ACRILAMIDA: Formación y mitigación en procesamiento industrial de alimentos

Trabajo de grado para optar al título de Especialista en Alimentación y Nutrición

Marta Lucia Echeverri R.

Luz Amalia Jaramillo Z.

Juliana Quiroz C.

Asesor

Rafael Álvarez Quintero
Químico Farmacéutico Ph. D

Corporación Universitaria Lasallista

Facultad de Ingenierías

Especialización en Alimentación y Nutrición

Caldas Antioquia

2014

Contenido

Resumen 6
Abstract 7
Introducción 8
Justificación 10
Objetivos 12
Objetivo General 12
Objetivos Específicos 12
Marco teórico 13
Origen del aroma y el sabor en la reacción de Maillard 13
El lado oscuro de la reacción de Maillard 14
Física y química de la reacción de Maillard 15
Etapas de la reacción de Maillard. 16
Precursores y mecanismo de formación de acrilamida. 18
Tóxicos de neoformación en la reacción de Maillard 19
Aminas heterocíclicas. 20
Furanos. 20
Hidroximetilfurfural y acrilamida. 20
Características que favorecen la formación de acrilamida 21
De acuerdo al proceso al que sean sometidos. 21
Proceso de fritura. 21
Proceso de horneado. 21
De acuerdo al tipo de alimento. 22
Política internacional para el control de Acrilamida 23
Control industrial de Acrilamida 29
Estrategias de mitigación industrial de la acrilamida. 30
Métodos biológicos. 30
Métodos físicos. 31
Métodos químicos. 31
Recomendaciones para el control según el tipo de alimento 32

Papas..... 32
Cereales 33
Café 34
Metodología..... 36
Conclusiones..... 38
Recomendaciones y perspectivas 40
Referencias 41

Lista de tablas

Tabla 1 Valores indicativos de acrilamida basados en los datos de control de la EFSA entre 2007 y 2012 27

Lista de figuras

Figura 1. Mecanismo propuesto para la formación de acrilamida, el cual sigue el transcurso de la reacción de Maillard a partir de asparagina y un azúcar reductor. 19

Figura 2. Resumen de la metodología utilizada 37

Resumen

Los diferentes tratamientos térmicos empleados en la industria alimentaria como son: la fritura, el tostado, horneado y otros alcanzan temperaturas altas (220ºC en promedio), estas condiciones llevan intrínsecamente a una serie de reacciones que forman compuestos responsables del sabor y olor, colateralmente, se producen tóxicos que reducen la seguridad de los alimentos. Estos compuestos se denominan contaminantes neoformados y se producen a partir de la reacción de Maillard, su aparición tiene relación directa con el proceso tecnológico o culinario aplicado y se constituyen como marcadores relacionados con enfermedades como el cáncer. Las autoridades de seguridad alimentaria en el mundo han llamado la atención de la industria y los consumidores para asumir una actitud responsable respecto al control de formación y hábitos de consumo de alimentos que contienen acrilamida. Se ha propuesto una serie de estrategias que pretenden evitar la formación de la acrilamida en alimentos, sobresalen aquellas que buscan seleccionar nuevas fuentes de materia prima y nuevas operaciones de producción industrial.

Palabras clave

Acrilamida, Alimentos procesados, Estrategias de mitigación

Abstract

The different heat treatments used in the food industry such as: frying, roasting, baking and other reach high temperatures (220 °C on average). These conditions produce inherently a series of reactions that are responsible for taste and odor compounds. With the collateral production of toxics with damaging potential on food safety. These substances are called neoformed contaminants and are produced from the Maillard reaction, its appearance is directly related to technological or culinary process applied and are being established as markers of diseases such as cancer. The food safety authorities around the world have caught the attention of industry and consumers to take a responsible attitude to control production and consumption patterns of foods containing acrylamide. It has proposed a number of strategies that seek to avoid the formation of acrylamide in food, have taken relevance select strategies that seek new sources of raw and new material industrial production operations.

Keywords

Acrylamide, processed foods, mitigation strategies

Introducción

Los alimentos son la fuente principal para la obtención de energía que mantiene las funciones vitales, estos llegan al organismo humano como se presentan en la naturaleza o con alguna transformación, en estos procesos comienzan los cambios que los hacen aptos para su consumo, de esta manera se obtienen alimentos deliciosos y del gusto del consumidor. Sin embargo, existen factores que afectan notoriamente la calidad de los alimentos: los cambios químicos y físicos, la obsolescencia de procesos industriales y capacitación insuficiente, que pueden explicar cómo se producen sustancias toxicas que afectan a la salud pública mundial y que además son la preocupación de la industria alimentaria en el mundo. Los factores de riesgo en los alimentos son de origen químico o microbiológico, o una combinación de ambos, el factor químico agrupa todas las sustancias formadas durante el procesamiento de los alimentos a nivel del hogar o industrial y más comúnmente los creados en la reacción de Maillard, que son dependientes de la temperatura y el compuesto más representativo es la acrilamida.

Es por esto que ha habido un cambio hacia la discusión de la seguridad de los alimentos, y el análisis de los factores de riesgo desconocidos ha tomado fuerza en la producción. En el sector de alimentos, el concepto de riesgo está detrás de la necesidad de sistemas de calidad y trazabilidad como el Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (HACCP) y las regulaciones similares como British Retail Consortium (BRC), las Normas Globales (BRC Global Standard Food; BRC/IOP Global Standard Food Packaging), y la nueva norma ISO 22000:2005 Sistemas de gestión de seguridad alimentaria-Requisitos para cualquier organización en la cadena alimentaria). El concepto de riesgo es también la fuerza impulsora

detrás de la regulación alimentaria de la UE Reglamento 882/2004 UE (Comisión Europea, 2004) y la formación de la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) en 2002.

La acrilamida es una sustancia neurotóxica y cancerígena que se puede producir de forma natural en algunos alimentos procesados a altas temperaturas estando correlacionada con el oscurecimiento del producto. Se han definidos estrategias para la mitigación o control de la formación en procesos de calentamiento, actualmente las iniciativas para este efecto se pueden resumir de la siguiente manera, a lo largo de la industria alimentaria: Selección de materias primas de partida con bajo contenido de asparagina, utilización aminoácidos competidores con asparagina, pretratamiento de materias primas (eliminación de exceso de azúcares reductores), reemplazo de azúcares reductores en la formulaciones, modificación de condiciones de calentamiento, modificación del pH, utilización de asparaginasa, fermentación, adición de aditivos que reduzcan la acrilamida formada, entre otras.

Sin duda alguna el tema que se aborda en este documento es de vital importancia para la industria, el sector gubernamental, los entes reguladores, los profesionales de la alimentación y la nutrición con la finalidad de garantizar las condiciones especiales para la preparación de los alimentos; sin detrimento de sus características organolépticas, nutricionales y conservar sus propiedades físicas y químicas; esta es la preocupación que nos ocupará en esta monografía el revisar como las acrilamidas aparecen en los alimentos que se preparan a altas temperaturas y que pueden tener efectos en la salud de los seres humanos.

Justificación

La acrilamida es un compuesto con un amplio espectro de efectos tóxicos según la IARC (International Agency for Researchon Cancer), la cual la ha clasificado como 2A o posiblemente cancerígena para los humanos y que se forma en productos alimenticios que sufren procesos térmicos por encima de los 100°C. Debido a la toxicidad de esta sustancia, muchos se han llevado a cabo esfuerzos para la reducción de sus niveles centrándose los parámetros que puedan influir en su formación. Los alimentos que sufren procesos térmicos, como son el tostado, el horneado y la fritura principalmente, desarrollan las características fisicoquímicas y organolépticas que hacen que estos productos sean muy apetecidos con muy alto consumo global, entre ellos se destaca el chocolate, los productos horneados, los fritos y el café; estos procesos, según el perfil sensorial del producto presentado al consumidor, se llevan a cabo a temperaturas entre los 150-250°C, a las cuales la acrilamida, cuenta con las condiciones óptimas para su formación. Debido a lo anteriormente descrito, se hace necesaria la implementación de medidas estratégicas y de generación de conocimiento que permitan tener herramientas con las cuales se pueda estar preparado para las exigencias de los mercados internacionales, contando con producción alimentaria que se dirija en la línea de la competitividad, sin que se vea afectado su valor y calidad sensorial; Colombia es un país productor de alimentos (en lo agrícola e industrial) lo cual tiene un impacto grande a nivel local e internacional desde el punto de vista económico y socio-cultural.

