

03-019

STUDY OF DETERMINATION AND CONTROL OF ACRYLAMIDE CONCENTRATION IN NUTS AND IMPLEMENTATION IN THEIR MANUFACTURING PROCESS.

Gómez De Zárate, Paloma ⁽¹⁾; Arnal Arnal, José Miguel ⁽²⁾; García Fayos, Beatriz ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Universitat Politècnica de València, ⁽²⁾ Universidad Politécnica de Valencia

Acrylamide is a cancerogenic compound which is formed in food that contains starch and certain amino acids when it is cooked at high temperatures. On the food market, enterprises used to involve nuts in techniques such as preparing, processing and filling. In this process, there are different stages in which nuts are submitted in critical conditions where they are likely to form acrylamide such as frying and roasting. For that reason, implementation of a method for acrylamide detection in this type of food is needed. This work studies a method to detect and measure the concentration of acrylamide in nuts. Current methods for other food matrices will also be studied on the basis of the literature consulted and the most suitable one for nuts will be selected. This selection will take into account the feasibility of implementing it in a company, taking into account the necessary resources. Finally, it is going to be done a Hazard analysis and Critical Control points by adding new monitoring measures where the development of acrylamide is potential, so that, its concentration in the final product would be lower.

Keywords: Acrylamide; monitoring; concentration, detection; method; nuts.

ESTUDIO DE DETERMINACIÓN Y CONTROL DE LA CONCENTRACIÓN DE ACRILAMIDA EN FRUTOS SECOS E IMPLEMENTACIÓN EN SU PROCESO DE FABRICACIÓN.

La acrilamida es un compuesto cancerígeno formado en alimentos que contienen almidón y cierto tipo de aminoácidos cuando se someten a procesos de altas temperaturas. En el mercado, las empresas dedicadas al tratamiento de frutos secos suelen aplicarles ciertos procesos de acondicionado, elaboración y/o envasado. En este tipo de tecnologías existen etapas en las que los frutos secos se someten a condiciones críticas susceptibles de generar acrilamida tales como la fritura y el horneado. Por ello, se plantea la necesidad de incorporar un método de control de acrilamida para este tipo de alimentos. Este trabajo estudia la incorporación de un método que detecte y mida la concentración de acrilamida en frutos secos. Se estudiarán también los métodos existentes para otras matrices alimentarias en base a la bibliografía consultada y se seleccionará el más adecuado para el alimento que concierne al proyecto. En esta selección se tendrá en cuenta la viabilidad para implantarlo en una empresa atendiendo a los recursos necesarios. Finalmente, se realizará un Análisis de Peligros y Puntos de Control Críticos (APPCC) de un proceso productivo tipo con el fin de introducir medidas de control donde sea potencial el desarrollo de acrilamida para tratar de reducir su concentración.

Palabras claves: Acrilamida; control; concentración; detección; método; frutos secos.

Correspondencia: José Miguel Arnal Arnal jarnala@iqn.upv.es



©2021 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

1.1. Alimentación y salud.

Durante las últimas décadas, la población ha ido adquiriendo una mayor conciencia de la importancia de una buena alimentación al haberse demostrado que unos incorrectos hábitos alimentarios pueden causar diversidad de enfermedades (Bulló & Vizmanos, 2008). Esto ha provocado nuevas formas de preparar y cocinar los alimentos con el fin de reducir o eliminar los compuestos nocivos que se generen durante este proceso, siendo el procesado de los alimentos, objeto de investigación en los últimos años.

1.2. . Acrilamida en alimentos.

La acrilamida es una molécula orgánica polar de bajo peso atómico estructurada en forma de cristales blancos. Su elevada reactividad se debe a un doble enlace y un grupo amida.

La formación de acrilamida en alimentos se da principalmente por la reacción de Maillard. Esta reacción compleja y multietapa implica la reacción del aminoácido aspargina y ciertos azúcares reductores en ciertas condiciones de temperatura y humedad, dando lugar, tras varias etapas, a la formación de la acrilamida, que conlleva al pardeamiento del compuesto por la polimerización de los productos anteriores y a un cambio en el aroma (Raffan & Halford, 2019). Puesto que los azúcares reductores se encuentran en el almidón, un mayor porcentaje de éste en el alimento se traducirá en mayores concentraciones de acrilamida.

1.3. Efectos para la salud.

La Agencia Internacional para la Investigación contra el Cáncer (IARC) ha calificado la acrilamida por su toxicidad como genotóxica, neurotóxica y posible cancerígena en humanos.

La acrilamida absorbida por el organismo se convierte en un amplio rango de metabolitos. El metabolito producido en mayor cantidad es la glicidamida. Esta sustancia que se produce, es electrófila y susceptible de ser hidrolizada por lo que los nitrógenos nucleofílicos del ADN son propensos a formar aductos con ella haciéndola altamente reactiva. Por ello, la glicidamida es la responsable del carácter genotóxico atribuido a la acrilamida (Semla et al., 2017) ya que se ha probado que el metabolito es capaz de aumentar la frecuencia de enfermedades relacionadas con la tiroides, así como carcinomas en roedores (Semla et al., 2017).

