

UNIVERSIDAD LE CORDON BLEU

Carrera Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias

INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN 2016

Estado de investigaciones científicas de contaminantes químicos del procesamiento térmico de alimentos; período 1990-2015. Universidad Le Cordon Bleu, Peru.

AUTORES:

Damián Manayay Sánchez
Luis Taramona Ruiz
Oscar Jordan Suarez

Miraflores, Lima, 2016

Estado de investigaciones científicas de contaminantes químicos del procesamiento térmico de alimentos; período 1990-2015. Universidad Le Cordon Bleu, Peru.

State of scientific investigations of chemical contaminants of food thermal processing; 1990-2015. Le Cordon Bleu University, Peru.

Damián Manayay Sánchez* Luis Taramona Ruiz y Oscar Jordan Suarez
Universidad Le Cordon Bleu, Lima, Perú.

- Autor para correspondencia: damian.manayay@ulcb.edu.pe

RESUMEN

El tratamiento térmico es uno de los procesos más utilizados como método de preparación de los alimentos tanto en la industria como en el hogar. La temperatura y el tiempo de exposición en los alimentos procesados directamente sobre el fuego, hervido, asado, frito, ahumado, etc., influyen sobre los cambios químicos y la naturaleza de los productos originados. Debido a este proceso térmico, los constituyentes de los alimentos experimentan una serie de reacciones, muchas de las cuales son responsables del aroma, color, textura y sabor, pero otras están asociadas con la generación de compuestos potencialmente tóxicos.

Aun cuando la presencia de estas sustancias tóxicas es causa de alarma, siempre es necesario evaluar en un contexto amplio los beneficios y riesgos que presentan los alimentos procesados para llegar a una evaluación de riesgo eficaz y realista hacia la población. En este marco de importancia tecnológica es que se ha revisado año a año y en el período previsto los resultados de las investigaciones realizadas puntualmente en la generación de contaminantes químicos en el procesamiento térmico de los alimentos.

PALABRAS CLAVE: Procesado térmico, contaminantes químicos, hervido de alimentos, fritura de alimentos.

ABSTRACT

The heat treatment is one of the processes most used as a method of preparation of the food in the industry as in the home. The temperature and time of exposure in foods processed directly on the fire, boiled, roasted, fried, smoked, etc., influence the chemical changes and the nature of the products originated. Due to this thermal process, food constituents undergo a series of reactions, many of which are responsible for aroma, color, texture and flavor, but others are associated with the generation of potentially toxic compounds.

Even when the presence of these toxic substances causes alarm, it is always necessary to evaluate the benefits and risks presented by processed foods in a broad context, in order to arrive at an effective and realistic risk assessment for the population. Within this framework of technological importance is that the results of the investigations carried out in the generation of chemical contaminants in the thermal processing of food have been reviewed year by year and in the expected period.

KEY WORDS: Thermal processing, chemical contaminants, food boiling, food frying.

INTRODUCCION

El procesado de alimentos es el conjunto de prácticas que utilizan tecnologías y técnicas para transformar los alimentos crudos o productos intermedios en alimentos listos para el consumo (Lineback y Stadler, 2009), citado por (Arribas, 2013). La salazón y el secado fueron dos de los primeros métodos utilizados por el hombre para transformar alimentos con el fin de preservarlos y mejorar su sabor. El procesamiento de los alimentos ha permitido avanzar en el abastecimiento alimentario al prolongar su vida útil y aumentar la variedad de los productos disponibles, sin embargo, tanto los hábitos alimentarios como las técnicas de procesado de éstos han ido evolucionando a lo largo de los años; se ha pasado de cubrir meramente las necesidades basadas en la supervivencia del hombre, a cubrir las demandas que los ciudadanos plantean en las sociedades desarrolladas: calidad nutricional, sensorial y seguridad alimentaria.