De acuerdo con lo anterior se requiere el desarrollo de planes y/o metodologías que permitan generar nuevo conocimiento acerca de los orígenes, el impacto del procesado y las alternativas de mitigación de la acrilamida y otros tóxicos de neo formación, su

comportamiento según los parámetros mencionados en la normatividad internacional y las condiciones óptimas para la elaboración de productos alimentarios con altos estándares de calidad y bajo niveles tóxicos, ya que en el país, a la fecha, no se conocen investigaciones o estrategias exitosas de este tipo.

Objetivos

Objetivo General

Realizar una revisión sobre el estado actual del conocimiento en la problemática de la formación y estrategias de mitigación de la acrilamida en la industria de alimentos térmicamente procesados.

Objetivos Específicos

Identificar el proceso de formación de la acrilamida en los alimentos sometidos bajo condiciones de reacción de Maillard.

Exponer las características de los procesos industriales que tienen alto impacto en la formación de acrilamida a diferentes temperaturas.

Presentar la normatividad internacional en lo concerniente a la los niveles máximos permitidos y a las iniciativas para el control de la acrilamida en la industria de alimentos.

Recopilar información sobre las tecnologías y estrategias propuestas a la industria de alimentos para la mitigación y/o disminución de acrilamida en productos térmicamente procesados.

Marco teórico

Origen del aroma y el sabor en la reacción de Maillard

El aroma del pan recién hecho, el tueste del café, el malteado de la cerveza o el sabor de la carne bien asada se deben a una misma reacción química. Descrita hace ahora 100 años por un químico y médico francés, la exposición conjunta de azúcares y proteínas o lípidos a una fuente de calor está detrás de los mejores sabores y olores que alimentan a la humanidad. Pero, además de ser la base de la cocina, también es el origen de algunas de las peores enfermedades. Louis Camille Maillard (1878-1936) llevaba una década intentando lograr la síntesis química de los péptidos, conjuntos de moléculas formadas por aminoácidos. Su objetivo último era entender el origen y formación de las proteínas en los seres vivos. Usaba glicerina como condensador por medio del calor. Un día, sustituyó este elemento por azúcar y se encontró con algo inesperado: su reducción, o pérdida de electrones que pasan al aminoácido. Maillard había descubierto el mecanismo por el que los alimentos saben mejor cuando están cocinados (Hernández et.al. 1999).

La reacción de Maillard es un proceso en cadena, tiene la particularidad de que no es lineal, sino concomitante: los productos que genera realimentan el proceso. La Reacción de Maillard se desarrolla fundamentalmente entre el grupo amino de un aminoácido y el grupo carbonilo de un azúcar reductor, dando lugar normalmente a compuestos pardos, a menudo perseguidos en la preparación de los alimentos por conferir características organolépticas de color, aroma y sabor agradables (Finot, 2005). En un artículo de la revista Chemical and Engineering News, editada por la Sociedad Americana de la Química, el premio Nobel Jean-

Marie Lehn aseguró que la de Maillard “es la reacción química más practicada del mundo”. Cada día, en todas las cocinas del planeta se produce cada vez que se pone algo al fuego (Everts, 2012).

El lado oscuro de la reacción de Maillard

Maillard se dio cuenta de la importancia de su descubrimiento para los alimentos, pero también comprobó que la reacción se da en forma natural en los seres vivos de acuerdo a que el organismo está lleno de azúcares, lípidos y proteínas y, a 37º (Hernández et. al. 1999).

Enfermedades como la diabetes siguen el mismo patrón. La hemoglobina, una proteína, reacciona en presencia de carbohidratos, un azúcar, tal como lo describió Maillard, en un proceso denominado glicación. Esto impide la transferencia adecuada de oxígeno en la sangre. A la reacción de Maillard también se la conoce como glicación no enzimática de proteínas (González et.al. 2000). El mecanismo está presente en la aparición de cataratas al glicarse el cristalino del ojo, en la arterioesclerosis, inflamaciones intestinales, el Alzheimer, el Parkinson y varios tipos de enfermedades neurodegenerativas (Bengmark y Gil, 2007). Hace un poco más de una década, investigadores suecos descubrieron que la reacción de Maillard también está detrás de la aparición de compuestos carcinógenos como la acrilamida y el hidroximetilfurfural en los alimentos demasiado procesados. La alarma se extendió y las agencias de seguridad alimentaria trabajan desde entonces con la industria para mantener los niveles de ambas sustancias por debajo de unos mínimos (Besaratinia y Pfeifer, 2007).

Física y química de la reacción de Maillard

Durante el calentamiento de los alimentos, los azucares reductores reaccionan con aminoácidos iniciando una cascada de eventos químicos que conducen al pardeamiento de los alimentos a través de la generación de compuestos reactivos como monocarbonilos y dicarbonilos (Zyazak et. al. 2003). Esta reacción se constituye como una reacción de pardeamiento no enzimático, donde las condiciones de pH, temperatura y actividad de agua (aw) son específicas para la producción de los distintos compuestos coloreados, hace referencia a varias reacciones simultáneas formando compuestos insolubles y coloreados denominados melanoidinas y otros subproductos (Fennema, 1993). Para que esta reacción ocurra es necesario que se cuente con dos factores principales (Fennema, 1993; Badui, 2006)

Un grupo amino (NH_2) libre proveniente de aminoácidos (siendo más reactivos la lisina, arginina, histidina, triptófano y asparagina en menor proporción) o proteínas con grupo amino terminal.

a. Grupo carbonilo de un azúcar reductor.

Esta reacción se puede favorecer por las condiciones de la matriz del alimento o por el procesamiento, los cuales aceleran o disminuyen la formación de las melanoidinas y subproductos. Además se ve favorecida a pH alcalinos aumentando su velocidad, cuando el valor óptimo de formación de melanoidinas es de 10. (Badui, 2006). A pesar de que la formación de acrilamida en alimentos tiene su ruta desequilibrante por medio de la reacción entre la asparagina y los azúcares reductores, hay también otras rutas menores para la formación desencadenada por los residuos de grupos aminos provenientes de la reacción de Maillard, sin embargo esta formación es menos potente que la reacción entre los compuestos

carbonilos tales como azúcares reductores con la asparagina. La acrilamida podría también formarse a partir de lípidos a través de los compuestos de la unidad de tres carbonos (ácido acrílico) producido a partir de lípidos superiores a temperaturas elevadas (Ehling et al, 2005; Zhang et al, 2005).

Etapas de la reacción de Maillard.

Etapa inicial: Comienza con una reacción de condensación entre el grupo carbonilo, normalmente de un azúcar reductor, aunque también puede ser un compuesto carbonílico generado en la etapa intermedia de la reacción de Maillard o procedente de la oxidación lipídica, y un grupo amino libre de un aminoácido, péptido o proteína originándose una base de Schiff . Por ciclación, la base de Schiff se transforma rápidamente en la glicosilamina N-sustituida correspondiente. Cuando la base de Schiff es una aldosilamina N-sustituida, se forma la 1-Amino-1-deoxi-2-cetosa mediante el denominado rearreglo de Amadori, siendo esta epata irreversible. Sin embargo, cuando la molécula es una cetosilamina-N-sustituida se forma una 2-amino-2-deoxi-2-cetosa y se le conoce como reorganización de Heyns (Arrivas, G. 2013). El primer paso en la producción de acrilamida es la formación de una base de Schiff entre el carbonilo y el grupo a-amino de la asparagina por medio de la deshidratación del compuesto de N-glicosil. (Gökmen y Şenyuva, 2007).

Etapa avanzada**:** Los productos de Amadori y Heyns se descomponen dependiendo del pH, la actividad de agua, la presencia de metales divalentes o la temperatura, dando lugar a la formación de diferentes compuestos intermedios responsables del aroma que caracterizan a los alimentos cocinados. A pH neutro o ligeramente ácido, y en condiciones de baja actividad de agua, la reacción predominante es una enolización-1,2 que da lugar a la formación de furfural

cuando el azúcar reductor implicado es una pentosa o hidroxilmetilfurfural en el caso de una hexosa. Por el contrario, a pH básicos tiene lugar una enolización-2,3 formándose reductonas y una variedad de productos de ruptura tales como acetol, piruvaldehído y diacetilo, todos ellos de gran reactividad, lo que hace que participen en nuevas reacciones con otros productos intermedios de la reacción. El producto de Amadori puede degradarse también vía oxidativa hacia compuestos carbonílicos (ruta de Namiki). Los compuestos dicarbonílicos producidos, mediante la degradación de Strecker pueden reaccionar con aminoácidos y dar lugar a la formación de aldehídos con un carbono menos, α-aminocetonas, y eliminación de CO_2. Estos aldehídos también juegan un papel importante en el aroma y sabor de los alimentos cocinados (Arribas y Morales, 2009).