La acrilamida reacciona como aceptor para formar grupos -SH, -OH y -NH₂ con el ADN, lo que puede derivar en daños genéticos por inhibir la función de neurotransmisores, dañar la regeneración de los nervios y la actividad de los axones causando neurotoxicidad.

Los efectos en humanos han dado resultados limitados ya que la dosis que se ingiere a través de los alimentos es menor que las que se suministran a los animales para los estudios (Semla et al.,

2017). Pese a ello, recientemente se ha registrado la neuropatía periférica como efecto tóxico de acrilamida en humanos (Raffan & Halford, 2019).

Según ciertos autores (Tardiff et al., 2010) la ingesta diaria para que la acrilamida resulte neurotóxica está estimada en 200 mg/kg-día, mientras que para la formación de cáncer se estimó entre 2,60 y 16 µg/kg-día.

1.4 Normativa sobre el control de acrilamida.

Debido a los efectos sobre la salud, las autoridades sanitarias de la UE han elaborado en los últimos años una serie de normas para su control en alimentos. La primera norma publicada específicamente sobre la acrilamida es el Reglamento (UE) 2017/2158 de la Comisión. En él se establecen medidas de mitigación y niveles de referencia para reducir la presencia de acrilamida en los alimentos que son más propensos a formar acrilamida en mayores concentraciones, entre los que se encuentran los sucedáneos de café (4.000 µg/kg), el pan de jengibre (800 µg/kg) y productos formados a base de patata (750 µg/kg).

En la Recomendación (UE) 2019/1888, se pretende que los Explotadores de Empresas Alimentarias (EEA) de los estados miembros de la UE controlen periódicamente la presencia de acrilamida y su cantidad con el fin de establecer niveles de referencia para todos los alimentos propensos a formar dicho compuesto al ser tratados térmicamente. En ella se amplía la lista de alimentos que son generadores de acrilamida, incluyendo a los frutos secos por lo que se les debe realizar un análisis de acrilamida según los criterios establecidos en el Reglamento (UE) 2017/2158.

1.5 Acrilamida en frutos secos.

Los frutos secos tienen un perfil nutricional que presentan efectos favorables para el organismo humano según se ha probado en diversos estudios epidemiológicos (Bulló & Vizmanos, n.d.).

Sin embargo, también tienen factores anutricionales que deben ser inactivados por medio de tratamientos térmicos. En muchos casos se aplica un pretratamiento previo a su consumo, lo más usual es que sea una fase de tostado o fritura. Estas operaciones se llevan a cabo para mejorar el color, textura y sabor de los productos, haciéndolos más apetecibles al consumidor. No obstante, es en esta etapa cuando se puede fomentar la formación de acrilamida debido a la presencia de precursores en su matriz, azúcares reductores tales como la glucosa o la fructosa y almidón como fuente de asparagina.

La información sobre la presencia de acrilamida en frutos secos es escasa, aunque se estima puede exceder los 1000 µg/kg (Amrein et al., 2005) dependiendo del tipo de fruto seco, de su composición y del tratamiento al que sea sometido. A continuación, se describen con detalle algunos casos concretos:

- Las almendras son las que mayor cantidad de acrilamida presentan debido a la ingente presencia de sus precursores. La forma de tostarlas y freírlas así como su origen influyen en la formación de este compuesto. (Žilić, 2016) detectó que después de tostar 15 min. a 150°C había 35 veces más concentración de acrilamida que después de tostarlas 16,50 min. a 130°C, resultando significativa la temperatura a la que se realizan estos procesos. Sin embargo, la

acrilamida no es estable en este alimento y su concentración decrece entre un 44-62% tras ser almacenadas 300 días a temperatura ambiente.

- Las avellanas contienen mucha menos acrilamida que las almendras por la poca presencia de asparagina libre que tienen, hasta 40 veces menos. En un ensayo realizado bajo las mismas condiciones de tostado (12,50 min a 165°C), se obtuvo un contenido de acrilamida 15 veces menor en avellanas que en almendras (Žilić, 2016).

- En los cacahuetes, cuando se trata de los precursores de la acrilamida, tienen un alto contenido en el aminoácido libre pero no de azúcares reductores, por eso, desarrollan un contenido relativamente bajo de acrilamida en comparación con los frutos secos comentados anteriormente. (Eckert, 2006; Guo et al., 2020; Hoenicke, 2005).

- En las pipas, ciertos estudios han demostrado que el alto contenido en proteínas que presentan algunos tipos de estas sin cáscara y con presencia de soja, puede implicar una elevada concentración de acrilamida tras su tostado.

Se concluye que, pese a que las autoridades sugieren la mitigación y el control de la acrilamida en frutos secos, no hay mucha información de las medidas a aplicar en ellos si se compara con la información y estudios realizados para otros productos que contienen este compuesto.

2. Objetivos

El objetivo general de este trabajo es la selección de un método de detección de acrilamida en matrices de frutos secos, así como el análisis de un proceso productivo para reducir los puntos críticos que fomenten su generación.