El empleo de altas temperaturas, en combinación con otros factores externos en el proceso de los alimentos, además de reducir su valor biológico puede dar lugar a la formación de compuestos tóxicos que inciden en la seguridad del mismo. Estas sustancias se denominan contaminantes químicos de procesamiento térmico, son compuestos que no estaban presentes en el alimento fresco y cuya génesis está directamente relacionada con el proceso tecnológico y/o culinario aplicado; en base a su toxicidad en modelos celulares y animales de experimentación, se estima que pueden ejercer efectos fisiológicos adversos en humanos, es decir, son sustancias que crean un riesgo potencial o real para la salud, destacándose entre ellos; los hidrocarburos aromáticos policíclicos, los cloropropanoles y sus ésteres, así como los contaminantes derivados de la reacción de Maillard como las aminas heterocíclicas, el furano, el hidroximetil furfural y la acrilamida. Este riesgo de la seguridad alimentaria, es que preocupa a los investigadores

que a pesar de la importancia del cocimiento de los alimentos, hoy, es también tema de análisis referido a la salud de quienes los consumen.

En este marco de preocupaciones de los investigadores por conocer la dimensión de los efectos adversos que podrían ocasionar los alimentos procesados térmicamente, es que resulta viable, revisar el estado de las investigaciones científicas relacionado con los contaminantes químicos que resultan justamente con el procesado térmico de cocimiento de los alimentos.

ESTADO ACTUAL DE LAS INVESTIGACIONES.

Durante el tratamiento térmico de los alimentos ocurren una serie de reacciones, cuyos procesos más comunes son la termo oxidación de la fracción lipídica que da lugar al enranciamiento de los alimentos por formación de monómeros cíclicos, dímeros polímeros, hidroperóxidos y peróxidos (Fernández, 1983), la exposición prolongada de grasas y aceites al aire y al calor, originan más de 90 compuestos de mayor o menor toxicidad, entre ellos: peróxidos, hidroperóxidos, epóxidos, aldehídos, ácidos atípicos y polímeros que pueden ser causantes de trastornos gastrointestinales y hepáticos (Schmidt, 1986); los niveles de formación de estos compuestos dependen de la temperatura (generalmente sobre los 180°C), composición del lípido (posición del ácido graso en el triglicérido), presencia de humedad y tiempo de calentamiento, aumentando más los polímeros en calentamiento intermitente seguido de enfriamiento que un calentamiento continuo, estos polímeros y peróxidos disminuyen el valor nutritivo del lípido, por ejemplo los peróxidos de ácidos grasos no saturados inhiben enzimas con grupos sulfhídricos (Schmidt, 1986). En este contexto de análisis corresponde también destacar sobre los riesgos de disminución del valor nutritivo del pardeamiento no enzimático, la caramelización en los alimentos y el ahumado de los productos cárnicos y de pescado, y, con calentamiento prolongado a la parrilla en carnes y derivados; sobre todo con carbón de leña (Schmidt, 1986).

Los 2-furoil-metil-aminoácidos (2-FM-AA), considerados compuestos indicadores de las etapas iniciales de la reacción de Maillard, son compuestos que se originan mediante hidrólisis ácida de los compuestos de Amadori y son considerados indicadores químicos muy convenientes en el caso de alimentos procesados, por cuanto permiten controlar los procesos de elaboración y conservación de los mismos, en tanto que en los alimentos proteicos la furosina es el 2-FM-AA empleado como indicador químico (Sanz et al. 2003); por ejemplo, la determinación de la furosina es útil para diferenciar leches

sometidas a tratamientos térmicos de distinta intensidad (pasterizadas, UHT, etc.), detectar adulteraciones de leche líquida con leche en polvo, diferenciar quesos y controlar la calidad de otros alimentos que forman parte de la dieta occidental tales como cereales, huevos, jalea real, mermeladas, miel, pan y galletas. Otros 2-FM-AA pueden ser indicadores químicos para evaluar el deterioro producido vía reacción de Maillard durante el procesado y conservación de alimentos con contenidos elevados de aminoácidos en forma libre tales como; zumo de naranja, productos derivados del tomate, frutas deshidratadas y fórmulas enterales (solución alimentaria constituida por una mezcla definida de macro y micronutrientes).