Etapa final: Engloba un gran número de reacciones que incluyen ciclaciones, deshidrataciones, reorganizaciones y condensaciones originando dos clases diferentes de compuestos: los compuestos aromáticos volátiles, siguiendo la vía paralela de Strecker, y las melanoidinas.

Las melanoidinas son polímeros coloreados producidos por reacciones de condensación de compuestos con grupos aminos procedentes de las etapas intermedias de la RM como pirroles N-sustituidos, 2-formilpirroles N-sustituidos, y 2-furaldehído. La estructura de las melanoidinas varía dependiendo de las condiciones en las que haya tenido lugar la reacción así como del tipo de alimento, además, poseen menor solubilidad que los productos de la reacción de Maillard de partida (Ver Figura 1) (Arribas y Morales, 2009).

Precursores y mecanismo de formación de acrilamida.

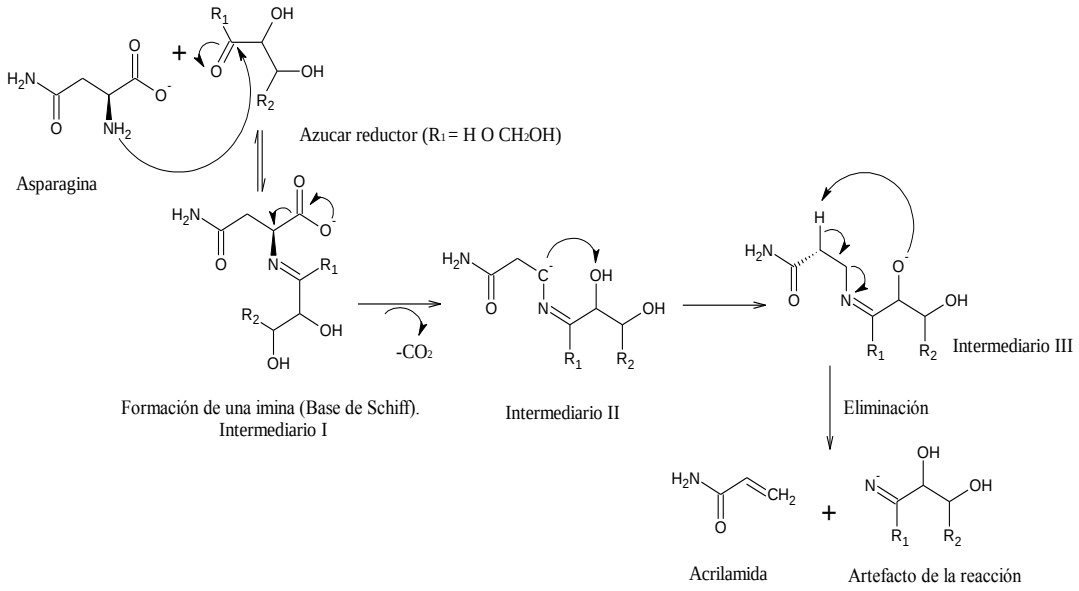
La vía más importe para la formación de Acrilamida en los alimentos es la ruta asparagina a través de la reacción de Maillard (Mottram, Wedzicha y Dodson, 2002), la asparagina es un aminoácido abundante en papas y cereales, el cual es un participante crucial en la producción de acrilamida al reaccionar con el grupo carbonilo de un azúcar reductor como la fructosa o glucosa.

El calentamiento de cantidades equimolares de asparagina y glucosa a 180°C por 30 minutos producen 368 µmol de acrilamida por mol de asparagina (Stadler et al., 2002). La dependencia de la temperatura en la formación de acrilamida a partir de asparagina indica que ésta se ve favorecida por encima de 100°. Otros aminoácidos que producen bajas cantidades de acrilamida son alanina, arginina, ácido aspártico, cisteína, glutamina, metionina, treonina y valina C (Stadler et al, 2002).

La asparagina puede descomponerse térmicamente por desaminación y descarboxilación pero cuando una fuente de carbonilo está presente el rendimiento de acrilamida a partir de asparagina es mucho más alto, lo que explica la alta concentración de acrilamida detectado en los alimentos ricos en azúcares reductores y asparagina libre, tales como patatas fritas y productos de panadería (Yaylayan, Wnorowski y Perez, 2003).

Figura 1. Mecanismo propuesto para la formación de acrilamida, el cual sigue el transcurso de la reacción de Maillard a partir de asparagina y un azúcar reductor.

Fuente: Adaptada de Sune, E. (2005). Acrylamide in food products: Identification, formation and analytical methodology



Tóxicos de neoformación en la reacción de Maillard

La reacción de Maillard se considera como la reacción química más importante durante el procesamiento de los alimentos debido a su influencia en la calidad para producir atributos deseados como el color y sabor, así como los no deseados mutagénicos o cancerígenos y requiere la consideración de las condiciones de procesamiento y las propiedades físico-químicas del material alimenticio (Jaeger, Janositz, y Knorr, 2010). Estas sustancias se denominan contaminantes químicos de procesado o neoformados, que no estaban presentes en el alimento fresco y cuya presencia está directamente relacionada con el procesado de los alimentos.

Aminas heterocíclicas.

Actualmente, se han identificado más de 20 derivados de las aminas heterocíclicas. Dependiendo del mecanismo de formación se pueden dividir en dos grandes grupos: El primero, las carbolinas, se forman a elevadas temperaturas y se conocen como aminas pirolíticas. Se generan durante la pirólisis (> 250 ºC) de aminoácidos (triptófano, ácido glutámico, fenilalanina y ornitina) o bien de proteínas (caseína y globulina de soja). El segundo grupo son los aminoimidazoazarenos, llamados también aminas térmicas. Se forman en alimentos ricos en proteínas como la carne o el pescado a temperaturas inferiores a 300 ºC (Arribas y Morales, 2009).

Furanos.

El furano se puede formar en los alimentos a consecuencia de la aplicación de calor o por la exposición a radiación ionizante o ultravioleta. Los posibles precursores del furano son los aminoácidos, los azúcares, los ácidos grasos poliinsaturados (AGP), el ácido ascórbico y los carotenoides. Los compuestos de furano se asocian desde hace mucho tiempo a los aromas de los alimentos (Comisión del Codex Alimentarius, 2011).

Hidroximetilfurfural y acrilamida.

El Hidroximetilfurfural (HMF) y la acrilamida, son considerados los más importantes contaminantes químicos de neoformación en productos de panadería y galletería además del café y el cacao, debido a su alto potencial toxicológico y a su concentración elevada en estos alimentos. El HMF es un aldehído cíclico formado tanto a través de la RM como de la

deshidratación de los azúcares (caramelización). El HMF está ampliamente distribuido en la dieta occidental y se ha identificado en una gran variedad de alimentos procesados (Arribas y Morales, 2009).

Características que favorecen la formación de acrilamida

De acuerdo al proceso al que sean sometidos.

Proceso de fritura.

Los factores de más importancia para la formación de acrilamida en alimentos son la temperatura y el contenido de humedad. Como se ha mencionado su formación inicia a temperaturas superiores de 120°C, sin embargo sometiendo alimentos a temperaturas por encima de 180°C se observa una disminución de esta reacción debido a que se produce una degradación de estas (Sanny, et al, 2010). Indudablemente, la disminución de la temperatura produce una menor cantidad de acrilamida, pero se producen efectos negativos en la calidad del alimento, como lo es la absorción de grasa y una textura deficiente (Romani, et al., 2008). Además la cantidad alimento a freír determina el descenso de temperatura que se produce al sumergirse el alimento en el aceite y el tiempo de fritura necesario para recuperar la temperatura inicial y por ende la formación de acrilamida, debido a que el producto está con una temperatura inicial más baja que la del aceite y por lo tanto toma tiempo en llegar a un equilibrio.

