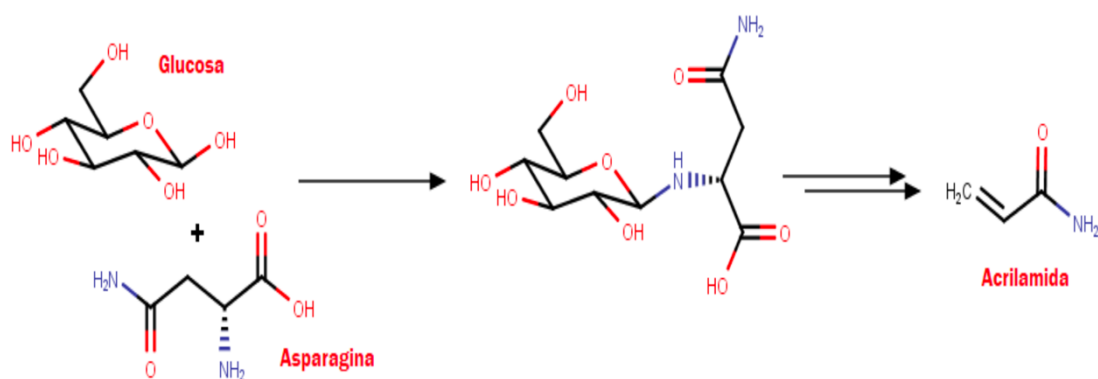


Figura 1. Formación acrilamida (Ballarín González, 2020)

La acrilamida es objeto de estudio durante años debido a su constante presencia en productos consumidos por los seres humanos y las reacciones que desencadena.

La Agencia Internacional de Investigación del Cáncer (IARC) ha evaluado la acrilamida y, basándose en los resultados de experimentos con animales, la ha clasificado en humanos (Grupo 2A), como se observa en la Tabla 1. Esta clasificación se debe a que la acrilamida se metaboliza en el cuerpo humano en un compuesto llamado glicidamida, que posee actividad genotóxica, especialmente en el sistema nervioso (International Agency for Research on Cancer. y World Health Organization., 1994).

Tabla 1. Clasificación de los agentes químicos por sus propiedades cancerígenas según la Agencia Internacional de Investigación del Cáncer (IARC) (Agents Classified by the IARC Monographs, Volumes 1–135 – IARC Monographs on the Identification of Carcinogenic Hazards to Humans, 2023).

Grupo 1	Carcinógeno para el ser humano	128 agentes
Grupo 2A	Probablemente carcinógeno para el ser humano	95 agentes
Grupo 2B	Posiblemente carcinógeno para el ser humano	323 agentes
Grupo 3	No clasificable en cuanto a su carcinogenicidad para los seres humanos	500 agentes

También ha sido evaluada por la Agencia Estadounidense de Protección Medioambiental (EPA) en la categoría B2, ambas sustancias definidas como “probablemente carcinogénica en humanos” (AECOSAN, 2017).

Por otro lado, como se muestra en la Tabla 2, *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH) la clasifica en la categoría A3, definida como “carcinogénica en animales, desconocido en humanos”. Pero hasta la fecha los resultados sobre experimentación en humanos no son concluyentes en cuanto a su toxicidad, puesto que cualquier nivel de exposición a una sustancia genotóxica podría dañar de forma potencial el ADN y conllevar la aparición de cáncer (AECOSAN, 2017).

Tabla 2. Clasificación de posibles carcinógenos para el ser humano según la *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH) (PREVOR, 2018).

Grupo A1	Carcinógenos conocidos en el ser humano	Grupo 1 de IARC
Grupo A2	Carcinógenos con sospecha de serlo en el ser humano	Grupo 2A de IARC
Grupo A3	Carcinógenos en los animales con relevancia desconocida en el ser humano	Grupo 2B de IARC
Grupo A4	No clasificados como carcinógenos en humanos	Grupo 3 de IARC
Grupo A5	No sospechoso como carcinógeno en humanos	-----

La Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (AESA) ha concluido que no se puede establecer una ingesta diaria tolerable (TDI) de acrilamida en alimentos. En su lugar, AESA ha estimado la dosis de acrilamida que tiene probabilidad de causar una pequeña pero apreciable incidencia de tumores (llamado efecto neoplásico) u otros efectos adversos potenciales (neurológicos, en el desarrollo pre y post- natal y en la reproducción masculina) (AECOSAN, 2017).

El límite mínimo para los efectos carcinógenos (límite mínimo de confianza para la dosis de referencia, BMDL10) es determinado por EFSA en un BMDL10 de 0,17 mg/kg peso corporal/día. Para otros efectos, los cambios neurológicos más relevantes que se han observado fueron aquellos con un BMDL10 de 0,43 mg/kg peso corporal/día (European Food Safety Authority., 2015).

Aunque no se ha demostrado epidemiológicamente que la acrilamida sea un carcinógeno humano, el margen de exposición supone una preocupación respecto a efectos neoplásicos basados en evidencias en animales (AECOSAN, 2017).

Cabe destacar que la población infantil es grupo más susceptible a los efectos negativos de la acrilamida, principalmente a través del consumo de alimentos como patatas fritas, que representan gran parte de su ingesta, así como otros productos derivados de cereales como pan de molde, cereales de desayuno, galletas, tostadas y bollería. La EFSA, en su evaluación de riesgos realizada en 2015, determinó que los niveles actuales de exposición a la acrilamida a través de la dieta no presentan un riesgo significativo para la salud en general. Sin embargo, para los niños pequeños con una alta ingesta dietética de acrilamida, la relación de la dosis umbral (MOE) se aproxima a niveles que podrían ser considerados preocupantes (ELIKA, 2021).

1.2.1 Tubérculos y acrilamida

La planta de patata (*Solanum tuberosum*), miembro de la familia Solanaceae, es una herbácea perenne que produce tubérculos comestibles bajo tierra. Prefiere suelos ligeramente ácidos, bien drenados y fértiles. Alcanzando una altura de hasta 50 centímetros, estas plantas tienen un sistema de raíces relativamente corto, concentrado principalmente en los 2 pies superiores (60 cm) del suelo. Una planta de patata sana puede generar entre 3 y 25 tubérculos (FEN. Fundación Española de la Nutrición, 2013).

Los valores de composición de la patata se muestran en la tabla 3, pudiendo variar según la variedad y las condiciones de crecimiento. El almidón constituye aproximadamente el 70% de los sólidos totales y el tubérculo fresco está compuesto principalmente por parénquima de almacenamiento, que almacena los gránulos de almidón como reserva (Singh, 2009).

Tabla 3. Composición química de la patata (Singh, 2009).

COMPONENTE	CONTENIDO
Materia seca	15 - 28%
Almidón	12,6 - 18,2%
Glucosa	0,01 - 0,6%
Fructosa	0,01 - 0,6%
Sacarosa	0,13 - 0,68%
Fibra dietética	1 - 2%
Lípidos	0,075 - 0,2%
Proteína	0,6 - 2,1%
Asparagina	110 - 529 mg/100g
Glutamina	23 - 409 mg/ 100g
Prolina	2 - 209 mg/100g
Otros aminoácidos	0.2 - 117 mg/100 g
Polifenoles	123-441 mg/100 g
Carotenoides	0.05-2 mg/100 g
Tocoferoles	Hasta 0,3 mg/100 g
Tiamina B1	0.02-0.2 mg/100 g
Riboflavina	0.01-0.07 mg/100 g
Vitamina B6	0.13-0.44 mg/100 g
Vitamina C	8-54 mg/100 g
Vitamina E	~0.1 mg/100 g
Ácido fólico	0.01-0.03 mg/100 g
Nitrógeno	0.2-0.4%
Potasio	280-564 mg/100 g
Fósforo	30-60 mg/100 g
Calcio	5-18 mg/100 g
Magnesio	14-18 mg/100 g
Hierro	0.4-1.6 mg/100 g
Zinc	~0.3 mg/100 g
Glicoalcalóides	< 20 mg/100 g

Este tubérculo ocupa el cuarto lugar entre los cultivos alimentarios más importantes del mundo, siendo superada solo por el trigo, el maíz y el arroz. Según datos de la base de datos estadísticos corporativos de la Organización para la Agricultura y Alimentación (FAOSTAT), como se muestra en la Figura 2, en 2022 se produjeron 375 millones de toneladas de patatas frescas a nivel mundial, siendo China (95,5 millones de toneladas) y la India (56 millones de toneladas), los principales productores. En total, la superficie cosechada a nivel mundial fue de 17.788.408 hectáreas (FAOSTAT, 2022).