Las aminas heterocíclicas (AHC), son compuestos cancerígenos que se forman al cocinar alimentos ricos en proteínas a temperaturas muy altas, no se deberá confundir con las siglas HAP que corresponden a hidrocarburos aromáticos poli cíclicos; químicamente son compuestos de nitrógeno heterocíclico con grupos metilo y amino (se llama heterocíclico cuando al menos un átomo del anillo no es un carbono, y son aminas heterocíclicas por que al menos un átomo del anillo es un nitrógeno) (Sanz et al., 2003). Los hidrocarburos aromáticos poli cíclicos (HAP) son un grupo de más de 100 sustancias químicas diferentes que se forman durante la combustión incompleta del carbón, petróleo y gasolina, basuras y otras sustancias orgánicas como tabaco y carne preparada en la parrilla (Sanz et al., 2003).

Las Aminas Heterocíclicas en Alimentos cocinados, son compuestos que se han detectado en carnes de distinto origen (bovino, ovino, porcino y aves de corral) y en pescados fritos, a la plancha o a la parrilla y procedentes tanto de restaurantes como de casas particulares así como en productos precocinados, en extractos de carne, en aromatizantes comerciales y en los residuos que quedan en las sartenes o las planchas después de la cocción (Galceran, 2003), la presencia de estos compuestos es frecuente en muestras medioambientales y en algunas bebidas alcohólicas como el vino o la cerveza aunque lo más frecuente es encontrarlas en alimentos proteicos que han sido sometidos a tratamientos térmicos a elevadas temperaturas, asimismo, las experiencias de laboratorio muestran que las AHC y los HAP son muta génicos, es decir, causan cambios en el ADN que pueden aumentar el riesgo de cáncer; corresponde indicar que las AHC no se encuentran en cantidades considerables en otros alimentos que no sean las carnes cocinadas a altas temperaturas, en tanto que los HAP se pueden encontrar en otros alimentos chamuscados, así como en el humo de cigarrillos y el humo del escape de vehículos (Galceran, 2003).

Las aminas heterocíclicas (AHC) y los hidrocarburos aromáticos poli cíclicos (HAP) son sustancias químicas que se forman al cocinar carne de músculo, ya sea carne de res, de cerdo, de pescado o de aves, y al usar métodos de cocción a altas temperaturas, como freír en sartén o asar a la parrilla a fuego directo (Cross, 2004).

Las aminas aromáticas heterocíclicas son una familia de compuestos que han atraído el Interés de muchos científicos debido a su posible relación con el cáncer. El descubrimiento realizado en 1977 por Sugimura reveló que, en determinadas condiciones, el humo procedente del procesado y cocinado de alimentos ricos en proteínas contenía cantidades apreciables de sustancias mutagénicas (Sugimura et al, 1977); aunque existen grandes variaciones debido a las condiciones de cocinado o a los diferentes tipos de carne, en general, los valores más elevados corresponden a alimentos tratados a temperaturas elevadas y con un tiempo de cocción prolongado. Generalmente, los tipos de cocción (hervido o al vapor) que implican temperaturas alrededor de los 100 °C generan pocos agentes mutagénicos; sin embargo, los tratamientos térmicos que suponen un calentamiento mediante procesos conductivos, como freír o asar, provocan un aumento de la actividad mutagénica. Algunos estudios también han identificado la presencia de estos compuestos en extractos de carne, condimentos y aromatizantes; así como en los residuos que quedan en las sartenes o las planchas después de la cocción, generalmente en las mismas cantidades que en el correspondiente alimento e incluso, en algunos casos, en concentraciones considerablemente más elevadas (Skog et al, 1998).

La acrilamida, es un producto químico usado en una variedad de aplicaciones industriales, incluida en la producción de los plásticos de poliacrilamida y otros materiales que pueden contener bajos niveles de acrilamida residual. En el año 2002 investigaciones Suecas revelaron por primera vez que niveles relativamente altos de acrilamida se forman al freír u hornear las papas y los productos de cereal; el descubrimiento de la acrilamida en los alimentos provocó un debate público debido a la relativa falta de datos toxicológicos en humanos y al conocimiento de la genotoxicidad de la acrilamida en células y animales de experimentación (Arribas, 2013).

Los estudios sobre neurotoxicidad en humanos se refieren a la exposición ocupacional de trabajadores a través de la absorción por vía cutánea o por inhalación. Afecta tanto al sistema nervioso central y periférico como a las terminaciones nerviosas, produciendo la inhibición de la liberación de neurotransmisores y la degeneración del nervio terminal (LoPachin et al, 2008).