Para conseguir este objetivo general se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Estudiar los diversos métodos utilizados para detección de acrilamida.
- Seleccionar el método más conveniente en detección de acrilamida en frutos secos teniendo en cuenta criterios de tipo técnico y económico.
- Analizar y describir un proceso productivo tipo.
- Identificar y establecer los puntos críticos del proceso que fomenten la formación de acrilamida.
- Proponer medidas de mejora para la reducción de la concentración de acrilamida en esos procesos.
- Redacción de protocolo de buenas prácticas.

3. Metodología

-Estudio de los diversos métodos utilizados para detección de acrilamida.

Para desarrollar este estudio se realizará una búsqueda de información en artículos publicados en diversas revistas científicas encontradas en bases de datos tales como Scopus, Sciencedirect,

Web of Science y Academic Press, con el fin de definir el estado del arte actual referido a los métodos de detección y cuantificación de acrilamida.

-Selección del método más adecuado para la detección de acrilamida en frutos secos

Una vez analizada la información, y tras valorar las ventajas e inconvenientes, se seleccionará el método de medida más adecuado para la determinación en frutos secos, atendiendo a los siguientes criterios:

- Los parámetros que caracterizan el método deben cumplir los criterios del Reglamento (UE) 2017/2158. Para determinar si el método cumple o no con los criterios establecidos por este Reglamento, se buscará en la bibliografía los resultados de diversos ensayos que hayan utilizado matrices alimentarias para la detección de acrilamida.
- Los métodos deben estar probados, al menos, a escala de laboratorio en matrices de frutos secos con resultados positivos. Se restringirán los métodos candidatos mediante una nueva búsqueda bibliográfica en la que se valorará positivamente aquellas técnicas que hayan sido ensayadas con matrices de frutos secos con resultados satisfactorios.
- Versatilidad de la técnica. Se estudiará el fundamento de cada técnica para saber si el método es específico para la detección de acrilamida, o si puede detectar otros contaminantes alimentarios.
- Necesidad de menor tiempo de análisis y recursos necesarios para su implementación en la empresa. El estudio de necesidades tendrá en cuenta el material necesario, que se presupuestará por una empresa externa proveedora de éste. Para conocer el tiempo que supone el análisis de cada método, se realizará una búsqueda bibliográfica en la que se muestren las etapas necesarias y el tiempo total que suponga el método hasta la obtención del resultado final.

-Estudio de los recursos necesarios para su implementación

Se solicitará presupuesto a diversas empresas distribuidoras para determinar el coste necesario en material auxiliar e inventariable. Se tendrá en cuenta la dedicación del personal necesario.

-Descripción de un proceso productivo previo

Se describirán las principales etapas, materias primas y producto final.

-Estudio de las variables a controlar en el proceso productivo. Puntos críticos y puntos de muestreo

La temperatura y el tiempo de cocción son las principales variables que caracterizan el tostado y la fritura de los alimentos y las condiciones a las que se realizan éstos.

Estos parámetros se pueden reflejar en el proceso productivo como la máxima temperatura a la que se cocinan los productos y el tiempo que el fruto seco pasa dentro del horno o de la freidora.

Se propondrán unas condiciones de elaboración alternativas de temperatura y tiempo que aseguren el acabado deseado.

-Propuesta de medidas de mejora para la reducción de acrilamida de un proceso productivo

En esta parte del proyecto se van a proponer diversas medidas que mejoren el proceso productivo para disminuir la generación de acrilamida en el fruto seco durante su tratamiento.

4. Resultados

A continuación, se recogen los resultados del estudio y la selección del método de detección y cuantificación de acrilamida, el análisis del proceso productivo y las medidas a implementar en aras de modificar el proceso de elaboración, para la mejora del producto.

4.1. Estudio de los diversos métodos utilizados para detección de acrilamida

Los métodos más utilizados para la detección de acrilamida se denominan “*métodos estándar*”. Estos han sido estudiados y probados en profundidad para el análisis de dicho compuesto en diversas matrices alimentarias. Destacan dos métodos de este tipo por la validez de sus resultados, la cromatografía de gases y la cromatografía de líquidos. Ambos se utilizan como primer paso, previo a la espectrometría de masas, dado que la cromatografía solamente separa los componentes de una mezcla y se requiere una posterior identificación y cuantificación. De entre ellos el método que mejores resultados ha proporcionado ha sido el compuesto por la cromatografía líquida de ultra alta resolución junto a la espectrometría de masas en tándem (UPLC-MS/MS). La razón reside en que la extracción de la acrilamida se favorecida en este estado físico (Singla et al., 2018). Estos métodos precisan de un pretratamiento a la muestra con el fin de eliminar grasas, precipitar proteínas o formar compuestos estables.

Pese a que sean válidos para el uso requerido, actualmente los métodos estándar no se utilizan masivamente en la industria para la detección de acrilamida en frutos secos.

Alternativamente a estas técnicas estandarizadas, están los denominados “*métodos de rápida detección*”. De ellos los más desarrollados son:

ELISA. Es un método inmunológico que se basa en el reconocimiento de un antígeno seguido por la unión específica de éste a un anticuerpo. Tras la unión, se añaden compuestos enzimáticos que colorean la solución donde el grado de tinción es directamente proporcional a la concentración de acrilamida en la muestra inicial. (Quan et al., 2011; Zhou et al., 2008).