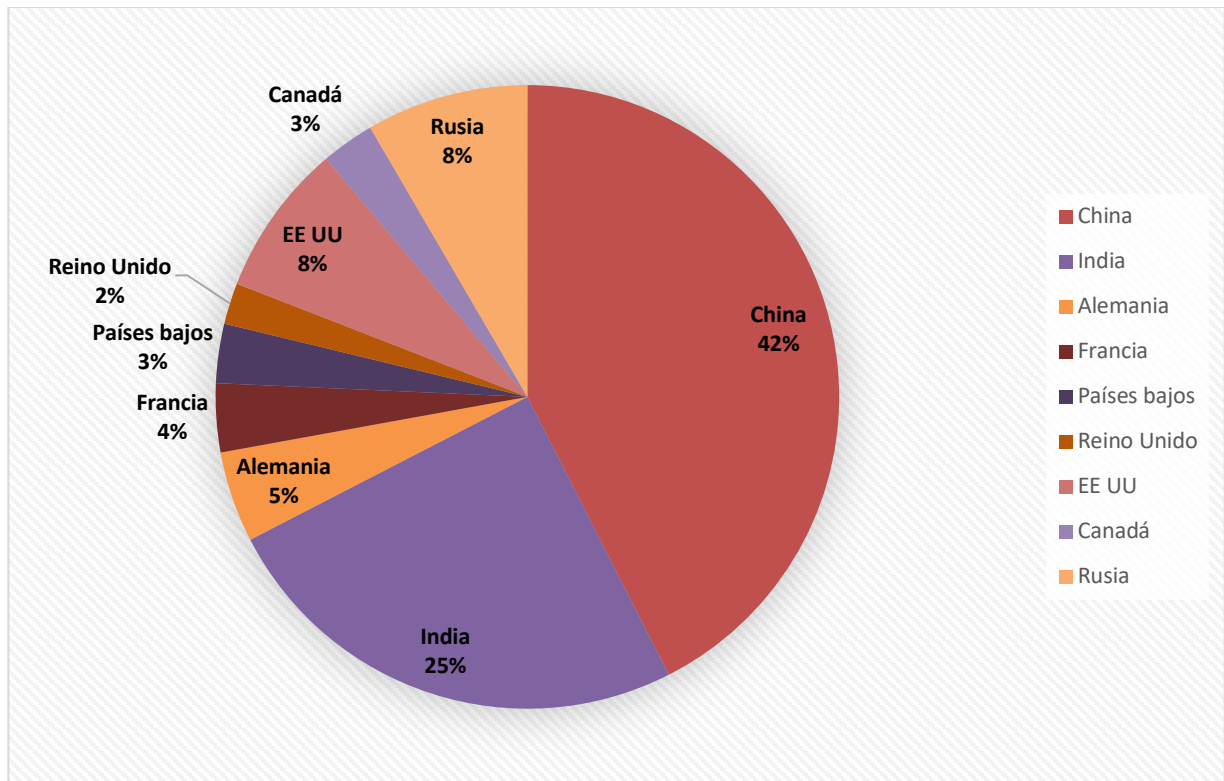


Figura 2. Producción de patatas en el año 2022 (FAOSTAT, 2022).

En los últimos años, la producción de patatas ha experimentado un crecimiento notable tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo, superando el ritmo de otros cultivos de tubérculos o raíces, gracias a su alta productividad por unidad de área y su valor nutricional (Karim et al., 1997) (Singh, 2009).

En 2022, cada español consumió 26,4 kilos de patatas, siendo uno de los alimentos más consumidos (MAPA, 2022).

Las pautas para la venta de este están establecidas en el Real Decreto 31/2009, de 16 de enero, que aprueba la norma de calidad comercial para las patatas destinadas al consumo en el mercado nacional (BOE, 2009).

Por otro lado, la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) proporciona una visión general de los alimentos que contribuyen a la exposición a la acrilamida según grupos de edad en la población. Según su análisis, para los adultos, las patatas asadas, fritas y los productos derivados de patatas fritas representan aproximadamente la mitad de la exposición media, seguidos por el café y el pan blanco (AECOSAN, 2017).

La Tabla 4 muestra los niveles de acrilamida encontrados en $\mu\text{g}/\text{kg}$, clasificados por grupos de alimentos. Se destaca que los niveles más altos se registraron en "sustitutos de café (en seco)" con 1499 $\mu\text{g}/\text{kg}$, seguido por el café (en seco) con 522 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Además, se observan niveles significativos en "papas fritas tipo snacks" con 389 $\mu\text{g}/\text{kg}$ y productos fritos de papa con 308 $\mu\text{g}/\text{kg}$, lo que impulsa a centrar este estudio en los tubérculos (Barón Cortés, 2016).

Tabla 4. Niveles de acrilamida en $\mu\text{g}/\text{kg}$ por grupos de alimentos. Adaptado de (*Scientific Opinion on Acrylamide in Food, 2015*).

Categoría	n^1	Media	P95
Productos de papa frita (excepto papa frita tipo snacks)	1451	308	971
Papas fritas tipo snacks	34431	389	932
Pan	278	42	156
Cereales para el desayuno	1057	161	552
Galletas dulces, saladas y similares	1693	265	1048
Café	1406	522	1054
Sustitutos del café	82	1499	4500
Alimentos para bebé, diferentes a los basados en cereales	138	24	72
Alimentos para bebé, basados en cereales	529	73	175
Otros productos basados en papa, cereales y cocoa	382	87	370
Otros productos	65	330	1510

n^1 : Número de muestras

P95: nivel de contaminación del percentil 95 presentado como límite medio (MB) estimar

1.2.2 Marco Legal

El marco legal relacionado con la acrilamida varía según la jurisdicción, regido por diferentes normativas según cada país o región.

A nivel europeo se encuentra el *Reglamento (CEE) N.º 315/1993 del Consejo, de 8 de febrero de 1993, por el que se establecen procedimientos comunitarios en relación con los contaminantes presentes en los productos alimenticios*. Este tiene como objetivo garantizar que los alimentos que se comercializan sean seguros para los consumidores (BOE, 1993).

En noviembre de 2017, se promulgó el Reglamento (UE) 2017/2158 de la Comisión, el cual establece medidas y niveles de referencia para reducir la presencia de acrilamida en los alimentos. Este nuevo reglamento incluye Códigos de Prácticas (CoP) vinculantes, diseñados para disminuir los niveles de esta sustancia en los productos destinados al consumo directo o para su preparación en el hogar. Asimismo, proporciona valores de referencia específicos, detallados en el anexo IV del reglamento, para detectar la acrilamida en los productos alimenticios (EUR-Lex, 2017).

Además, este marco legal se complementa con un Documento Guía, publicado en 2019 (2019/1888), que busca garantizar la aplicación coherente del reglamento. Este documento aclara aspectos como la categorización de los alimentos afectados, las responsabilidades de las empresas según su actividad, los valores de referencia aplicables y los requisitos de muestreo, análisis y mantenimiento de registros. (BOE, 2019).