Desde 1994, la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC) ha clasificado a la acrilamida como sustancia probablemente carcinogénica en humanos; varios estudios realizados en roedores apoyan dicha evidencia, ya que puede causar tumores en diversos órganos como el pulmón, útero, piel, cerebro, etc.; además puede afectar la reparación del ADN y provocar la síntesis no programada del mismo tanto en las células mamarias humanas como en los tejidos de las ratas (Lafferty et al, 2004).

La Acrilamida es un contaminante químico que se genera espontáneamente durante la fritura o el procesado térmico de la papa a partir de la reacción de Maillard; evaluaciones realizadas entre los meses de Julio y Noviembre del 2003 en la comunidad de Madrid, arrojaron niveles medios de 1484 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de acrilamida por muestra, con una mediana de 1180 $\mu\text{g}/\text{kg}$, observándose además una gran dispersión de los resultados (entre 211 y 5492 $\mu\text{g}/\text{kg}$), lo contundente es que el 75% de las muestras analizadas superan el límite de 1000 $\mu\text{g}/\text{kg}$ que estipula la norma de control de contaminantes químicos para España (Morales et al., 2005). La Acrilamida, "probable carcinógeno para los humanos", mutágeno de categoría 2 y tóxico para la reproducción de categoría 3 según la UE, se comporta como neurotóxico tras exposiciones agudas; a pesar de que se recomienda disminuir los niveles de exposición, el tabaquismo, la exposición ocupacional y la exposición dietética son fuentes de acrilamida para el hombre. De todos los alimentos, los que mayores niveles de este tóxico presentan, son los ricos en carbohidratos y los elaborados a altas temperaturas (Moreno et al., 2007).

Los resultados del monitoreo de acrilamida al freír patatas fritas francesas indicaron que la acrilamida se distribuye en tres fases: Patatas fritas, aceite para freír, y el aire. A partir del análisis de gas evolucionado de acrilamida y el perfil de concentración medido de la cantidad de acrilamida total presente en estas fases, se ha observado un alto nivel de acrilamida en el aire, lo que implica que, a parte de los consumidores de papas fritas, comida rápida trabajadores de restaurantes son potencialmente sujetas a riesgos laborales de la inhalación de acrilamida (Hsu, et al, 2016).

El furano, es un compuesto orgánico que se forma durante el tratamiento de los alimentos con calor y contribuye a las propiedades sensoriales del producto, es un producto químico volátil formada en los alimentos cuando éstas se calientan; se encuentra sobre todo en los alimentos enlatados donde no pueda escapar a través de la evaporación. Los niveles más altos se encuentran en el café tostado, alimentos enlatados con almidón, alimentos infantiles, fórmulas infantiles, salsas y sopas; estos hallazgos son motivo de preocupación porque se prevé que el furano es un carcinógeno humano y genotóxico; la

reducción de la formación de furano durante la fabricación industrial de alimentos es difícil por cuanto éstos requieren ser calentados para garantizar la seguridad microbiológica; se ha comprobado que los procedimientos de cocción domésticos generan bajos niveles de furano en los alimentos (Crews, 2014).

Estudios de procesos de fritura de alimentos, ha mostrado que contienen los mayores niveles de furano; entre 12 mg/kg (empanadas de atún) y 172 mg/kg (aros de cebolla), con una tendencia clara de incremento cuando se utiliza el aceite recalentado (Juániz et al., 2016).

Las N-nitrosaminas, son carcinógenos formados en los alimentos mediante la reacción del nitrito con aminas secundarias, a menudo en forma de aminoácidos; fueron descubiertos por primera vez en la harina de pescado a consecuencia de haberse observado casos de cáncer en animales de granja y más tarde fueron encontrados como contaminantes de las bebidas producidas a partir de malta cocidas a llama, como la cerveza y el whisky, y en las carnes que habían sido curadas con sales de nitrito, por ejemplo, jamón (Crews, 2014). Se han estudiado los efectos de varios antioxidantes naturales y sintéticos en la formación de furano inducida térmicamente en ácido ascórbico, linoleico y sistemas de modelos ácido linolénico, y los resultados demostraron que no todos los antioxidantes probados mostraron efectos atenuantes en la formación de furano (Shen et al., 2017).