Fluorescencia. Se basa en que los puntos cuánticos (QDs) contienen dobles enlaces con una determinada longitud característica que emite una fluorescencia específica (Hu et al., 2015). La polimerización de la acrilamida hace que la longitud de los dobles enlaces sea mayor, por lo que la intensidad de la fluorescencia emitida aumenta. Otro método fluorescente consiste en la degradación de la acrilamida mediante la reacción de Hoffman para formar un compuesto fluorescente.

Biosensores. Son métodos basados o en la detección de una corriente eléctrica generada al añadir un compuesto que provoca reacciones de oxidación-reducción con el compuesto problema, o en la detección de la cantidad de oxígeno utilizado por algunas bacterias para

desarrollar su actividad vital en medios donde se encuentra acrilamida, resultando tener una relación directa con la concentración de ésta en el medio (Hu et al., 2015; Pundir et al., 2019).

4.2. Selección del método más adecuado para el análisis en frutos secos

Para establecer los métodos que cumplen el criterio establecido en el Reglamento (UE) 2017/2158 con respecto al límite de detección (LOD), se va a calcular el valor teórico que debe tener para una matriz alimentaria conocida, y se comparará con el valor reflejado por cada método de medida según diversos ensayos bibliográficos. Se debe calcular el LOD y el LOQ teóricos según los criterios expuestos en el reglamento anteriormente citado. En él se expone que el LOD se calcula como tres décimos del LOQ y éste se halla dependiendo del nivel de referencia (NR). Para NR mayores a 125 µg/kg, el valor del LOQ será como máximo 50 µg/kg mientras que, para NR menores a 125 µg/kg, el valor del LOQ se calculará como dos quintos del NR siendo como mínimo 20 µg/kg. En la Tabla 1 se recogen los resultados obtenidos:

Tabla 1. Comparación del LOD experimental y teórico. Fuente: elaboración propia

Método	LOD teórico (µg/kg)	LOQ: 50 µg/kg		Nivel de Referencia: 750 µg/kg	
		LOD experimental (µg/kg)			Fuente
GS-MS	15	5			Yamazaki et al., 2012
LC-MS/MS	15	1			Senyuva et al., 2006
ELISA	15	15-35			Fu et al., 2011; Hu et al., 2014; Sun et al., 2013
QDs	15	0,56			Demirhan et al., 2017

Los métodos ELISA y fluorescencia quedan descartados ya que el valor de LOD experimental es más alto que el teórico, lo que significa que se deberían detectar menores cantidades de lo que realmente hacen, es decir, deberían ser más sensibles.

De los cuatro métodos posibles, solamente dos de ellos han sido estudiados para matrices de frutos secos obteniendo buenos resultados, estos son: la cromatografía de gases junto a la espectrometría de masas (en adelante GS-MS), y la cromatografía de líquidos junto a la espectrometría de masas en tándem (en adelante LC-MS/MS). Por tanto, debido a la falta de resultados satisfactorios en la matriz alimentaria de aplicación, se descartan los métodos de QDs y Biosensores.

Según los ensayos realizados por Nematollahi et al. la detección de acrilamida utilizando equipos de GS-MS requiere una duración de 92,30 minutos mientras que un ensayo de Çepe et al. de 2020 en el que se cuantificó la cantidad de acrilamida en avellanas tostadas. Utilizando LC-MS/MS, el tiempo total del ensayo fue de 71,91 minutos.

Teniendo en cuenta el coste de material de ambas técnicas. Para ello, se ha realizado una lista de los reactivos necesarios para cada técnica, y ha resultado ser más extensa la lista de

materiales necesarios para el método GS-MS. Por tanto, la técnica propuesta para la determinación de acrilamida en frutos secos es el LC-MS/MS.

De entre la variedad de equipos LC-MS/MS, el más adecuado para este estudio debe tener dos cuadrupolos trabajando en tándem, el equipo que ofrece la sensibilidad suficiente es UPLC-MS/MS y se debe utilizar en modo de operación Multiple Reaction Monitoring.

4.3. Listado de los recursos necesarios. Valoración económica.

A continuación, se exponen los recursos necesarios para la implementación del método elegido. Será necesaria la adquisición del propio equipo de medida, de un generador de nitrógeno para su correcto abastecimiento, material auxiliar como por ejemplo un vórtex, balanzas, etc. fungibles y un analista que realice este ensayo.

En la Tabla 2 se recogen las estimaciones de las diversas valoraciones económicas que requeriría cada recurso necesario para la implantación del método.