Desde la implementación del reglamento y la emisión del documento guía, han surgido diversas interpretaciones sobre la aplicación de la legislación sobre acrilamida por parte de las Autoridades Sanitarias de algunas Comunidades Autónomas. Con el fin de unificar estas interpretaciones, se decidió en la reunión de la Comisión Institucional del 13 de marzo de 2019 establecer un grupo de trabajo específico y temporal en el que participaron las Comunidades Autónomas y la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición. En este grupo de trabajo, que operó durante ocho meses mediante medios electrónicos, se abordaron cuestiones de interpretación, incluidos casos particulares de la normativa planteados por diversas Comunidades Autónomas y sectores afectados, los cuales habían sido previamente recopilados por esta Agencia. Se llevaron a cabo discusiones en varias etapas para encontrar respuestas coherentes a

estas cuestiones dentro del marco de la legislación vigente y las guías interpretativas publicadas, resultando en una interpretación armonizada de todas ellas. La recopilación de los resultados se plasmó en el Documento guía para la aplicación armonizada de la legislación sobre acrilamida (2020). Este documento recibió el respaldo de la Comisión Permanente de Seguridad Alimentaria (CPSA), la cual cuenta con la representación de todas las Comunidades Autónomas, y fue aprobado durante la reunión de la Comisión Institucional de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición el 4 de junio de 2020 (AESAN, 2019).

Esta falta de legislación deriva en una necesidad de conocer el mecanismo de formación de la acrilamida en patatas, así como métodos rápidos y efectivos para detectarla e implementar medidas para mitigar y evitar su formación.

2. OBJETIVOS

Los objetivos de esta revisión bibliográfica son:

- Definir las variables que más influyen en la formación de acrilamida en patatas.
- Establecer el protocolo de medición más rápido y sencillo para la medición de acrilamida.
- Determinar el método más efectivo y seguro para mitigar la formación de acrilamida.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1 Metodología

Para llevar a cabo el presente trabajo se realizó una búsqueda bibliográfica entre febrero y abril de 2024. El primer criterio aplicado para la selección de artículos fue que estuvieran en lengua inglesa. Se observó que la mayoría de los artículos científicos de mayor impacto se publican en ese idioma.

El intervalo de tiempo establecido para la búsqueda de artículos comprende desde 2004 hasta 2024, aunque se han incluido algunos artículos de años anteriores debido a su extensa citación en otros trabajos o la última legislación publicada.

Los artículos fueron recopilados en las siguientes bases de datos: Pubmed, Google scholar y sciELO.

Durante la búsqueda de los artículos en las bases de datos mencionadas, se utilizaron términos clave relacionados con el tema de estudio. Los conceptos de búsqueda seleccionados son los siguientes, combinados mediante el uso de marcadores booleanos 'AND', 'OR' y 'NOT':

Acrylamide	Formation
Potatoes	Humans
Food	Coffee
Health	Rats

La combinación resultante fue: Acrylamide AND potatoes AND formation AND food NOT humans NOT coffee NOT rats NOT health.

3.1.1 Criterios de inclusión

Los criterios de inclusión tenidos en cuenta y por los que se seleccionaron los artículos fueron:

- Artículos publicados en castellano o en inglés.
- Artículos publicados en los últimos 20 años.
- Publicaciones en bases de datos científicas.
- Publicaciones de organismos competentes en materia de seguridad alimentaria.

3.1.2 Criterios de exclusión

Los artículos de los que se prescinde son los que cumplen las siguientes características:

- Artículos redactados en un idioma distinto al inglés o al español.
- Artículos no provenientes de bases de datos y revistas científicas de relevancia, así como páginas webs oficiales.
- Artículos que no tengan relación con la temática planteada, y en especial, con el alimento planteado.
- Publicaciones anteriores al año 2004.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados del análisis bibliométrico

En la búsqueda de información, llevando a cabo la combinación de marcadores booleanos mencionada, se identificaron y seleccionaron 165 artículos (Tabla 5), de los cuales se emplearon para la discusión 32, ya que eran los únicos que cumplían los criterios de inclusión y exclusión establecidos en la sección correspondiente. Estos corresponden a 21 revistas científicas diferentes y 1 tesis doctoral.

Tabla 5. Número de artículos a partir de las diferentes ecuaciones de búsqueda seleccionadas.

ECUACIÓN DE BÚSQUEDA	NÚMERO DE ARTÍCULOS ENCONTRADOS
ACRYLAMIDE	20357
ACRYLAMIDE AND POTATOES	569
ACRYLAMIDE AND POTATOES NOT HUMANS	365
ACRYLAMIDE AND POTATOES AND FOOD NOT HUMANS	192
ACRYLAMIDE AND POTATOES AND FOOD AND FORMATION NOT HUMANS	175
ACRYLAMIDE AND POTATOES AND FOOD AND FORMATION NOT HUMANS NOT COFFEE	165

Se ha observado un aumento en la publicación de artículos relacionados con el tema en los últimos años, debido a las nuevas legislaciones establecidas y mayor implicación de los organismos en materia de seguridad alimentaria (Figura 3)

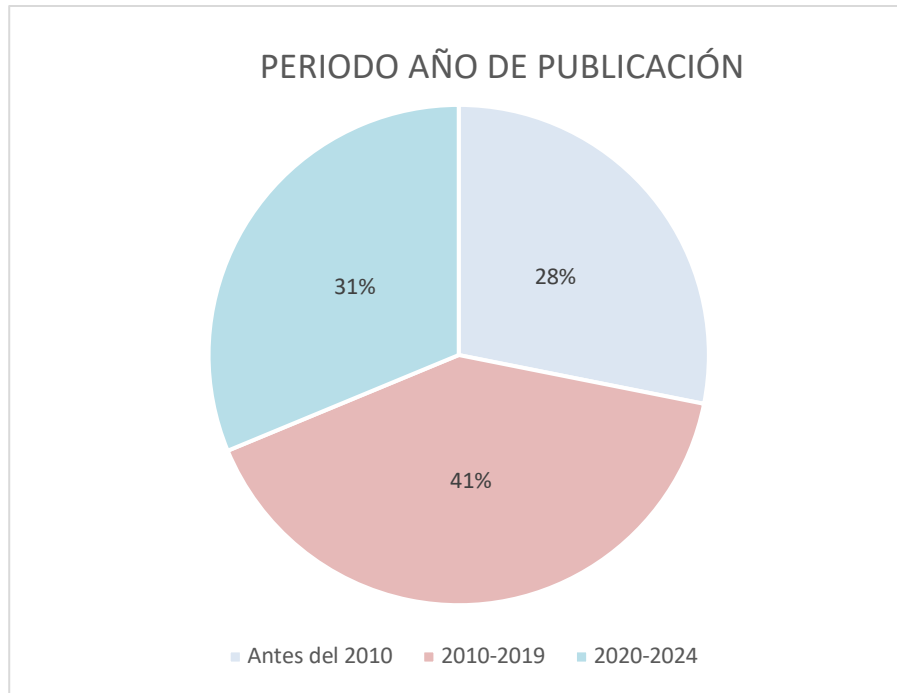


Figura 3. Periodo año de publicación de los diferentes artículos seleccionados para la discusión.

En la figura 4 se muestran el total de publicaciones empleadas clasificadas por año de publicación.