Proceso de horneado.

Durante el proceso de horneado, ocurre simultáneamente una transferencia de calor y de masa que produce cambios físicos y químicos en el alimento, como lo son cambios de

volumen, evaporación de agua y formación de la corteza. Tal como ocurre en el proceso de fritura, la temperatura y la humedad son parámetros críticos. En el estudio realizado por Claus, et al, (2005) se concluyo que la acrilamida se forma en la corteza de los productos horneados.

Proceso de tostado.

El tostado del café implica la transferencia de calor a través de la estructura del grano, el transporte de vapor de agua, CO_2 y compuestos volátiles, como también cambios de volumen, estructura y composición. La formación de acrilamida tiene lugar en el comienzo del tueste (Food Drink Europe, 2011).

De acuerdo al tipo de alimento.

Café.

En el café se ha detectado la presencia de acrilamida, formada durante el proceso de tostado y sus niveles pueden variar dependiendo de las diferentes variedades de café utilizadas. Esto dificulta la identificación de un método para optimizar el tostado, y así disminuir la formación de acrilamida. No hay estudios que permitan bajar los niveles de acrilamida formados y se sugiere el tostado por convección, aunque no está claro si es posible utilizarlo. No se dispone aún de tecnologías adecuadas para disminuir los niveles de azúcares reductores en el café. Sin embargo se vienen desarrollando estrategias para disminuir su formación debido a su importancia, considerando que el elevado consumo de café puede contribuir a aumentar los niveles de exposición poblacional (Biedermann et al., 2003; Food and Agriculture Organization y Organización Mundial de la Salud [FAO y OMS], 2002; Gül, et al, 2014).

Papas fritas.

Los factores más importantes que determinan la formación de acrilamidas son la composición de las papas, el tipo de suelo, variedad, las condiciones de almacenamiento poscosecha (Low et al., 2006) y las variables del proceso de preparación como lo son la temperatura del aceite y el tiempo de fritura (Surkyk et al., 2004).

Cereales.

En el caso de los cereales y los productos elaborados con cereales, como el pan, las galletas y los cereales para el desayuno, el contenido de asparagina es la materia prima determinante más importante en la formación de acrilamida (Claus, et al, 2008[a]). Se dispone de poca información sobre el contenido de asparagina en los diversos cereales. Por lo común, la concentración de asparagina puede oscilar entre 75 a 2200 mg/kg en el trigo, 50 a 1400 mg/kg en la avena, 70 a 3000 mg/kg en el maíz, 319 a 880 mg/kg en el centeno, y de 15 a 25 mg/kg en el arroz. Este nivel de variación indica que puede haber un margen para reducir la acrilamida aprovechando la variabilidad de asparagina. Las harinas ligeras contienen bastante menos asparagina que las harinas integrales. Sin embargo, si se reduce el contenido de harina integral se reducen las ventajas nutritivas del producto final (Mogol y Gökmen, 2014).

Política internacional para el control de Acrilamida

El Comité mixto de Expertos en Aditivos Alimentarios FAO/OMS (JECFA) llevó a cabo un amplio análisis de datos sobre la presencia de acrilamida de 24 países de Europa y

América del Norte, concluyendo que los principales grupos de alimentos son las papas fritas, el café, las galletas y/o pasteles, el pan y el pan tostado. Al final del estudio no quedó claro la cantidad total de acrilamida que está presente a través de la alimentación humana, sin embargo, esta comisión presentó un código de prácticas con la finalidad de dar a las autoridades de los países y a los fabricantes, así como a otros organismos pertinentes, orientación para prevenir y reducir la formación de acrilamida en productos a base de papa y cereales. Esta orientación comprende tres estrategias para reducir la formación de acrilamida en determinados productos: Materias primas; Control/adición de otros ingredientes; Elaboración y tratamiento térmico de los alimentos (CAC/RCP 67-2009).

El informe CAC/RCP 67-2009 del Codex Alimentarius estableció las consideraciones y limitaciones para la elaboración de medidas de prevención, en este se dicta la prohibición de tomar medidas para reducir la concentración de acrilamida sin tener en cuenta otras consideraciones. Es necesario impedir que se comprometa la inocuidad química y microbiológica de los alimentos. Las cualidades nutricionales de los productos también tienen que permanecer intactas, así como las características organolépticas y la consiguiente aceptación del consumidor. Esto significa que todas las estrategias de reducción deben ser evaluadas en función de sus beneficios y de todo efecto adverso posible. Por ejemplo:

a. Al tomar en consideración medidas de prevención contra la acrilamida, debería efectuarse una verificación para garantizar que en el proceso no se produzca un incremento de otros contaminantes, como las N-nitrosaminas, los hidrocarburos aromáticos policíclicos, los cloropropanoles, el etilcarbamato, el furano, las aminas heterocíclicas aromáticas y los aminoácidos pirolisados.

b. Las medidas de prevención contra la acrilamida no deben comprometer la estabilidad microbiológica del producto final. Especialmente debe prestarse atención al contenido de humedad del producto final.

c. Es necesario tomar medidas para evitar que se produzcan cambios negativos en las propiedades organolépticas del producto final. La formación de acrilamida está asociada íntimamente con la generación del color, el sabor y el aroma característicos del alimento cocinado. Los cambios que se proponen para las condiciones de cocción o las materias primas y otros ingredientes, han de evaluarse desde la perspectiva de la aceptación del producto final para el consumidor.

En relación al uso nuevas tecnologías y aditivos, como es el caso del uso creciente de asparaginasa, se exige los nuevos aditivos y coadyuvantes de elaboración como la asparaginasa deberá superar la evaluación oficial de inocuidad, demostración de la eficacia de su uso y aprobación de su reglamentación. Algunas compañías producen asparaginasa para productos alimenticios y algunos países han aprobado su uso como coadyuvante de elaboración. Cabe señalar que el margen de formación de acrilamida puede ser muy variable, por ejemplo en un mismo lote de producción elaborado en la misma planta de producción o entre plantas que utilizan el mismo procedimiento, los mismos ingredientes y formulaciones. Los fabricantes necesitan ser conscientes de que la variabilidad en las materias primas y los mecanismos de calor deficientemente controlados pueden complicar los ensayos de las estrategias de reducción, ocultando cambios en los niveles de acrilamida.

En relación a las materias primas se ha enfatizado mucho respecto a la presencia cuantitativa de azucares reductores, los cuales son bastante influenciados por factores como:

a. Las condiciones climáticas y el porcentaje de utilización de fertilizantes. Se sabe que estos factores influyen en los niveles de azúcares reductores, sin embargo actualmente no se dispone de información específica sobre las medidas de reducción aplicables a los fabricantes.

b. El cultivar. Se deberían seleccionar cultivar con niveles de azúcares reductores tan bajos como sea razonablemente practicable teniendo en cuenta la variabilidad regional y estacional para los procedimientos de cocción a altas temperaturas como freír u hornear.

c. La temperatura y la duración del almacenamiento. Controlar las condiciones de almacenamiento desde la finca a la fábrica; para un almacenamiento largo una buena temperatura podría estar alrededor de 6°C. Las papas que han estado sometidas a endulzamiento por almacenamiento a baja temperatura en exceso (a una temperatura de 4 a 6 °C o inferior) no deberían freírse, asarse u hornearse. Cuando el clima sea frío o invernal se deberán proteger las papas del aire frío. Algunos cultivaros son menos propensos que otros a endulzarse a bajas temperaturas. En la base de datos European Cultivated Potato Database y la Oficina Federal de Alemania sobre Variedades de Plantas puede obtenerse información sobre las características de estos cultivos.

La Food and Drug Administration [FDA] y otras organizaciones científicas y sanitarias continúan estudiando la presencia de acrilamida en los alimentos: cómo se forma durante la cocción, sus efectos sobre la salud y cómo se puede disminuir su formación al cocinar. Esta investigación puede sentar las bases para elaborar un consejo más específico sobre la

alimentación de la población u otros reglamentos federales sobre productos alimenticios específicos en el futuro.