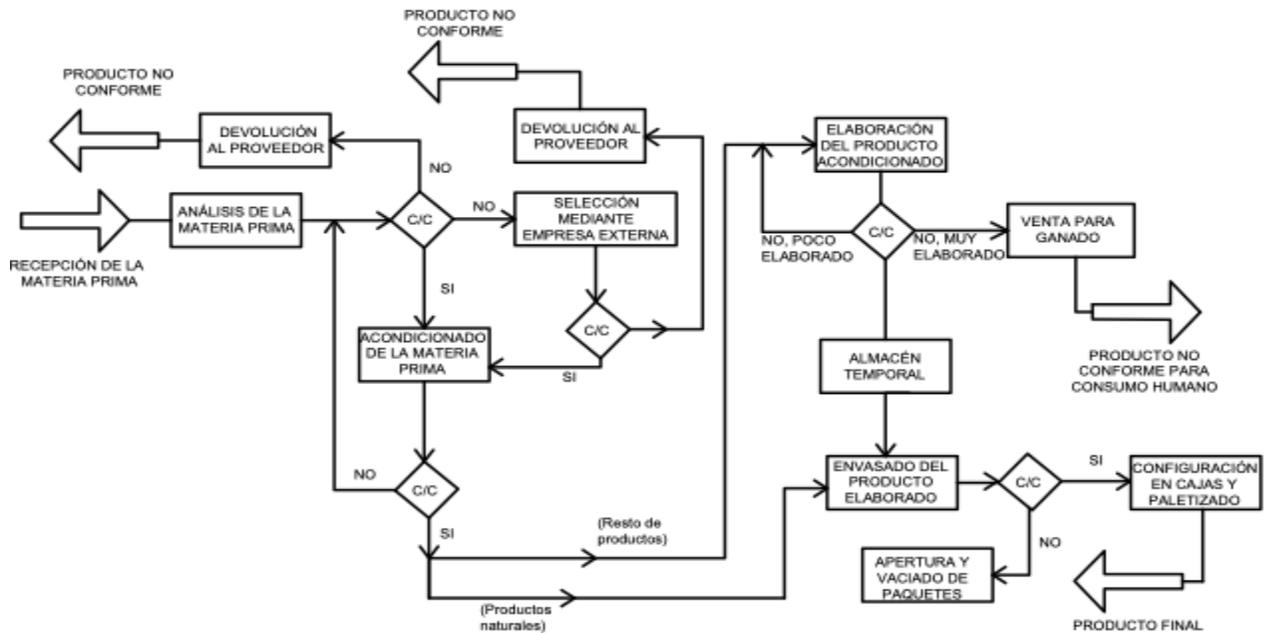
Tabla 2. Resumen económico de la implantación del método. Fuente: elaboración propia

Concepto	Rango de precios (€)	Concepto	Rango de precios (€)
Equipo de medida	170.000,00 – 235.000,00	Fungibles	2.399,56 – 2.747,09
Generador de nitrógeno	9.000,00 – 13.500,00	Recursos humanos	1.500,00
Material Auxiliar	11.597,00	Total (€)	194.496,56 -266.344,09

4.4. Descripción del proceso productivo.

En la Figura 1 se muestra el diagrama de bloques del proceso productivo que se describirá a continuación.

Figura 1: Diagrama de bloques del proceso productivo.



El proceso productivo comienza con la recepción de la materia prima y el control de calidad para comprobar que cumple los estándares impuestos o si debe ser devuelta al proveedor. Si cumple el control producto, se descarga el producto a formatos que permitan un mejor manejo del producto (tales como sacas o barreños). Si no cumple el control de calidad, el producto se devuelve al proveedor o bien se realiza un triaje que sirva para descartar el producto que incumpla cierta característica de calidad. Tras esta etapa, si el producto no ha mejorado su calidad, se rechaza la compra y se devuelve al proveedor.

A continuación, se realiza una etapa de acondicionado de los productos donde se realiza una selección manual o automáticamente del lote para poder detectar y eliminar cualquier materia extraña o granos puntuales que no cumplan las condiciones de calidad exigidas. Tras un control de calidad para verificar que el triaje ha sido efectivo, ocurre la única diferenciación en el flujo entre productos ya que se debe diferenciar los productos que requieren ser tratados térmicamente de aquellos que se van a comercializar como naturales, los cuales pueden envasarse sin más tratamiento.

En la etapa de elaboración se transporta el producto a la entrada del horno o freidora. El producto cae de la saca o barreño a una tolva situada a la entrada del equipo hasta una cinta transportadora

que traslada el producto a lo largo del equipo durante el tiempo de cocción. Tras ser elaborado se puede almacenar temporalmente hasta que se transporte a la zona de envasado.

Si durante la elaboración en el fruto seco se ha detectado que alguna de las especificaciones se encuentra cercana a un límite de incumplir las restricciones de calidad, antes de ser envasado se puede volver a acondicionar en una zona específica situada antes de cada envasadora.

Finalmente, en la etapa de envasado el producto puede volcarse el producto elaborado a tolvas que mediante un elevador de cangilones o un tornillo sin fin sitúe la materia a granel en las pesadoras y conformadoras de paquetes. Finalmente, el producto se encaja manual o automáticamente y se apila en palés para que, tras un muestreo final, se distribuyan al cliente.

Para asegurar la calidad del producto, se toman muestras en la recepción de la materia prima, tras el acondicionado, después de la elaboración y finalmente, con el producto envasado para realizar diversos controles que aseguren que el producto cumple las especificaciones.

4.5. Identificación de las variables a controlar, puntos críticos y de toma de muestra.

Los puntos críticos del proceso donde la formación de acrilamida es más probable son aquellos en los que se den condiciones de bajo porcentaje de humedad del producto y temperaturas elevadas del proceso. Se hablará de temperatura crítica cuando nos queramos referir a procesos de tostado y fritura de frutos secos con temperaturas que superen los 140°C.