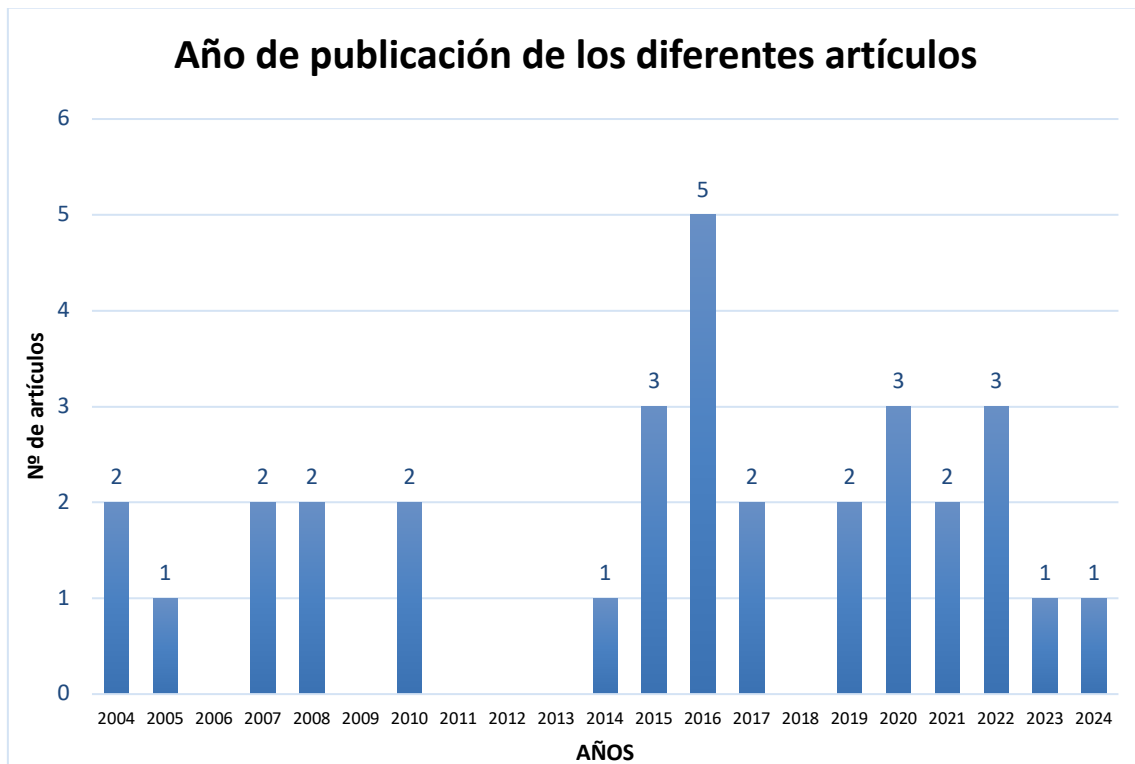


Figura 4. Total de publicaciones empleadas clasificadas por año de publicación.

4.2 Factores que afectan a la formación de acrilamida

La formación de acrilamida varía según la ubicación del cultivo, el contenido de azúcares, la variedad de papa o el almacenamiento entre otros factores.

Factores como las altas temperaturas, la asparagina libre, el pH o el contenido en agua también influyen en la aparición de la misma (Visvanathan R, 2014).

Muttucumaru et al., 2017 cultivaron veinte variedades de patatas, comparando los niveles de acrilamida en la harina de los tubérculos con datos publicados sobre una réplica de un ensayo de campo realizado el mismo año. En el estudio se analizó el tipo de suelo, la correlación que existe entre los azúcares y la formación de acrilamida. Además, también se analizó la proporción de asparagina libre y aminoácidos libres totales para conocer si también contribuían a la variación en la formación de acrilamida.

Los resultados obtenidos fueron generalmente hacia un aumento de azúcares con un almacenamiento prolongado, pero además la importancia del suelo de cultivo se vio reflejada ya que, por ejemplo, para ciertas variedades de patatas en una ubicación, la glucosa y la fructosa aumentaron con un almacenamiento prolongado, pero para las mismas variedades en la otra ubicación, los dos azúcares disminuyeron después del almacenamiento. Se demostró que la concentración de azúcar en las patatas es el factor principal que determina la formación de acrilamida, pero también la concentración de asparagina libre se correlacionó significativamente, pudiendo afectar a la formación de acrilamida cuando era relativamente baja en comparación con la concentración de azúcares. El estudio propone que existe un valor crítico en la relación entre asparagina y azúcares, donde la concentración de asparagina afecta la formación de acrilamida por debajo de este valor, mientras que, por encima de este valor, son los azúcares los que determinan la formación de acrilamida (Muttucumaru et al., 2017).

Silva y Simon, 2005 respaldan el aumento en las concentraciones de azúcares tras el almacenamiento, pero en cambio, considera que la variación en las concentraciones de asparagina necesita más investigación.

Martínez et al., 2019 evaluaron los efectos de la temperatura, el tiempo de fritura, el tratamiento de escaldado y el grosor de las rodajas de papas en el contenido de acrilamida en patatas fritas. Se emplearon tanto patatas recién cosechadas como patatas almacenadas durante cuatro meses. Los valores que fueron seleccionados para las variables se muestran en la Tabla 5. Donde M1 corresponde a patatas no almacenadas y M2 a patatas almacenadas durante 4 meses.

Tabla 6. Datos de las variables de estudio para evaluar la formación de acrilamida entre patatas recién cosechadas y almacenadas durante 4 meses. (Martínez et al., 2019).

VARIABLE	M1	M2
Temperatura (T)	150°C	180°C
Tiempo de fritura (t)	5 min	10 min
Escaldado	CON	SIN + 70°C 5 min
Espesor de corte (w)	1,5 mm	2,00 mm

Nuevamente, los resultados obtenidos mostraron mayor concentración de acrilamida en la patata almacenada. La diferencia en el contenido de azúcares reductores entre las muestras puede explicar esta variación. En las patatas recién cosechadas, se encontró una concentración de 23 mg/kg, mientras que, en las almacenadas durante 4 meses, la concentración fue de 34 mg/kg. En cuanto a la variable temperatura y tiempo de fritura, el estudio demostró que el aumento de estas aumentaba el contenido de acrilamida, pero no de forma lineal. Temperaturas superiores a 175°C aumentaban significativamente los niveles de acrilamida. Para las variables escaldado y espesor de rodajas, se compró que también existía relación. Las rodajas más delgadas y pequeñas tienden a tener más acrilamida, por ello se recomienda el escaldado previo en estas, para reducir la acrilamida, no siendo necesario en rodajas más gruesas, ya que la difusión de calor es más lenta y disminuye de forma natural la formación de acrilamida.

En el estudio se demostró que la formación de acrilamida es consecuencia principalmente de la concentración de azúcares más que del resto de variables de procesamiento (Martínez et al., 2019).

Taubert et al., 2004 también investigaron la relación entre la formación de acrilamida y la superficie volumen (SVR), con patatas cortadas en rodajas cilíndricas 30x15 mm, patatas cortadas en rodajas cilíndricas 30x3mm y patatas ralladas 16,8x6x1,2 mm. Obteniendo niveles más altos de acrilamida en las patatas ralladas y en las patatas cortadas en rodajas de menor grosor (30x15). Esto puede deberse a la transferencia de calor al núcleo de las patatas, especialmente en etapas iniciales del calentamiento, pero tras un procesamiento prolongado, la temperatura se distribuye de forma uniforme independientemente de SVR. Por lo que las formas con baja SVR requieren mayor tiempo de fritura para alcanzar el mismo nivel de exposición que las formas con alta SVR.

Lilia Masson et al., 2007 anotaron que el lavado y el escaldado resultan ser eficaces para reducir el contenido de azúcares reductores y, en consecuencia, de acrilamida pero que, sin embargo, la calidad sensorial se ve negativamente afectada.