La Comisión Europea ha publicado en el diario oficial de la Unión Europea el documento correspondiente a la Recomendación de la Comisión de 8 de noviembre de 2013 relativa a la investigación de los niveles de acrilamida en los alimentos (2013/647/UE). Incluye una tabla con los nuevos valores indicativos de acrilamida en papas fritas**,** pan de molde, cereales, galletas y barquillos, café tostado e instantáneo y alimentos infantiles. Se basa en una investigación realizada por la EFSA (European Food Safety Authority) con datos de control entre 2007 y 2012, que sustituyen a los establecidos en 2011. Por ejemplo, han disminuido hasta 50 microgramos por kilogramo en alimentos infantiles y también en alimentos elaborados a base de cereales para lactantes y niños de corta edad. Los valores indicativos establecidos en esta recomendación están destinados únicamente a indicar la necesidad de una investigación. Estos datos actualizados responden a los comentarios de la industria sobre los niveles de acrilamida encontrados en diferentes productos y a su vez en basan en diferentes investigaciones realizadas por la EFSA.

Tabla 1 Valores indicativos de acrilamida basados en los datos de control de la EFSA entre 2007 y 2012

Fuente: http://www.boe.es/doue/2013/301/L00015-00017.pdf

Alimento	Valor ind. [µg/kg]	Observaciones
Papas fritas listas para consumir	600	Producto vendido listo para consumir, tal como se define en la parte C.1 del anexo de la Recomendación 2010/307/UE
Papas fritas a la inglesa (chips) fabricadas con patatas frescas y con masa de patatas	1000	Producto vendido, tal como se define en las partes C.2 y C.10 del anexo de la Recomendación 2010/307/UE
Galletas saladas a base de patatas		
Pan de molde		
a. Pan de molde a base de trigo	80	Producto vendido, tal como se define en la parte C.4 del anexo de la Recomendación

b. Otro pan de molde	150	2010/307/UE
Cereales para el desayuno (a excepción del *Porridge*)		
- Productos de salvado y cereales integrales, grano inflado (solo es pertinente si está así etiquetado)	400	Producto vendido, tal como se define en la parte C.5 del anexo de la recomendación 2010/307/UE
- Productos de trigo y centeno (*)	300	
- Productos de maíz, avena, espelta, cebada y arroz (*)	200	
Galletas y barquillos	500	
Galletas saladas, excepto las de papa	500	
Pan crujiente	450	Producto vendido, tal como se define en la parte C.6 del anexo de la recomendación 2010/307/UE
Pan de especias	1000	
Productos similares a los de esta categoría	500	
Café tostado	450	Producto vendido, tal como se define en la parte C.7.1 del anexo de la recomendación 2010/307/UE
Café instantáneo (soluble)	900	Producto vendido, tal como se define en la parte C.7.2 del anexo de la recomendación 2010/307/UE
Sucedáneos del café		Producto vendido, tal como se define en la parte C.7.3 del anexo de la Recomendación 2010/307/UE
a. base de cereales, principalmente	2000	
b. otros sucedáneos del café	4000	
Alimentos infantiles, distintos de los elaborados a base de cereales (**)		Producto vendido, tal como se define en la parte C.8 del anexo de la recomendación 2010/307/UE
a) sin ciruelas pasas	50	
b) con ciruelas pasas	80	
Galletas y bizcochos para lactantes y niños de corta edad	200	Producto vendido, tal como se define en la parte C.9.1 del anexo de la recomendación 2010/307/UE
Alimentos elaborados a base de cereales para lactantes y niños de corta edad (***), excluidos las galletas y los bizcochos	50	Producto vendido, tal como se define en la parte C.9.2 del anexo de la recomendación 2010/307/UE

(*) Cereales no integrales ni de salvado. La categoría se determina en función del cereal presente en mayor cantidad. (**) Tal como se definen en el artículo 1, apartado 2, letra b), de la Directiva 2006/125/CE de la Comisión, de 5 de diciembre de 2006, relativa a los alimentos elaborados a base de cereales y alimentos infantiles para lactantes y niños de corta edad (DO L 339 de 6.12.2006, p. 16). (***) Tal como se definen en el artículo 1, apartado 2, letra a), de la Directiva 2006/125/CE

Control industrial de Acrilamida

En Europa, la asociación gremial de procesadoras europeas de alimentos (Food Drink Europe), que incluye a muchas empresas integrantes de la Grocery Manufacturers Association (Asociación de Productores de Alimentos, GMA) en colaboración con entidades reguladoras europeas, ha elaborado un documento orientativo llamado "caja de herramientas" para destacar posibles maneras de reducir la acrilamida en diferentes tipos de productos (Food Drink Europe Acrylamide Toolbox 2011). Por ejemplo, pueden elegirse papas con niveles naturalmente bajos de azúcar para producir papas fritas; con esto puede controlarse la formación de acrilamida cuando se cocinan. La industria también ha elaborado un proceso en el que se usa una enzima para atenuar la formación natural de acrilamida al cocinar maíz molido y muchos otros alimentos a base de masa. A fin de garantizar que todos los consumidores puedan gozar de los beneficios de esta tecnología, la licencia del proceso se ha otorgado a dos empresas independientes para que comiencen a ponerla a disposición comercial de otros productores de alimentos. Las dos empresas, han comenzado a comercializarla a clientes de la industria alimentaria.

Por el momento, no parece existir un método de practicidad general y eficaz para eliminar completamente la acrilamida de muchos tipos de productos. Incluso cuando se trata de reducir la acrilamida, no existe una solución única que pueda aplicarse a todos los alimentos y muchos de los métodos que tienen el potencial para reducir la acrilamida pueden perjudicar el sabor, el color y la textura. Pero continúa la investigación e innovación para descubrir e implementar maneras de reducir la acrilamida en varios alimentos.

Estrategias de mitigación industrial de la acrilamida.

Diversas investigaciones se han orientado en las formas de mitigar el contenido de acrilamida en alimentos (Friedman, et al, 2008). Las técnicas generalmente propuestas son: Reducción de la disponibilidad de asparagina libre o de azúcares reductores aplicado principalmente en papas, modificación de ingredientes para el caso de los cereales, cambios en los tiempos o temperaturas de cocción. Además el uso de ingredientes secundarios como lo son los aminoácidos, calcio, ácido cítrico, los cuales han demostrado que interfieren en la formación de acrilamida (Kolek, et al, 2006). Como se mencionó la formación de acrilamida es un subproducto de la reacción de Maillard la cual es esencial para dar el color, el sabor y la textura de ciertos alimentos, por lo tanto, el principal enfoque para la mitigación de este compuesto son los alimentos afectados por esta reacción. En los estudios realizados han encontrado que influyen tanto factores exógenos como endógenos, los cuales tienen una participación importante en la formación de acrilamida (Van Boekel, 2006).

Métodos biológicos.

La forma más eficaz de reducir acrilamida en los alimentos es reducir la asparagina y los azúcares reductores, los cuales son precursores de acrilamida. Como se sabe estos compuestos están bajo control genético y por lo tanto los niveles pueden variar entre las especies de alimentos. Por lo tanto, el mejoramiento de las concentraciones de asparagina libre y azúcares reductores llevaría a contribuir de manera significativa a la disminución de niveles de acrilamida en los alimentos.

Métodos físicos.

Consiste en desarrollar procesos en los cuales se modifiquen la temperatura, el tiempo, la humedad durante la transformación. Como se sabe, hay una relación entre la temperatura y el tiempo para la formación de acrilamida en los alimentos. Es por esto que una alternativa en las papas fritas es disminuir la temperatura o el tiempo de fritura utilizando vacío Granda et al, 2004; Capuano et al. 2010) encontraron que, en los alimentos ricos en grasa, el contenido inicial de agua es un factor determinante para desencadenar la formación de acrilamida, esto es debido a que el perfil de tiempo-temperatura durante el calentamiento se puede cambiar notablemente cuando una cantidad diferente de agua está presente. Estos resultados indican diferentes efectos de la actividad de agua en la formación de productos de Maillard y acrilamida. Si se controla la humedad, puede ser posible para desarticular estas reacciones concurrentes. Por lo tanto, la reducción del contenido inicial de agua puede ayudar a reducir la formación de acrilamida en grasa, mientras que el mantenimiento de un cierto nivel de humedad sería bueno para la reducción de acrilamida en los alimentos secos.

Métodos químicos.