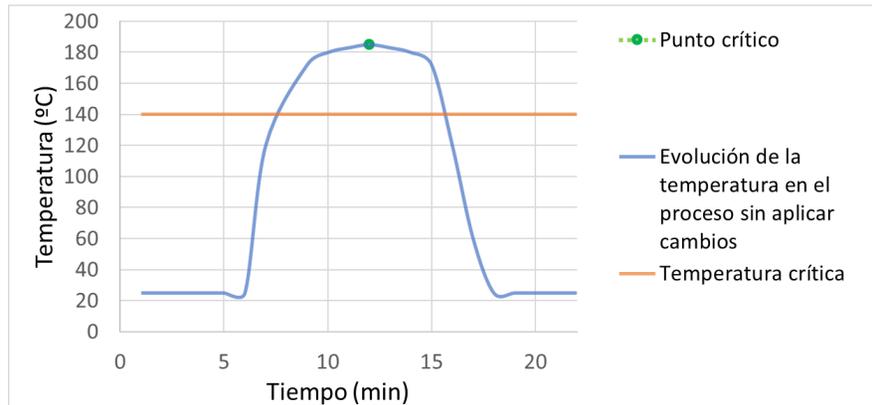
En los equipos de tratamiento térmico del producto, se encontrarán los puntos críticos de generación de acrilamida. No obstante, estos son los únicos puntos en toda la central ya que el producto no vuelve a ser tratado térmicamente tras su paso por los hornos o freidoras, y la temperatura a la que se almacena y envasa el fruto seco es la temperatura ambiente

Como solución, se disminuirá la temperatura de cocción así como la velocidad de la cinta, para tratar de eliminar el punto crítico de actual. Para muestrear la concentración de acrilamida se proponen dos bloques de puntos de toma de muestra. Se plantea localizar el primer punto de toma de muestra a la salida del equipo de elaboración por ser la etapa en la que se encuentran los puntos críticos y por tanto la concentración cumbre de acrilamida. El segundo punto se propone a la salida de las máquinas envasadoras, antes de que el producto final sea paletizado con el fin de detectar cambios en la concentración de esta sustancia con el tiempo.

En la Figura 2 se puede apreciar que es significativo el tiempo en el que el alimento se encuentra a una temperatura superior a la crítica por lo que la concentración de acrilamida se espera elevada. Como las variables que definen el proceso son la temperatura de elaboración y el tiempo

que éste tarda en elaborarse, una disminución en la temperatura máxima supondrá un aumento de dicho tiempo de residencia del producto en el equipo donde se vaya a elaborar.

Figura 2: Evolución de la temperatura a lo largo del tiempo en el proceso de elaboración.



4.6. Medidas de mejora propuestas para la reducción de acrilamida en el proceso productivo

A lo largo del proyecto se ha explicado las consecuencias que acarrea una subida de temperatura de elaboración de más de 140° en diversos tipos de frutos secos, por lo que resulta evidente que una de las medidas correctoras o preventivas supondrá actuar directamente sobre la temperatura de cocción. Las mejoras a realizar en el proceso productivo para reducir la concentración de acrilamida son las siguientes:

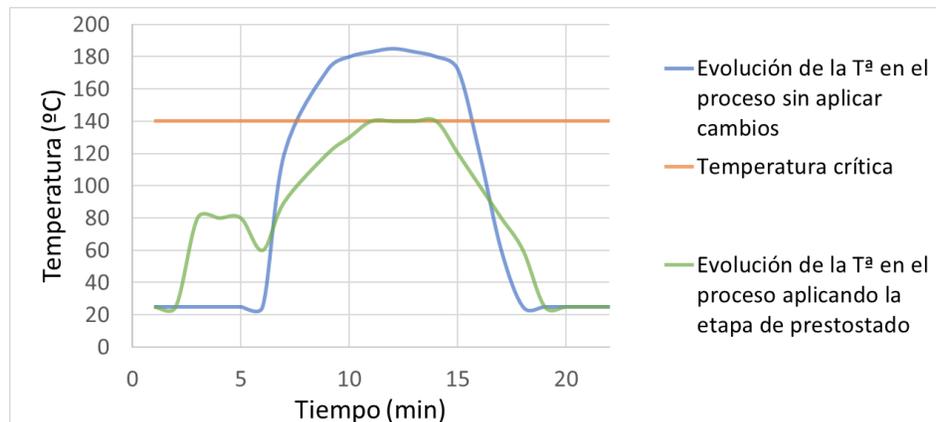
- **Adición de una etapa de pretostado previa a la elaboración.**

Para disminuir la temperatura de elaboración se propone introducir una etapa situada entre el acondicionamiento de la materia prima y su elaboración, que aumente la temperatura del fruto seco para que su entrada al equipo de elaboración se realice en caliente y por tanto requiera una menor temperatura de cocción dentro del horno o de la freidora. Este acondicionamiento térmico se propone que se conforme por unos secadores que envuelvan unos pocos metros a la cinta transportadora, antes de entrada al equipo. Esta etapa se propone que se realice a una temperatura constante de unos 80 °C pudiendo ser aumentada (siempre por debajo de la temperatura crítica), cuando se registrara un lote de materia prima con humedades elevadas para

que la temperatura de este acondicionamiento térmico evitara un incremento de la temperatura del equipo de elaboración

Si se implantara dicha medida, la evolución de temperaturas variaría según se observa en la Figura 3. En ella se observa una etapa de pretostado a temperaturas de 80 °C y la de tostado o fritura posterior pero a temperaturas inferiores a la temperatura crítica.