En otro estudio realizado por Navruz-Varlı y Mortaş, 2023 se evaluó el contenido de acrilamida según el método de cocción (freidora, freidora de aire, horno) y según el pretratamiento (lavado, remojo). Los resultados obtenidos fueron mayores en fritura, seguidos de fritura con aire y por último horneado, aunque la diferencia de los métodos de cocción no fue significativa, si lo fue según el lavado, con resultados más bajos de acrilamida en las patatas en remojo que en las patatas lavadas (Figura 3).

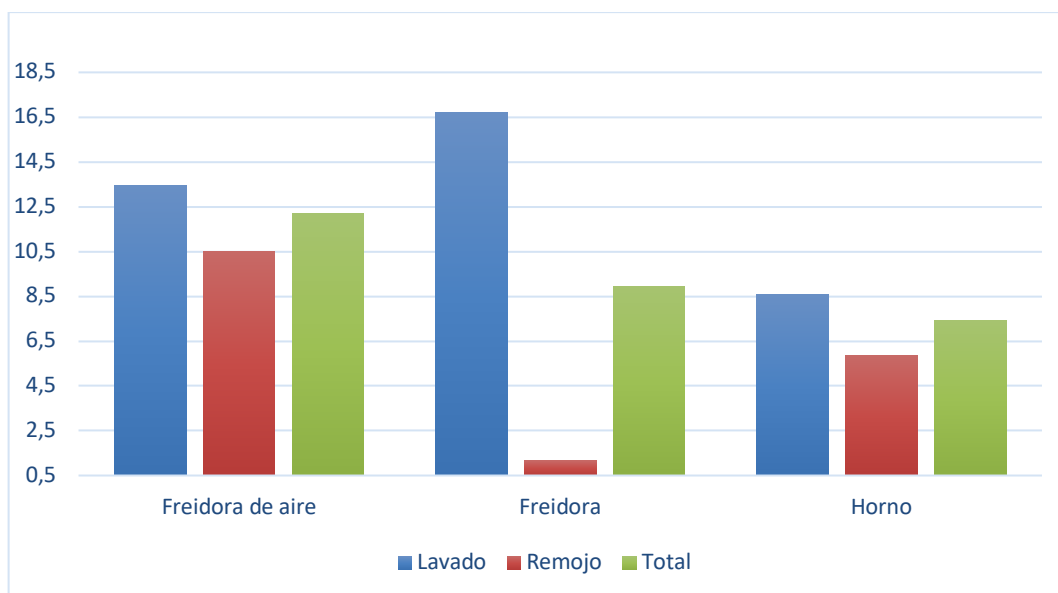


Figura 5. Formación acrilamida según método cocción (Navruz-Varlı y Mortaş, 2023).

Yuan et al., 2007 compararon el calentamiento por microondas frente al calentamiento por ebullición. Los resultados obtenidos inducían mayor formación de acrilamida cuando las patatas eran calentadas por microondas. A mayor potencia del microondas, mayor fue el contenido de acrilamida formado, siendo a 600 W, donde se encontraron niveles más elevados de acrilamida.

Skog et al., 2008 determinaron las concentraciones de asparagina y azúcares en cinco variedades de papas, y el contenido de acrilamida en platos caseros con el objetivo de determinar si alguna de las variedades era más adecuada para asar o freír. Los resultados mostraron mayores variaciones en hornos domésticos que en comparación con los experimentos a escala de laboratorio. Considerando otro factor para tener en cuenta, ya que es difícil conocer el valor real de ingesta de acrilamida a causa de la variabilidad en los hornos domésticos.

Visvanathan R, 2014 observaron que la reacción de Maillard y el pH, así como la actividad de agua y la fermentación, desempeñan un papel significativo en la formación de acrilamida. Se demostró que una reducción del pH disminuye drásticamente el contenido de acrilamida durante la fritura y horneado.

Sin embargo, Yuan et al., 2007, observaron que, aunque el contenido de acrilamida aumentaba de pH 4 a pH 8, cuando llegaba a pH 10, su formación disminuía drásticamente.

Además, la acrilamida solo se forma en alimentos con una actividad de agua inferior a 0,8 y su formación es más elevada con actividades de agua inferiores a 0,4 o menos (Tabla 6).

Por otro lado, la fermentación es clave para el control de la formación de acrilamida, ya que va ligada al pH y la composición de los precursores. Un tiempo de fermentación prolongado (mínimo una hora) reduce la acrilamida en productos de patata (Visvanathan R, 2014).

Tabla 7. Porcentaje de eliminación de acrilamida según la actividad de agua en patatas fritas sometidas a 60°C durante 1 hora (Visvanathan R, 2014).

Actividad de agua	Acrilamida eliminada %
0,26	0
0,64	0
0,74	4
0,83	11
0,95	20

4.3 Métodos de medición

La Cromatografía de Gases- Espectrometría de masas (GC-MS) y la Cromatografía Líquida- Espectrometría de Masas en Tándem (LC-MS/MS) han sido los métodos de elección para la detección de acrilamida hasta el momento, pero se están buscando otros métodos menos costosos y fáciles de adoptar (Zaheer y Akhtar, 2016).

La combinación LC-MS es muy efectiva debido a su alta sensibilidad y especificidad para analizar compuestos no volátiles, de alta polaridad o térmicamente inestables, como la acrilamida. Sin embargo, la coelución de compuestos en el sistema cromatográfico no puede asignar fragmentos individuales solo con LC-MS. Para ello se utiliza MS/MS que permite una alta precisión en la detección de residuos. Por otro lado, GC-MS es un método más adecuado para compuestos volátiles (Dr. Mark Buecking, 2008).

Stadler y Scholz, 2004, coincide con el uso de LC-MS y GC-MS como método universal, pero recalca nuevamente la instrumentación costosa y preparación exhaustiva de las muestras, por lo que se necesitan métodos de detección rápidos.

Respecto a estos métodos más ágiles para la detección de acrilamida, Hu et al., 2016 describieron métodos de fluorescencia, supramoleculares, ELISA y electroquímicos como alternativa para la detección de acrilamida.

Pundir et al., 2019 consideró que los métodos cromatográficos tienen algunos inconvenientes como la preparación laboriosa de muestras, la necesidad de equipos costosos, o la incapacidad de detección de acrilamida en línea, por lo que informó sobre técnicas electroquímicas, sensores gravimétricos, sensores piezoeléctricos y células microbianas. Estas limitaciones fueron superadas por los métodos de biosensores, ya que son mediciones simples, sensibles, específicas y de respuesta rápida. Además, la miniaturización del modelo de laboratorio del biosensor de acrilamida podría llevar al desarrollo de su modelo portátil para su uso en campo.

Adedipe et al., 2016 demostró que el método NIRS podía ser utilizado para determinar el contenido de acrilamida en patatas. Esto reduciría mucho los costes ya que numerosos laboratorios ya cuentan con espectrofotómetros NIRS. El método NIRS comenzó con el establecimiento de una curva de calibración para la acrilamida en una matriz de papa liofilizada y molida. La cuantificación de la acrilamida se logró en un rango lineal de 50 a 8000 $\mu\text{g}/\text{kg}$ en longitudes de onda de 400 a 2500 nm, con límite de detección de 70 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Adedipe et al., 2016 menciona la necesidad de realización de más estudios para validar los límites de detección de acrilamida y su aplicabilidad en diferentes muestras.

A su vez, Ayvaz y Rodríguez-Saona, 2015 recopilaron datos espectrales con espectrómetros de infrarrojo medio (MIR) y de infrarrojo cercano (NIR) y desarrollaron modelos de calibración de regresión de mínimos cuadrados parciales (PLSR) para predecir los niveles de acrilamida. Los resultados obtenidos indicaron buena correlación lineal entre los niveles de acrilamida previstos y las concentraciones reales medidas por LC-MS/MS. El estudio respalda el uso de instrumentos MIR y NIR con valores de RPD entre 2,0 y 4,8. Además, les permitió comparar los sistemas portátiles, de mano y de mesa, revelando que los sistemas portátiles y de mano funcionaron de manera similar a las unidades de mesa, permitiendo proporcionar mayor flexibilidad y potencial para aplicaciones de campo.