El estudio de niveles de contenido de furano en jugos de naranja y su relación con las características sensoriales, muestra que varían desde 0,59 hasta 27,39 ng/ml, siendo los recién exprimidos con niveles significativamente más bajos de furano (4,68 ng/ml) que otros tratados térmicamente (Kim et al. 2016). Aun cuando no existen pruebas concluyentes con respecto a la genotoxicidad del furano, varios informes indican que el furano induce una amplia gama de alteraciones genotóxicas, incluyendo la expresión aberrante micro RNAs (miRNAs) (De Conti et al. 2016); se han propuesto múltiples mecanismos para su formación durante el tratamiento térmico, incluyendo la degradación de los derivados del ácido ascórbico, degradación de carbohidratos, degradación térmica de aminoácidos en presencia o ausencia de azúcares reductores y oxidación de ácidos grasos poliinsaturados, carotenoides y ácidos orgánicos (Becalski y Seaman, 2005). Según el Informe Científico de la EFSA sobre el furano, los alimentos que más contribuyen a la exposición humana a través de los alimentos son las formulaciones infantiles y el café (EFSA, 2011).

El estudio de los contaminantes en los alimentos procesados ha crecido considerablemente en los últimos años convirtiéndose fundamental para el mantenimiento de la seguridad alimentaria mundial, esto ha hecho que se descubran nuevos riesgos como es el caso del HMF (Arribas, 2013).

El Hidroximetilfurfural (HMF), es un contaminante químico de procesos comunes que se produce ampliamente en una variedad de alimentos; se forma durante el calentamiento y/o almacenamiento de éstos, como resultado de la reacción de Maillard y/o caramelización del azúcar; la miel, mermeladas, jugos concentrados, café tostado, caramelos, vinagre balsámico y frutos secos, son algunos de los alimentos que contienen cantidades significativas de HMF. El aumento de la temperatura incrementa la velocidad de formación de HMF en los alimentos durante el procesamiento y almacenamiento; asimismo, las condiciones ácidas aceleran fuertemente la formación de HMF; el nivel de concentración de HMF en los alimentos procesados, se considera generalmente como un índice de la calidad del producto (Gökmen & Morales, 2014). El 5-hidroximetilfurfural (HMF) se forma durante el tratamiento térmico de los alimentos que contienen hidratos de carbono, especialmente en un proceso de fritura profunda en grasa; estudios de formación y reducción de HMF a partir de glucosa, fructosa y sacarosa a temperatura de fritura en sistemas modelo que contienen mezclas binarias de un aminoácido y un azúcar en concentraciones iguales (0,3 M), revelaron que la formación de HMF a partir de azúcares es mayor en presencia de aminoácidos ácidos, como los ácidos glutámico y aspártico; mientras que, la presencia de aminoácidos básicos como lisina, arginina e histidina, conducen a concentraciones reducidas de HMF inclusive a niveles no detectables en sistemas modelo; los resultados de este estudio revelan que tanto el pH y el tiempo de calentamiento afectó significativamente la formación de HMF a partir de fructosa en presencia de ácido glutámico, concluyéndose, que se forma una mayor cantidad de HMF a pH más ácidos (Kavousi et al., 2015).

La formación de HMF en la miel tratada con un campo de microondas (potencia constante de 1,26 W/g de la muestra hasta 6 min) es más rápido en comparación con el proceso convencional (baño de agua a 90 ° C hasta 60 min). Los cambios de reducción en las propiedades antioxidantes de la miel, sometidos a un tratamiento térmico o de microondas podrían haber sido de origen botánico (Kowalski, 2013); la evaluación de la inestabilidad del color durante el almacenamiento del zumo de naranja pasteurizado,

muestra que es más sensible a la temperatura la formación de HMF, encontrándose altas correlaciones entre los azúcares, ácido ascórbico, sus productos de degradación (furfural y HMF) y la diferencia total de color (ΔE) (Wibowo et al, 2015); los valores-P menores a 0.05 al 95% de probabilidad de certeza, prueban que los factores de tiempo y temperatura tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la velocidad de formación de HMF en pulpa simple y concentrada de mango Haden y Kent (Manayay & Ibarz, 2016).