Se tiene información que diversos tratamientos anteriores al procesamiento de alimentos extraen aminoácidos libres y azucares que participan en la formación de acrilamida. La adición de aminoácidos, tales como glutamina, alanina, lisina, cisteína, es uno de los métodos más empleados para disminuir químicamente la formación de acrilamida. Otro de los factores que

influye en su formación es el pH interno de la matriz, por lo tanto, el aumento de la acidez por debajo de pH 6 mediante la inmersión de alimentos como las papas fritas en tampones de fosfato y citrato pueden disminuir la formación de acrilamida en los alimentos (Friedman y Levin, 2008).

Sustancias antioxidantes también han demostrado eficacia control de formación la acrilamida, actúan por medio de la dispersión de electrones libres reactivos a partir de radicales libres producidos en la reacción de Maillard (Friedman y Levin, 2008). En estudios realizados se ha encontrado que los antioxidantes presentes en las hojas de bambú, extractos de menta, semillas de comino y anís estrellado causan reducciones de acrilamida (Zhang y Zhang, 2008; Zhu et al., 2009). La aplicación de tecnologías emergentes no térmicas para " la pasteurización en frío " de los alimentos, así como para las modificaciones estructurales permite superar la necesidad de calentar la matriz del alimento y por lo tanto reduce los cambios inducidos por el calor. Un método innovador para la eliminación de los sustratos de la reacción de Maillard en las materias primas de alimentos se realiza mediante la aplicación de pulsos eléctricos. (Jaeger et al., 2010).

Recomendaciones para el control según el tipo de alimento

Papas.

El contenido de azucares reductores en la papa fresca tiene una relación muy estrecha con los niveles de acrilamida. Variedades con menor contenido de azucares reductores y asparragina, producen menor cantidad de acrilamida en las mismas condiciones de fritura Biedermann et al., 2003). El ácido nicotínico y piridoxal inhiben la formación de acrilamida en

tiras de papas fritas en un 51% y 34%, respectivamente. Por lo tanto, ciertas vitaminas en concentraciones razonables pueden inhibir la formación de acrilamida. (Zeng et al., 2009).

Los efectos de cationes mono- y di-valentes en la formación de acrilamida se estudiaron en un modelo de asparagina en fructosa (150 y 180ºC). En cantidades equivalentes a las de la asparagina y la fructosa, añadido cationes divalentes, tales como Ca_2^+, se encontró que previene la formación de acrilamida por completo, mientras que los cationes monovalentes, tales como Na^+, la previenen casi a la mitad la acrilamida formada en el sistema modelo. Se confirmó por análisis de espectrometría de masas de pirolizados que la formación de la base de Schiff de asparagina, que es el principal intermediario clave a la acrilamida, fue impedido por los cationes los cuales no afectaron el color característico. En conclusión la inmersión de las papas en una solución de cloruro de calcio inhibe la formación de acrilamida en hasta un 95% durante la fritura. (Gökmen y Şenyuva, 2007).

Cereales

Según un estudio realizado por Claus et al., en el año 2006, se encontró que condiciones climáticas desfavorables pueden dar lugar a la germinación de los granos, lo cual es un problema grave en la producción de cereales. Como consecuencia, las actividades de la proteasa pueden casi duplicarse, lo que resulta en niveles significativamente más altos de asparagina en la harina de granos de trigo germinado. Debido a que la asparagina es el precursor limitante en productos de cereales, los niveles de acrilamida de panes producidos a partir de tales harinas también se incrementan notablemente. Por lo tanto, las harinas de trigo o de centeno germinado no deben utilizarse para productos de panadería, incluso cuando se mezcla con otras harinas. Vass et al., (2004) demostró que la sustitución de jarabe de azúcar

invertido con sacarosa en galletas de trigo reducía aproximadamente el 60% de acrilamida. Esto es debido a la falta de carbonilos reactivos la cual lleva a una reducción de la reacción de Maillard.

Otro mecanismo que se ha estudiado es la utilización de NaCl con calentamiento, lo cual puede lograr reducir la formación de acrilamida en un 40%; esto debido a que se da una inhibición de la formación de una base de Schiff entre azúcares reductores y asparagina (Kolek et al., 2006).

La adición de ácidos es otro de los métodos utilizados que a pesar de ser simple es eficiente para reducir al mínimo la acrilamida en los productos de panadería. Los ácidos más utilizados son ácido cítrico, láctico, tartárico y clorhídrico, esta reducción se presenta debido a la hidrólisis del grupo carboxamida que conduce a ácido aspártico en un pH más bajo. Sin embargo se debe tener en cuenta que un sabor ácido en los productos de panadería se acepta solamente en el caso de la masa madre, lo que limita la aplicación de este método de mitigación.

La adición de enzimas como la asparaginasa representa otra de las estrategias para la mitigación de acrilamida. Tal como ocurre en la adición de ácidos, la asparagina se hidroliza a ácido aspártico, inhibiendo la generación de acrilamida en la reacción de Maillard.

Café

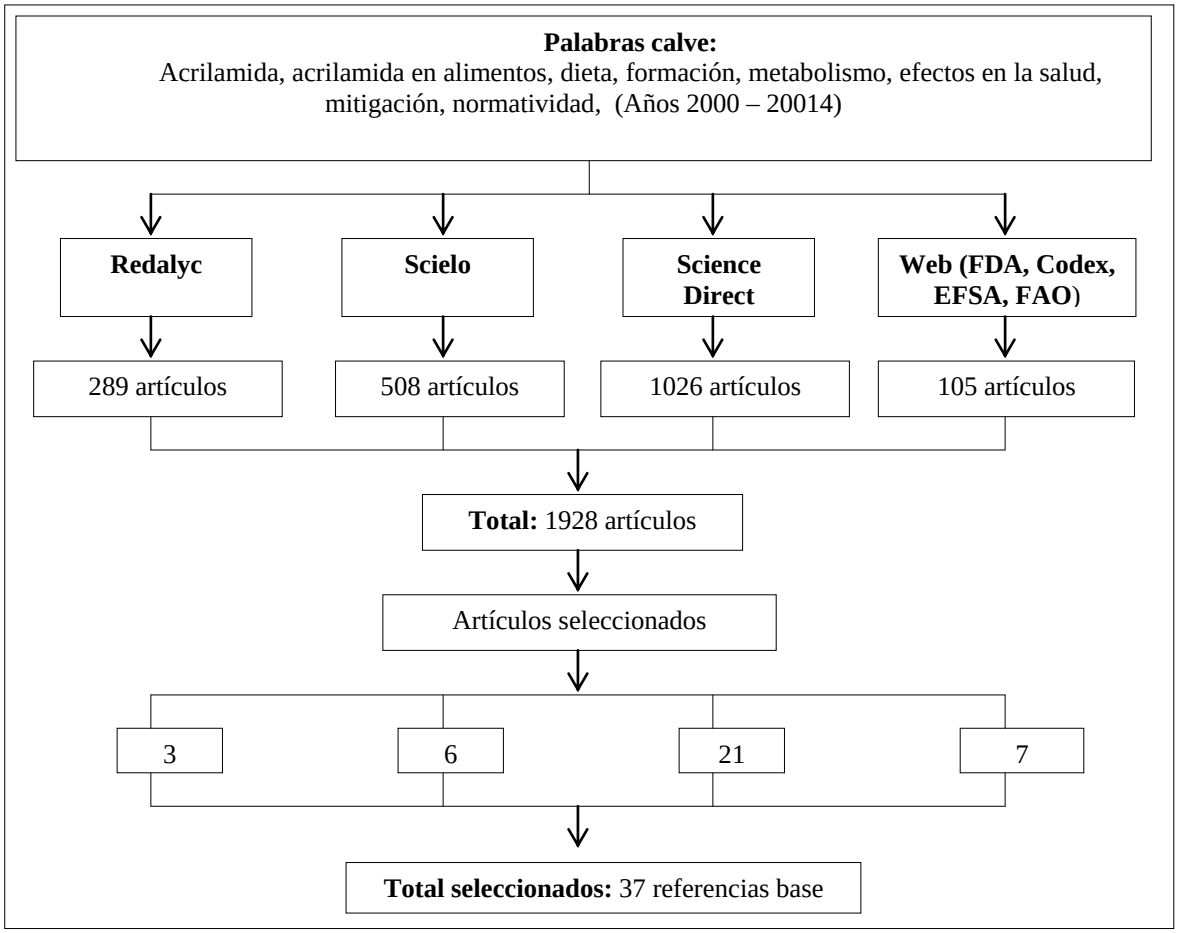
En cuanto al café aún se continúan haciendo investigaciones que disminuyan la formación de acrilamida pero que conserve su calidad característica en tasa. Una de las investigaciones más recientes demostró que la utilización de sacarosa y levadura disminuye el contenido de acrilamida en el café durante la fermentación. En este estudio se concluyó que la

reducción de acrilamida fue el resultado de su conversión metabólica por la levadura. Cualquier incremento en la concentración de sacarosa mejora la actividad de células de levadura, por lo tanto, la degradación de acrilamida. Otra razón para la mitigación de acrilamida durante la fermentación podría ser la adsorción de moléculas por las células de levadura (Gül y Vural, 2014). A pesar de estas alternativas en los alimentos, los fabricantes necesitarán conocer como estas medidas afectarán el sabor, la estabilidad o la seguridad de un determinado producto.