4.4 Métodos de reducción

Dado los perjuicios para la salud que presenta la acrilamida, existen diferentes métodos estudiados, con el objetivo de reducir la formación de esta en el procesamiento de patatas.

Una estrategia efectiva es el uso de inhibidores, como los hidrocoloides (pectina, ácido algínico o goma xantana). Estos compuestos, al recubrir los alimentos con ellos, no solo reducen la absorción de aceite, sino que también modifican las propiedades de calentamiento del sistema alimentario durante la fritura. Además, interactúa con los precursores de acrilamida, inhibiendo significativamente su formación, sin afectar negativamente los atributos sensoriales de los alimentos (Zeng et al., 2010).

Cristóbal et al., 2020 detallan que la inmersión en una solución hidrocoloide disminuye la tensión superficial de los alimentos, facilitando la formación de una capa de recubrimiento en la superficie. Durante la fritura, se forma una red rígida de gelificación térmica que impide la integración entre los precursores de acrilamida.

Champrasert et al., 2021 investigaron sobre el efecto inhibidor de tres polisacáridos (pectina cítrica, alginato de sodio y quitosano) en diversas concentraciones, sobre la formación de acrilamida bajo condiciones controladas de temperatura y tiempo. Se sumergieron patatas en soluciones de estos polisacáridos y luego se frieron o cocinaron en el microondas. Como se muestra en la figura 4, la inmersión en alginato, pectina y quitosano redujo significativamente la formación de acrilamida durante la fritura en un 53,5%, 51,2% y 40,9% respectivamente, en comparación con la fritura de control. En el caso de la cocción en microondas, solo el alginato y la pectina redujeron significativamente la formación de acrilamida, ambos en un 5,2%.

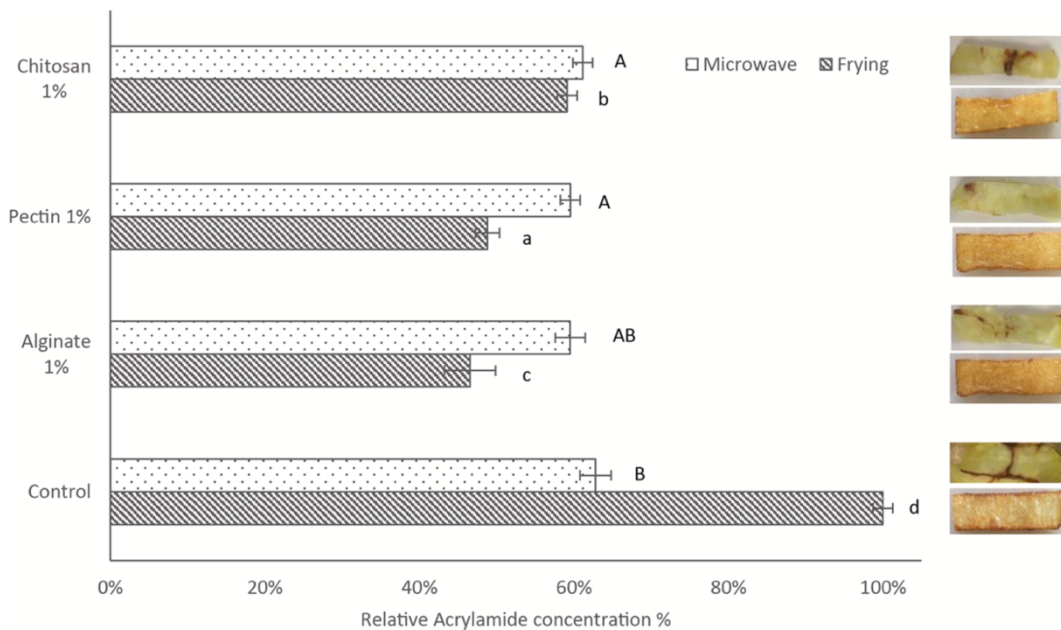


Figura 6. Formación acrilamida según inmersión en diferentes polisacáridos (Champrasert et al., 2021).

Los resultados mostraron que los tres polisacáridos al 1% p/p redujeron eficientemente la formación de acrilamida, siendo el alginato el más efectivo, seguido de la pectina y el quitosano, por lo que, la inmersión en una solución de polisacáridos antes de freír se presenta como una estrategia prometedora para la mitigación (Champrasert et al., 2021).

Por otro lado, Jia et al., 2021 proponen la utilización de la L-asparaginasa como medida de reducción. Esta puede inhibir la formación de acrilamida en productos de patata frita mediante la hidrólisis de la L-asparagina en ácido aspártico y amoníaco. Como resultado, el ácido aspártico no participa en la reacción de Maillard, lo que podría reducir significativamente la formación de acrilamida. Además, la L-asparaginasa se desactiva durante el proceso de calentamiento, asegurando su uso seguro en la industria alimentaria.

Jiao et al., 2020 utilizaron AsAsnase (L-asparaginasa actinobacteriana recombinante tipo I expresada por E.coli BL21) para reducir la acrilamida en patatas fritas. Rodajas de papa fresca de 2 mm se lavaron con agua, se remojaron en diferentes concentraciones de AsAsnase a 37°C durante 30 minutos, se secaron sobre papeles absorbentes y se frieron a 170°C durante 5 minutos. Los resultados obtenidos indicaron una reducción de L-asparagina y acrilamida en un 22,0% y 55,9% respectivamente, en comparación con el control. Sin embargo, la tasa de degradación de la acrilamida fue menor comparada con otras enzimas tipo II, probablemente por la pobre termoestabilidad de AsAsnase (vida media a 40 °C de 9,63 min). Por lo que consideraron la necesidad de realizar modificaciones para mejorar su estabilidad.

Bhagat et al., 2016 emplearon L-asparaginasa de la bacteria endofítica *Pseudomonas oryzae* para reducir la acrilamida en rodajas de papas. Utilizaron tres procedimientos diferentes con la misma concentración enzimática. La inmersión en solución enzimática durante 30 minutos, dando como resultado una reducción del 54% en el contenido de acrilamida. El escaldado en solución enzimática 60°C durante 15 minutos seguido de inmersión en agua a temperatura ambiente durante 60 minutos, dando una reducción de acrilamida de un 28%. Por último, el procedimiento más eficaz para la reducción de acrilamida (90%), el escaldado de patatas en solución enzimática a 40°C durante 15 minutos. La temperatura del tratamiento con L-asparaginasa fue crucial en la mitigación de acrilamida, debiendo elegirse según las propiedades específicas de la enzima.

Pedreschi et al., 2008 remojaron tiras de papa cruda en una solución de asparaginasa a 40°C durante 20 minutos, reduciendo la formación de acrilamida en las patatas hasta un 30%. Posteriormente aumentaron la temperatura de remojo de la solución de asparaginasa a 50°C y 60°C, disminuyendo la formación de acrilamida a solo un 20% y 22% respectivamente. La temperatura óptima para la actividad de la asparaginasa medida a pH 7 es de 60°C, disminuyendo la actividad enzimática a temperaturas superiores, y coincidiendo así con los estudios mencionados anteriormente.

Ante los problemas de la termoestabilidad de la enzima L-asparaginasa, Zuo et al., 2015 utilizaron L-asparaginasa termoestable de *T.zilligii* para poder combinarla con procesos de escaldado, dando como resultado una gran reducción de acrilamida en patatas fritas. La L-asparaginasa termoestable mostró actividad máxima a pH 8,5 y 90°C, manteniendo el 70% de su actividad tras 2 horas de incubación a 85°C. Al tratar las patatas con la enzima, a 80°C durante 4 minutos, seguido de fritura a 170°C durante 5 minutos, el contenido de acrilamida se redujo en un 80,5% en comparación con el control.