CONCLUSIONES

Luego de revisar la información existente, es posible arribar a las siguientes conclusiones:

1. Todas las investigaciones refieren que los procesos térmicos aplicados a los alimentos, si bien generan cambios organolépticos favorables para el consumo humano, se convierten también en potenciales riesgos para la seguridad sanitaria.
2. Los riesgos de la seguridad alimentaria, como consecuencia de la aplicación de tratamientos térmicos severos en los alimentos, se expresan en niveles considerables de formación de contaminantes químicos como; los hidrocarburos aromáticos policíclicos, los cloropropanoles y sus ésteres, los contaminantes derivados de la reacción de Maillard, como las aminas heterocíclicas, el furano, el hidroximetil furfural y la acrilamida.
3. Todos estos contaminantes químicos generados en los procesos térmicos de los alimentos, conforme lo expresan las investigaciones tienen relación con el cáncer y reacciones genotóxicas.
4. Los procesos térmicos de cocimiento conductivo severo son los menos recomendados, por mostrar niveles más altos de formación de contaminantes químicos como las aminas heterocíclicas, que se reconocen como un riesgo mayor por la alta actividad mutagénica.
5. El estudio de los contaminantes químicos como consecuencia de la aplicación de tratamientos térmicos en alimentos, se encuentra en permanente revisión y aportes relacionados con los mecanismos de atenuación de la velocidad de formación de estos contaminantes en los procesos térmicos.

BIBLIOGRAFÍA

Arribas, L.G., 2013. Análisis, inhibición e ingesta de nuevos contaminantes químicos de procesado de alimentos. Tesis doctoral, Universidad Computense, Madrid, España.

Becalski, A.; Seaman, A. 2005. Furan precursors in food: A model study and development of a simple headspace method for determination of furan. *J. AOAC Int.*, 88, pp.102-106.

Cross AJ, Sinha R. 2004. Meat-related mutagens/carcinogens in the etiology of colorectal cancer. *Environmental and Molecular Mutagenesis*; 44(1):44–55

Crews, C. 2014. Processing Contaminants: Furan. Reference Module in Food Science, from *Encyclopedia of Food Safety*, Volume 2, 2014, pp. 399-403.

De Conti, A.; Tryndyak, V.; Doerge D.R.; Beland F.A.; Pogribny, I. 2016. Irreversible down-regulation of miR-375 in the livers of Fischer 344 rats after chronic furan exposure. *Food and Chemical Toxicology* , Volumen 98, parte A , de diciembre de 2016 , pp: 2-10.

EFSA, 2011. Results on acrylamide levels in food from monitoring years 2007-2009 and exposure assessment. *Scientific report. EFSA Journal* 2011, 9, 2133.

Fernández, H.P. 1983. Alimentos, Calidad y Seguridad Alimentaria. *Revista Aldaba* núm.36, Granada, España.

Galceran, M.T. 2003. Aminas Heterocíclicas en Alimentos Cocinados. V Congreso Internacional Alimentación, nutrición y dietética. Conferencias Sección A: Nutrición y Dietética. Facultat de Química, Universitat de Barcelona, España.

Gokmen, V. and Morales, F.J. 2014. Processing Contaminants: Hydroxymethylfurfural. Reference Module in Food Science, from *Encyclopedia of Food Safety*, Volume 2, 2014, pp. 404-408.

Hsu, H.T.; Chen, M.J.; Tseng, T.P.; Cheng, L.X.; Huang, L-J.; Sheng Yeh, T. 2016. Kinetics for the distribution of acrylamide in French fries, fried oil and vapour during frying of potatoes. *Food Chemistry* , volumen 211 , 15 de noviembre del 2016 , pp. 669-678.

Juániz, I.; Zocco, C.; Mouro, V.; Paz De Peña, C.C.M., 2016. Effect of frying process on furan content in foods and assessment of furan exposure of Spanish population. *LWT - Food Science and Technology*, Volume 68, May 2016, pp. 549-555.