Figura 3: Evolución de la temperatura a lo largo del tiempo en el proceso de elaboración añadiendo la etapa de pretostado.



- **Modificación del plan de calidad.**

Generalmente, se ha detectado que las temperaturas de horneado y fritura de los frutos se encuentran entre 120-180°C por lo que se deberían modificar los planes de calidad característicos de cada empresa donde se exponen rigurosamente dichas temperaturas. Se debería realizar generalmente una reducción de la temperatura máxima de tostado y fritura tratar de conseguir que no superara los 140°C, evitando fomentar la generación de acrilamida. Los cambios respectivos se aconsejan que se realicen en intervalos de 20° C asegurando en cada modificación que el producto cumple las especificaciones de calidad exigidas.

- **Elaboración de una guía de buenas prácticas.**

Esta tercera medida serviría para implementar un control en los puntos críticos de generación de acrilamida en el proceso productivo. Se va a elaborar una lista de comprobación o “*check-list*” que sirva de modelo para poder tener un seguimiento del modo de operación del proceso en las etapas críticas. Se deberá rellenar primero el nombre del producto que se va a controlar junto a una característica que lo represente, el equipo y la fecha donde se va a elaborar .

Las preguntas en adelante se referirán al cumplimiento o no del actual plan de calidad, se realizara una cuestión en la que se deberá asegurar que la temperatura ha sido en todo momento menor a 140°C. En el caso de que esta pregunta sea negativa, deberá indicarse la máxima temperatura que el equipo ha alcanzado.

Finalmente, se deberá verificar que el producto elaborado cumple con las especificaciones de calidad realizando el análisis correspondiente según la metodología ya indicada y se deberá

especificar el rendimiento del equipo cuando se haya elaborado el producto para estudiar si el proceso sigue siendo eficiente y viable.

5. Conclusiones.

De manera general, se ha conseguido seleccionar un método de análisis que detecte y cuantifique la cantidad de acrilamida en varias matrices de frutos secos, cumpliendo los límites impuestos por la Recomendación (UE) 2019/ 1888 y el Reglamento (UE) 2017/2158. Además, se han estudiado las características de un proceso productivo, y se han propuesto unas modificaciones que puedan mitigar la concentración de acrilamida en el producto final.

Las conclusiones a las que se ha llegado con la realización de este proyecto han sido:

- La acrilamida es un compuesto tóxico que constituye una parte de la dieta humana y su ingesta debe ser reducida. Se genera en los alimentos a través de la reacción de Maillard cuando estos se tratan térmicamente con temperaturas superiores a 120°C.
- Los alimentos con mayores cantidades de aspargina y azúcares reductores son más sensibles a desarrollar mayores concentraciones de acrilamida. Las almendras son el fruto seco que tiene mayor posibilidad de formar más cantidad de acrilamida.
- El método de detección y cuantificación de acrilamida más adecuado para matrices de frutos secos es el compuesto por la cromatografía líquida de ultra alta resolución junto a la espectrometría de masas en tándem (UPLC-MS/MS) ya que cumple con los límites impuestos por la Recomendación (UE) 2019/ 1888 y el Reglamento (UE) 2017/2158.
- Los puntos críticos de generación de acrilamida en el proceso productivo son las cámaras quemadoras de los hornos y freidoras.
- Las medidas propuestas para la reducción de acrilamida mediante la modificación del proceso productivo se basan en: la adición de una etapa de pretostado que aumente la temperatura del fruto seco antes su elaboración, la reducción de 20°C en la temperatura

superior de elaboración y finalmente, la puesta en práctica de una lista de chequeo que asegure las buenas prácticas de cocción.