Tran et al., 2017 transformaron diferentes variedades de papa con ADN genómico de papa que daba como resultado una regulación negativa de la expresión del gen de la asparaginasa sintetasa1 (*Asn1*). Esto redujo la síntesis de Asn libre, y con ello, también disminuyó el potencial de formación de acrilamida, siendo otra alternativa en la industria alimentaria.

H. Liu et al., 2020 queriendo conocer el efecto del ácido como otro método alternativo para reducir acrilamida en patatas remojaron muestras de papa cruda en agua durante 1 hora antes de freírlas, reduciendo el contenido de acrilamida un 74%. Además, remojaron papas en soluciones de ácido acético al 1,0%, 2,5% y 5,0% durante 1 hora antes de freírlas, mostrando una reducción de acrilamida similar a la observada con agua. Sin embargo, un remojo más prolongado (24 horas) en las mismas soluciones, resultó en una reducción mayor, con una disminución de más del 95% en comparación con las patatas no tratadas. En cambio, entre las diferentes concentraciones de ácido acético no se observó una diferencia significativa.

Sansano et al., 2015 en su estudio, tampoco tuvieron como resultado una mayor reducción de acrilamida en concentraciones superiores al 1% de glicina. Esto fue apoyado por Negoită et al., 2022, quienes evaluaron el contenido de acrilamida en papas fritas remojadas en agua fría y caliente para evaluar la eficacia del pretratamiento antes de freírlas. Además, remojaron las tiras de papa en soluciones de cloruro de sodio y ácido cítrico. En todos los procedimientos hubo reducción del nivel de acrilamida al freírlas.

De igual forma, el efecto del pretratamiento con plasma atmosférico frío (CAP) a diferentes voltajes y tiempos de exposición sobre la formación de acrilamida en tiras de patatas fritas tuvo una influencia positiva. Se observó que los niveles de acrilamida variaron entre $1807,35 \pm 2,1$ y $346,86 \pm 1,26$ $\mu\text{g}/\text{kg}$. Teniendo el nivel más bajo de acrilamida ($346,86 \pm 1,26$ $\mu\text{g}/\text{kg}$) en el tratamiento 60kV durante 15 minutos, y el más elevado en la muestra control sin tratamiento. La disminución del contenido de acrilamida se atribuyó a la reducción de la asparagina, y la inactivación de la amilana, precursores para la formación de acrilamida (Nateghi et al., 2024).

C. Liu et al., 2022 analizaron como el pretratamiento con campo eléctrico pulsado (PEF) puede reducir la formación de acrilamida. A temperaturas de 120°C, 150°C y 180°C, la reducción de acrilamida fue de 59,7%, 70% y 26,15% respectivamente, en comparación con las muestras no tratadas. Esto fue así por la mayor transferencia de masa y calor debido al PEF, lo que disminuye el tiempo de fritura y los niveles de azúcares reductores.

Además, compararon el tratamiento PEF con el escaldado (85°C, 3.5 min), reduciendo el PEF la acrilamida un 30% en comparación con el 17% del escaldado.

5. CONCLUSIONES

- La formación de acrilamida está influenciada por diversos factores, siendo los parámetros determinantes la concentración de azúcares reductores y aminoácidos, seguida de la temperatura y duración del proceso.
- La técnica más eficaz para la detección de acrilamida en patatas es la combinación de Cromatografía de Gases- Espectrometría de Masas y Cromatografía Líquida- Espectrometría de Masas en Tándem, por su alta sensibilidad y especificidad, aunque alto coste.
- La mayoría de los métodos de mitigación empleados permiten una reducción de formación de acrilamida, siendo la inmersión en polisacáridos, especialmente alginato, y el uso de L-asparaginasa termoestable los métodos más prometedores.

Se necesita más investigación para profundizar sobre los factores que intervienen en la formación de acrilamida, así como afianzar las estrategias prometedoras para su reducción y los métodos sencillos de detección. Es crucial que haya implicación en la concienciación, difusión de conocimientos y prácticas seguras en la preparación y almacenamiento de patatas.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A.Ali, & M.H.Akhtar. (2003). *Food Safety and Chemical Contaminants*.
<https://doi.org/10.24200/jams.vol9iss2pp43-50>
- Adedipe, O. E., Johanningsmeier, S. D., Truong, V. Den, & Yencho, G. C. (2016). Development and Validation of a Near-Infrared Spectroscopy Method for the Prediction of Acrylamide Content in French-Fried Potato. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(8), 1850–1860. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b04733>
- AECOSAN. (2017). *Revista del Comité científico de la Aecosan número 26*.
https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/publicaciones/revistas_comite_cientifico/comite_cientifico_26.pdf
- AESAN. (2019). *Documento guía para la aplicación armonizada de la legislación sobre acrilamida*.
https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/seguridad_alimentaria/interpretaciones/quimicas/aplicacion_armonizada.pdf
- AESAN. (2023, May 25). *Aesan - Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición*.
https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/web/seguridad_alimentaria/detalle/contaminantes.htm
- Ayvaz, H., & Rodriguez-Saona, L. E. (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 González, A. (2020). *Estimación de la exposición a acrilamida en la dieta de la población española* [Facultad de farmacia, Universidad Complutense].
<http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/ANDREA%20BALLARIN%20GONZALEZ.pdf>
- Barón Cortés, W. R. (2016). *datos de consumo acrilamida colombia*.
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/57997>

- Bhagat, J., Kaur, A., & Chadha, B. S. (2016). Single step purification of asparaginase from endophytic bacteria *Pseudomonas oryziphila* exhibiting high potential to reduce acrylamide in processed potato chips. *Food and Bioproducts Processing*, 99, 222–230. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.05.010>
- BOE. (1993, February 13). *BOE.es - DOUE-L-1993-80158 Reglamento (CEE) núm. 315/93 del Consejo, de 8 de febrero de 1993, por el que se establecen procedimientos comunitarios en relación con los contaminantes presentes en los productos alimenticios.* <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-1993-80158>
- BOE. (2009). *BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO.* <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2009-1171>
- BOE. (2019, November 7). *BOE.es - DOUE-L-2019-81750 Recomendación (UE) 2019/1888 de la Comisión de 7 de noviembre de 2019 relativa al control de la presencia de acrilamida en determinados alimentos.* <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2019-81750>
- Champrasert, O., Chu, J., Meng, Q., Viney, S., Holmes, M., Suwannaporn, P., & Orfila, C. (2021). Inhibitory effect of polysaccharides on acrylamide formation in chemical and food model systems. *Food Chemistry*, 363. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130213>
- Contaminantes químicos en alimentos y piensos | EFSA.* (2023, November). <https://www.efsa.europa.eu/es/topics/topic/chemical-contaminants-food-feed>
- Cristóbal, M. J. G., Martínez, M. T. S., Carpena, J. G. R., Rosales, P. U. B., Ruiz, E. I. J., Herrera, L. M. S., & Nahuatt, G. L. (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>
- Dr. Mark Buecking. (2008). *Liquid Chromatography-Mass Spectrometry in food analysis - New Food Magazine.* Fraunhofer Institute for Molecular Biology and Applied Ecology IME, Germany. <https://www.newfoodmagazine.com/article/1274/liquid-chromatography-mass-spectrometry-in-food-analysis/>

EFSA. (2015). Scientific Opinion on acrylamide in food. *EFSA Journal*, 13(6).
<https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.4104>

ELIKA. (2021). *Acrilamida Resumen*. <https://seguridadalimentaria.elika.eus/fichas-de-peligros/acrilamida/#:~:text=Resumen,«tostado»%20a%20ciertos%20alimentos>