Metodología

Para la obtención de información se incluyeron tres revisores (Echeverri, Jaramillo y Quiroz, 2014), los cuales realizaron búsquedas en bases de datos electrónicas (SciELO, Redalyc, Science Direct) durante el periodo 2000 – 2014, utilizando como palabras clave: acrilamida, acrilamida en alimentos= +dieta, +formación, +metabolismo, +efectos en la salud, mitigación, +normatividad, principalmente. Posteriormente se seleccionaron los artículos de interés. Se tuvieron en cuenta los artículos que investigaban o evaluaban los riesgos generados a causa de una exposición a la salud humana, así como pronunciamientos de entes reguladores de la seguridad alimentaria, revisiones de literatura, experimentos con animales y comparaciones. Se incluyeron artículos escritos en inglés y en español. No se consideraron artículos sobre la producción de acrilamida en fuentes diferentes a los alimentos. Para la recolección de los artículos se construyó una plantilla en Excel donde se registraron los datos recolectados, dicha hoja relacionó el nombre del artículo, autores, fecha de publicación, objetivos de estudio y resultados, la cual permitió seleccionar material bibliográfico para el cumplimiento de los objetivos propuestos. La búsqueda de información arrojó más de 1000 artículos de los que se descartó la mayoría, pudiendo seleccionar 37 artículos con relevancia temática para el inicio del desarrollo del tema y la escritura del anteproyecto y la monografía. La figura No 2 resume el abordaje metodológico en las diferentes bases de datos.

Figura 2. Resumen de la metodología utilizada



Conclusiones

El cáncer es un grupo muy complejo de enfermedades, siendo la causa de la mayoría desconocidas. Diversos organismos de seguridad han calculado que la dieta explica un número significativo de todos los canceres en todo el mundo. Estas causas incluyen no solo ciertos contaminantes y los componentes alimentarios intrínsecos, sino también ciertos hábitos alimentarios. Por lo anterior se requiere estimular esfuerzos para reducir los niveles de acrilamida y otros carcinógenos del régimen alimentario."

Las investigaciones preliminares por la industria y otros investigadores parecen indicar que es factible conseguir reducciones significativas en diferentes tipos de alimentos, como lo es la disminución de temperaturas de fritura en papas, exposición a pretratamentos y adición de coadyuvantes en las masas de panadería.

Al elaborar y aprobar nuevas metodologías de mitigación y/o control, las autoridades y las industrias deben asegurar que los métodos para reducir acrilamida en el alimento no aumenten o introduzcan peligros microbiológicos. En particular, los cambios en las provisiones de tiempo-temperatura tienen que vigilarse estrechamente para evaluar el efecto de eliminación de patógenos y otros microorganismos. También debe tenerse en cuenta la calidad nutricional y la aceptabilidad de los consumidores.

Las autoridades que vigilan la inocuidad de los alimentos deben instar a las industrias alimentarias pertinentes a trabajar para mejorar las tecnologías de preparación de alimentos que bajen significativamente, el contenido de acrilamida, en particular las papas fritas y en hojuelas (chips), café, pasteles, panela, galletas dulces, panes, entre otros, para ser comercializados tanto nacional como internacionalmente.

El conocimiento adquirido debe ayudar a desarrollar orientación para los alimentos preparados domésticamente, de ahí que se debe evitar consumir alimentos quemados ya que los niveles de acrilamida en estos son muy altos, además de utilizar los pre-tratamientos que están al alcance de nuestros hogares como sumergir los alimentos con alto contenido de almidón a proceso de escaldo o remojo para lograr la reducción de los componentes que hacen viable la formación de acrilamida, adición de ácido cítrico con el fin de disminuir el pH.

Recomendaciones y perspectivas

Como regla general, incluso para la comida preparada en casa, debería asumirse una posición radical: dorado sí, tostado no. Esto implica cocinar el tiempo justo y necesario, sin excesos (ni de tiempos ni de temperatura).

En la actualidad existen diversas estrategias para reducir los niveles de acrilamida en el café, las papas fritas y los cereales, pero debemos ser conscientes que una eliminación total de la acrilamida es prácticamente imposible. Uno de los alimentos con niveles altos de acrilamida son las papas fritas debido a su alto contenido de azucares reductores y asparragina libre adicional a las altas temperaturas propias del proceso de fritura.

El lavado previo a la fritura de las papas reduce el contenido de azucares reductores lo cual favorece la disminución en la producción de acrilamida.

Referencias

Arribas, L. y Morales, F.J. (2009). Dietary exposure to acrylamide from potato crisps to the Spanish population. *Food Additives & Contaminants: Part A.*, 26, (3), 289 - 297.

Arrivas, G. (2013). *Análisis, inhibición e ingesta de nuevos contaminantes químicos de procesado en alimentos* (Tesis doctoral). Universidad Complutense de Madrid, Madrid.

Badui, D.S. (2006). Química de los Alimentos. 4 ed. Mexico D.F.: Pearson Educación.

Bengmark, S. y Gil, A. (2007). Productos finales de la glicación y de la lipoxidación como amplificadores de la inflamación: papel de los alimentos. *Nutrición Hospitalaria*, *22* (6), 625 – 640.

Bergmark, E. (1997). Hemoglobin adducts of acrylamide and acrylonitrile in laboratory workers, smokers and nonsmokers. *Chem Res Toxicol*, *10* (1), 78-84.

Besaratinia, A. y Pfeifer, G.P. (2007). A review of mechanisms of acrylamide carcinogenicity. *Carcinogenesis, 28,* 519 – 528.

Biedermann-Brem, S., Noti, A., Grob, K., Imhof, D., Bazzocco, D., y Pfefferle A. (2003). How much reducing sugar may potatoes contain to avoid excessive acrylamide formation during roasting and baking. *Eur Food Res Technol 217,* 369–373.

Capuano, E., Oliviero, T., Acar, O.C., Gokmen, V. y Fogliano, V. (2010). Lipid oxidation promotes acrylamide formation in fat-rich model systems. *Food Res. Int. 43*, 1021‑1026.

Claus, A., Mongili, M., Weisz, G., Schieber, A., y Carle R. (2008). Impact of formulation and technological factors on the acrylamide content of wheat bread and bread rolls. *Journal of Cereal Science 47*, 546 – 554.

Claus, A., Weisz, G.M., Kammerer, D.R., Carle, R., Schieber, A. (2006). A method for the determination of acrylamide in bakery products using ion trap LC‑ESI‑MS/MS. *Molecular Nutrition and Food Research*, 49, 918 ‑ 925.

Claus, A., Weisz, G. M., Kammerer, D. R., Carle, R., Schieber, A. (2005). A method for the determination of acrylamide in bakery products using ion trap LC-ESI-MS/MS. *Mol Nutr. Food Res, 49, 918 – 945*

Comisión del Codex Alimentarius. (2009). Código de prácticas para reducir el contenido de acrilamida en los alimentos CAC/RCP 67-2009. Recuperado de www.codexalimentarius.org/input/download/standards/.../CXP_067s.pdf.

Comisión del Codex Alimentarius. (2011). Informe de la 5a reunión del Comité del Codex sobre contaminantes de los alimentos. La Haya (Países Bajos). Documento de debate sobre el furano. Recuperado de www.codexalimentarius.org/input/download/report/758/REP11_CFs.pdf.