Referencias

- Amrein, T. M. & Lukac, H. & Andres & L., Perren & R., Escher & F., & Amadó, R. (2005). Acrylamide in roasted almonds and hazelnuts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(20), 7819–7825. <https://doi.org/10.1021/jf051132k>
- Bulló, M., & Vizmanos, B. (nd). Un patrón de alimentación saludable: la dieta mediterránea tradicional. 11–22.
- Demirhan, B. & Er Demirhan, B. & Ertas, N., & Hayriye Eda, S. K. (2017). Rapid detection of acrylamide in food using Mn-doped ZnS quantum dots as a room temperature phosphor-escent probe food analytical methods. *Food Analytical Methods*, 12–20.
- Eckert, P. (2006). Acrylamide. A survey of acrylamide in non-carbohydrate based foods. In Government of South Australia: Survey Report. (pp. 1–8).
- Fu, Y. & Li, Q. & Chen, J. & Wang, L. & Li, R. & Zhou, G., et al. (2011). Rapid detection of acrylamide residue in heated food by enzyme linked immunosorbent assay. *China Brewing*, 5(023).
- Guo, C. & Xie, Y. J. & Zhu, M. T. & Xiong, Q. & Chen, Y. & Yu, Q. & Xie, J. H. (2020). Influence of different cooking methods on the nutritional and potentially harmful components of peanuts. *Food Chemistry*, 316(June 2019). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126269>
- Hoenicke K, G. R. (2005). Studies on the stability of acrylamide in food during storage. *AOAC Int*, 88(1), 268.
- Hu, Q. & Xu, X. & Fu, Y. & Li, Y. (2015). Rapid methods for detecting acrylamide in thermally processed foods: A review. *Food Control*, 56, 135–146. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.03.021>
- Hu, Q. & Xu, X. & Li, Z. & Zhang, Y. & Wang, J. & Fu, Y. & Li, Y. (2014). Detection of acrylamide in potato chips using a fluorescent sensing method based on acrylamide polymerization-induced distance increase between quantum dots. *Biosensors and Bioelectronics*, 54, 64–71. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2013.10.046>
- Kocadağlı, T., & Gökmen, V. (2016). Metabolism of Acrylamide in Humans and Biomarkers of Exposure to Acrylamide. In *Acrylamide in Food: Analysis, Content and Potential Health Effects*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802832-2.00006-1>
- 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. *Trends in Food Science and Technology*, 85(November 2018), 211–225.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.01.003>

Quan, Y. & Chen, M. & Zhan, Y. & Zhang, G. (2011). Development of an enhanced chemiluminescence ELISA for the rapid detection of acrylamide in food products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(13), 6895–6899. <https://doi.org/10.1021/jf200954w>

Raffan, S. & Halford, N. G. (2019). Acrylamide in food: Progress in and prospects for genetic and agronomic solutions. *Annals of Applied Biology*, 175(3), 259–281.
<https://doi.org/10.1111/aab.12536>

Semla, M. & Goc, Z. & Martiniaková, M. & Omelka, R. & Formicki, G. (2017). Acrylamide: A common food toxin related to physiological functions and health. *Physiological Research*, 66(2), 205–217. <https://doi.org/10.33549/physiolres.933381>

Şenyuva, H. Z. & Gökmen, V. (2006). Interference-free determination of acrylamide in potato and cereal-based foods by a laboratory validated liquid chromatography-mass spectrometry method. *Food Chemistry*, 97(3), 539–545.

Şenyuva, H. Z. & Gökmen, V. (2005). Survey of acrylamide in Turkish foods by an in-house validated LC-MS method. *Food Additives and Contaminants*, 22(3), 204–209.
<https://doi.org/10.1080/02652030512331344178>

Singla, R. K. & Dubey, A. K. & Ameen, S. M. & Montalto, S. & Parisi, S. (2018). Analytical Methods for the Assessment of Maillard Reactions in Foods.

Stobiecka, A. & Radecka, H. & Radecki, J. (2007). Novel voltammetric biosensor for determining acrylamide in food samples. *Biosensors and Bioelectronics*, 22(9–10), 2165–2170. *Biosensors and Bioelectronics*, 22(9–10), 2165–2170.

Sun, W. & Cao, L. & Deng, Y. & Gong, S. & Shi, F. & Li, G. et al. (n.d.-a). Direct electrochemistry with enhanced electrocatalytic activity of hemoglobin in hybrid modified electrodes composed of graphene and multi-walled carbon nanotubes. *Analytica Chimica Acta*, 781, 41–47.

Sun, W. & Cao, L. & Deng, Y. & Gong, S. & Shi, F. & Li, G. et al. (n.d.-b). Direct electrochemistry with enhanced electrocatalytic activity of hemoglobin in hybrid modified electrodes composed of graphene and multi-walled carbon nanotubes. , 781, 41–47. *Analytica Chimica Acta*, 718, 41–47.

Tardiff, R. G. & Gargas, M. L. & Kirman, C. R. & Leigh Carson, M. & Sweeney, L. M. (2010). Estimation of safe dietary intake levels of acrylamide for humans. *Food and Chemical Toxicology*, 48(2), 658–667. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2009.11.048>

Unión Europea. Reglamento (UE) nº 2017/2158 de la Comisión, de 20 de noviembre de 2017, por el que se establecen medidas de mitigación y niveles de referencia para reducir la presencia de acrilamida en los alimentos, 21 de noviembre de 2017, núm. 304, pp. 24.

Yamazaki K & Isagawa S & Kibune N, U. T. (2012). A method for the determination of acrylamide in a broad variety of processed foods by GC-MS using xanthidrol derivatization. *Food Additives & Contaminants.*, 29(5), 705–715.

Zhou, S. & Zhang, C. & Wang, D. & Zhao, M. (2008). Antigen synthetic strategy and immunoassay development for detection of acrylamide in foods. *Analyst*, 133(7), 903–909.
<https://doi.org/10.1039/b716526a>

Žilić, S. (2016). Acrylamide in Soybean Products, Roasted Nuts, and Dried Fruits. In Acrylamide in Food: Analysis, Content and Potential Health Effects. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802832-2.00010-3>

**Comunicación alineada
con los objetivos de
desarrollo Sostenible**