EUR-Lex. (2017). *Reglamento - 2017/2158 - EN - EUR-Lex*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/ALL/?uri=CELEX%3A32017R2158#>

European Food Safety Authority. (2015). *EFSA explains risk assessment : acrylamide in food*. EFSA. <https://doi.org/doi:10.2805/90424>

FAOSTAT. (2022). <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>

FEN. Fundación Española de la Nutrición. (2013). patata_tcm30-102520. FEN. *Fundación Española de La Nutrición*. <https://www.fen.org.es/MercadoAlimentosFEN/pdfs/patata.pdf>

Hu, Q., Fu, Y., Xu, X., Qiao, Z., Wang, R., Zhang, Y., & Li, Y. (2016). A colorimetric detection of acrylamide in potato chips based on nucleophile-initiated thiol-ene Michael addition. *Analyst*, 141(3), 1136–1143. <https://doi.org/10.1039/c5an01989c>

International Agency for Research on Cancer. (2023). *Agents Classified by the IARC Monographs, Volumes 1–135 – IARC Monographs on the Identification of Carcinogenic Hazards to Humans*. <https://monographs.iarc.who.int/agents-classified-by-the-iarc/>

International Agency for Research on Cancer., & World Health Organization. (1994). *Some industrial chemicals*. (Vol. 60). International Agency for Research on Cancer. <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Some-Industrial-Chemicals-1994>

Jia, R., Wan, X., Geng, X., Xue, D., Xie, Z., & Chen, C. (2021). Microbial L-asparaginase for application in acrylamide mitigation from food: Current research status and future perspectives. In *Microorganisms* (Vol. 9, Issue 8). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9081659>

- Jiao, L., Chi, H., Lu, Z., Zhang, C., Chia, S. R., Show, P. L., Tao, Y., & Lu, F. (2020). Characterization of a novel type I L-asparaginase from *Acinetobacter soli* and its ability to inhibit acrylamide formation in potato chips. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 129(6), 672–678. <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2020.01.007>
- Lilia Masson, José Reinaldo Muñoz, Nalda Romero, Conrado Camilo, Cristián Encina, Luis Hernández, Julia Castro, & Paz Robert. (2007). *Acrilamida en patatas fritas. Revisión actualizada*. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/121497>
- Liu, C., Zhang, R., Vorobiev, E., & Grimi, N. (2022). Mitigation of Acrylamide in Potato Chips by Pre-drying and Pulsed Electric Field Treatment. *Frontiers in Nutrition*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.919634>
- Liu, H., Roasa, J., Mats, L., Zhu, H., & Shao, S. (2020). Effect of acid on glycoalkaloids and acrylamide in French fries. *Food Additives and Contaminants - Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*, 37(6), 938–945. <https://doi.org/10.1080/19440049.2020.1743883>
- MAPA. (2022). *Análisis de campaña 2022*. https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/analiscampanapatata2022_tcm30-636668.pdf
- Martinez, E., Rodriguez, J. A., Mondragon, A. C., Lorenzo, J. M., & Santos, E. M. (2019). Influence of potato crisps processing parameters on acrylamide formation and bioaccessibility. *Molecules*, 24(21). <https://doi.org/10.3390/molecules24213827>
- Muttucumar, N., Powers, S. J., Elmore, J. S., Dodson, A., Briddon, A., Mottram, D. S., & Halford, N. G. (2017). Acrylamide-forming potential of potatoes grown at different locations, and the ratio of free asparagine to reducing sugars at which free asparagine becomes a limiting factor for acrylamide formation. *Food Chemistry*, 220, 76–86. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.199>

- Nateghi, L., Hosseini, E., & Fakheri, M. A. (2024). The effect of cold atmospheric plasma pretreatment on oil absorption, acrylamide content and sensory characteristics of deep-fried potato strips. *Food Chemistry: X*, 21. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101194>
- Navruz-Varlı, S., & Mortaş, H. (2023). Acrylamide formation in air-fried versus deep and oven-fried potatoes. *Frontiers in Nutrition*, 10. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1297069>
- Negoită, M., Mihai, A. L., & Horneț, G. A. (2022). Influence of Water, NaCl and Citric Acid Soaking Pre-Treatments on Acrylamide Content in French Fries Prepared in Domestic Conditions. *Foods*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/foods11091204>
- Pedreschi, F., Kaack, K., & Granby, K. (2008). The effect of asparaginase on acrylamide formation in French fries. *Food Chemistry*, 109(2), 386–392. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.12.057>
- PREVOR. (2018, November 8). *Los carcinogenos - PREVOR*. <https://www.prevor.com/es/los-carcinogenos/>
- Pundir, C. S., Yadav, N., & Chhillar, A. K. (2019). Occurrence, synthesis, toxicity and detection methods for acrylamide determination in processed foods with special reference to biosensors: A review. In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 85, pp. 211–225). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.01.003>
- Sansano, M., Juan-Borrás, M., Escriche, I., Andrés, A., & Heredia, A. (2015). Effect of pretreatments and air-frying, a novel technology, on acrylamide generation in fried potatoes. *Journal of Food Science*, 80(5), T1120–T1128. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12843>
- Silva, E. M., & Simon, P. W. (2005). *Genetic, physiological, and environmental factors affecting acrylamide concentration in fried potato products*. https://doi.org/10.1007/0-387-24980-X_28

- Singh, J. (2009). *Advances in Potato Chemistry and Technology*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/C2013-0-13578-7>
- Skog, K., Viklund, G., Olsson, K., & Sjöholm, I. (2008). Acrylamide in home-prepared roasted potatoes. *Molecular Nutrition and Food Research*, 52(3), 307–312. <https://doi.org/10.1002/mnfr.200700240>
- Stadler, R. H., & Scholz, G. (2004). Acrylamide: An update on current knowledge in analysis, levels in food, mechanisms of formation, and potential strategies of control. In *Nutrition Reviews* (Vol. 62, Issue 12, pp. 449–467). <https://doi.org/10.1301/nr.2004.janr.449-467>
- Taubert, D., Harlfinger, S., Henkes, L., Berkels, R., & Schömig, E. (2004). Influence of Processing Parameters on Acrylamide Formation during Frying of Potatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(9), 2735–2739. <https://doi.org/10.1021/jf035417d>
- Tran, N. L., Barraj, L. M., & Collinge, S. (2017). Reduction in Dietary Acrylamide Exposure—Impact of Potatoes with Low Acrylamide Potential. *Risk Analysis*, 37(9), 1754–1767. <https://doi.org/10.1111/risa.12709>
- Visvanathan R, K. T. (2014). Acrylamide in Food Products: A Review. *Journal of Food Processing & Technology*, 05(07). <https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000344>
- Yuan, Y., Chen, F., Zhao, G. H., Liu, J., Zhang, H. X., & Hu, X. S. (2007). A comparative study of acrylamide formation induced by microwave and conventional heating methods. *Journal of Food Science*, 72(4). <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00332.x>
- Zaheer, K., & Akhtar, M. H. (2016). Potato Production, Usage, and Nutrition—A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(5), 711–721. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.724479>
- Zeng, X., Cheng, K. W., Du, Y., Kong, R., Lo, C., Chu, I. K., Chen, F., & Wang, M. (2010). Activities of hydrocolloids as inhibitors of acrylamide formation in model systems and fried potato strips. *Food Chemistry*, 121(2), 424–428. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2009.12.059>

Zuo, S., Zhang, T., Jiang, B., & Mu, W. (2015). Reduction of acrylamide level through blanching with treatment by an extremely thermostable l-asparaginase during French fries processing. *Extremophiles*, 19(4), 841–851. <https://doi.org/10.1007/s00792-015-0763-0>