Comité Mixto de Expertos Food and Agriculture Organization y Organización Mundial de la Salud [FAO y OMS] en Aditivos Alimentarios, 64a Reunión: Resumen y conclusiones (FAO / OMS). Roma, Italia, 8-17 de febrero de 2005. Recuperado de http://www.who.int/ipcs/food/jecfa/summaries/summary_report_64_final.pdf.

Diario Oficial de la Unión Europea. (2013) Recomendación de la Comisión de 8 de noviembre de 2013 relativa a la investigación de los niveles de acrilamida en los alimentos (2013/647/UE). Recuperado de http://www.boe.es/doue/2013/301/L00015-00017.pdf.

Ehling, S., Matt, H. y Takayuki, S., (2005). Formation of acrylamide from lipids. In: Friedman, Mottram (Eds.), *Chemistry and Safety of Acrylamide in Food. Springer Science+Business Media, Inc*, pp. 223.

European Food Safety Authority (EFSA) (2005). Opinion of the scientific committee on a request from EFSA related to a harmonised approach for risk assessment of substances which are both genotoxic and carcinogenic (request No. EFSA-Q-2004-020). European Food Safety Authority Journal, 280, 131, Recuperado de: http://www.efsa.europa.eu/EFSA/efsa_locale-1178620753812_1178620763354.htm/

Everts, S. (2012). The Maillard Reaction Turns 100. *Chemical & Engineering News, 90 (40),* 58–60

Fennema, O. R. (1993). Química de los alimentos. Zaragosa, España. Editorial Acribia.

Finot, P.A.(2005). Perspectiva histórica de la reacción de Maillard en ciencias de la alimentación. *Ann NY Acad Sci. 1043,* 1 – 8

Food and Agriculture Organization y Organización Mundial de la Salud [FAO y OMS] (June 2002). Consultation on the Health Implications of Acrylamide in Food. 25-27, Geneva, Switzerland. Recuperado de: http://www.who.int/foodsafety/publications/chem/en/acrylamide_full.pdf?ua=1

Food and Agriculture Organization y Organización Mundial de la Salud [FAO y OMS] (2011). Expert Committee on Food Additives. Evaluation of certain Contaminants in food WHO. Seventy-second report of the Joint *Technical Report Series, 959,* 9–21.

Food and Drug Administration [FDA]. (2003). Acrylamide: Questions & Answers. Center for Food Safety and Applied Nutrition. Recuperado de: http://www.fda.gov/Food/NewsEvents/ConstituentUpdates/ucm047236.htm

Food Drink Europe. (2011). Food Drink Europe Acrylamide Toolbox. Recuperado de http://www.fooddrinkeurope.eu/uploads/publications_documents/Toolboxfinal260911.pdf

Food Drink Europe. (2011). Food Drink Europe Acrylamide Toolbox 2011. Disponible en: http://ec.europa.eu/food/food/chemicalsafety/contaminants/ciaa_acrylamide_toolbox09.pdf.

Friedman, M. y Levin, C.E. (2008). Review of methods for the reduction of dietary content and toxicity of acrylamide. *J. Agric. Food Chem.56,* 6113 ‑ 6140.

Gökmen, V., y Şenyuva, H. Z. (2007). Acrylamide formation is prevented by divalent cations during the Maillard reaction. *Food Chemistry, 103(1),* 196–203. doi:10.1016/j.foodchem.2006.08.011.

Gonzalez, L., et.al. (2000). La glucosilación no enzimática de proteínas. Mecanismo y papel de la reacción en la diabetes y el envejecimiento. Instituto de Química y Fisicoquímica Biológicas Universidad de Buenos Aires - CONICET. Centro de Endocrinología Experimental y Aplicada, Universidad Nacional de La Plata - CONICET. doi: http://www.ciencia.cl/CienciaAlDia/volumen3/numero2/articulos/articulo2.html.

Granda C., Moreira R.G. y Tichy S.E. (2004). Reduction of Acrylamide Formation in Potato Chips by Low-temperature Vacuum Frying. J Food Sci. 69 (8): 405–411.

Gül, A.H. y Vural, G. (2014). Mitigation of acrylamide and hydroxymethyl furfural in instant coffee by yeast fermentation. *Food Research International, 6,* 252–256.

Hernandez, M., et.al. (1999). Estabilidad y métodos de conservación de los alimentos: *Tratado de nutrición* (pp. 451 – 465). Madrid: Ediciones Diáz de Santos, S.A.

International Agency for Research on Cancer. Acrylamide (IARC) (1994). Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Some Industrial Chemicals. *Lyon France, 60,* 389–433.

Jaeger, H., Janositz, A, y Knorr, D. (2010). The Maillard reaction and its control during food processing. The potential of emerging technologies. *Pathologie-Biologie, 58(3)*, 207–13. doi:10.1016/j.patbio.2009.09.016

Kolek, E., Simko, P. y Simon, P. (2006). Inhibition of acrylamide formation in asparagine/D-glucose model systems by NaCl addition. European Food Research and Technology, 224, 283–284.

Low, M.Y., Koutsidis, G., Parker, J., Elmore S., Dodson, A. y Mottram, D. (2006). Effect of citric acid and glycine addition on acrylamide and flavor in a potato model system. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 54*, 5976–5983.

Mogol, B. y Gökmen, V. (2014). Mitigation of acrylamide and hydroxymethylfurfural in biscuits using a combined partial conventional baking and vacuum post-baking process: Preliminary study at the lab scale. *Innovative Food Science and Emerging Technologie.*

Molttram, D.S., Wedzicha, B.L., y Dodson, A.T. (2002). Acrylamide is formed in the Maillard reaction. *Nature, 429*, 448-449. doi:10.1038/419448a.

Romani, S., Bacchiocca, M., Rocculi, P. y Rosa, M.D. (2008). Effect of frying time on acrylamide content and quality aspects of French fries. *Eur. Food ResTechnol, 226*, 555–560.

Sanny, M., Luning, P.A., Marcelis, W.J., Jinap, S. y Van Boekel, M. (2010). Impact of control behavior on unacceptable variation in acrylamide in French fries. *Trends Food Sci Technol*, *21*,256–267

Stadler, RH., Blank, I., Varga, N., Robert, F., Hau, J., Guy, P.A., Robert, Mc., y Riediker, S. (2002). Acrylamide from Maillard reaction products. Nature, 419, 449–450.

Sune, E. (2005). *Acrylamide in food products: Identification, formation and analytical methodology*. Tesis doctoral. Department of Environmental Chemistry. Stockholm University.

Surkyk, N., Rosen, J., Andersson, R., y Aman, P. (2004). Effects of asparragine, fructose, and baking conditions on acrylamide content in yeast-leavened wheat bread. *J Agric Food Chem 52*, 2047–2051.

Van Boekel, M. y J. S. (2006). Formation of flavour compounds in the Maillard reaction. *Biotechnology Advances, 24(2)*, 230–233.

Vass, M., Amrein, T.M., Schönbächler, B., Escher, F. y Amadò, R. (2004). Ways to reduce acrylamide formation in cracker products. Journal of Food Science, 22, 19–21.

Wenzl, T., De La Calle, MB., y Anklam, E. (2003). Analytical methods for the determination of acrylamide in food products: A Review. *Food Addit Contam, 20*, 885 – 902.

Yaylayan, V.A., Wnorowski, A., Perez y Locas C. (2003). Why asparagine needs carbohydrates to generate acrylamide. *J. Agric. Food Chem. 51*, 175 – 1757.

Zeng et al. (2009). Inhibition of acrylamide formation by vitamins in model reactions and fried potato strips. Food Chemistry, 116, 34 – 39.

Zhang, Y. y Zhang, Y. (2008). Effect of natural antioxidants on kinetic behavior of acrylamide formation and elimination in low-moisture asparagine‐glucose model system. *J. Food Eng. 85*, 105‐115.

Zhang, Y., Zhang, G.Y. y Zhang, Y. (2005). Occurrence and analytical methods of acrylamide in heat-treated foods: review and recent developments. *Journal of Chromatography A.* 1075, 1–21.

Zhu, F., Cai, Y.Z., Ke, J. y Corke, H. (2009). Evaluation of the effect of plant extracts and phenolic compounds on reduction of acrylamide in an asparagine/glucose model system by RP-HPLC-DAD. *J. Sci. Food Agric. 89*, 1674‑1681.

Zyzak, D.V. et al. (2003) Acrylamide formation mechanism in heated foods. *J. Agric. Food Chem, 51*(16), 4782 – 4787.