Kavousi, P.; Mirhosseini, H.; Ghazali, H.; Ariffin, A.A. 2015. Formation and reduction of 5-hydroxymethylfurfural at frying temperature in model system as a function of amino acid and sugar composition. *Food Chemistry*, Volumen 182, 1 de septiembre del año 2015, pp. 164-170.

Kim, M.K.; Kim, M.Y.; Kwang-Geun, L. 2016. Determination of furan levels in commercial orange juice products and its correlation to the sensory and quality characteristics. *Food Chemistry*, volumen 211, 15 de noviembre. pp: 654-660.

Kowalski, S. 2013. Changes of antioxidant activity and formation of 5-hydroxymethylfurfural in honey during thermal and microwave processing *Food Chemistry*, Volumen 141, Número 2, 15 de noviembre de 2013, pp. 1378 – 1382.

Lafferty, J. S.; Kamendulis, L. M.; Kaster, J. L.; Jiang, J. Z.; Klaunig, J. E. S. 2004. Ubichronic acrylamide treatment induces a tissue-specific increase in DNA synthesis in the rat. *Toxicol. Lett.* 154, pp.95-103.

Lineback, D. R.; Stadler, R. H., 2009. Introduction to food process toxicants. In *Process- Induced Food Toxicants: Occurrence, Formation, Mitigation, and Health Risks*; Stadler, R. H., Lineback, D. R., Eds; John Wiley and Sons, Inc Ltd: West Sussex, U.K. pp. 3-19.

LoPachin, R.M.; Gavin, T. 2008. Acrylamide-induced nerve terminal damage: relevance to neurotoxic and neurodegenerative mechanisms. *J. Agric. Food Chem.* 56, pp.5994-6003.

Manayay, D. and Ibarz, A. 2016. Modelamiento de la cinética de reacciones del pardeamiento no enzimático y el comportamiento reológico, en el proceso térmico de la pulpa de mango (*Mangifera indica*) variedad Haden y Kent. Tesis doctoral, Universidad Nacional del Santa, Chimbote, Perú, pp. 199.

Morales, F.J.; Rufián, H. J.A; Jiménez, P.S. 2005. Incidencia de acrilamida en patatas fritas comercializadas en la comunidad de Madrid. *Revista de tecnología e higiene de los alimentos*, núm. 367, pp 30-35.

Moreno Navarro, IM; Rubio Armendáriz, C; Gutiérrez Fernández, AJ; Cameán Fenández, AM; Hardisson de la Torre, A. 2007. La acrilamida, contaminante químico de procesado: Revisión *Revista de Toxicología*, vol. 24, núm. 1, pp. 1-9. Asociación Española de Toxicología, Pamplona, España.

Sanz, M.L., Olano,A., Del Castillo, M. D. 2003. Nuevos indicadores para el control de la calidad de alimentos. Instituto de fermentaciones industriales, Consejo superior de investigaciones científicas, Madrid, España.

Schniidt-Hebbel, H. 1986. Tóxicos químicos en alimentos. Fundación Chile, Chile.

Shen, M.; Zhang, F.; Hong T.; Xie, J.; Wang, Y.; Nie, S.; Xie, M. 2017. Comparative study of the effects of antioxidants on furan formation during thermal processing in model systems. *LWT - Ciencia y Tecnología de Alimentos*, Volumen 75, pp. 286-292.

Skog, K. I.; Johansson, M. A. E.; Jagerstad, M. I. 1998. Carcinogenic heterocyclic amines in model systems and cooked foods: A review on formation, occurrence and intake. *Food Chem. Toxicol.*, 36, pp.879-896.

Stadler, R.H; Seefelder, W, 2016. An Update on Processing- Derived Food Contaminants: Acrylamide, Monochloropropane-1,2-Diol (MCPD) Esters, and Glycidyl Esters. Reference Module in Food Science.

Sugimura, T.; Nagao, M.; Kawachi, T.; Honda, M.; Yahagi, T.; Seino, Y.; Sato, S.; Matsukura, N.; Matsushima, T.; Shirai, A.; Sawamura, M.; Matsumoto,H. 1977. Mutagen-carcinogens in foods with special reference to highly mutagenic pyrolytic products in broiled foods. In *Origins of human cancer*; Hiatt, H. H., Watson, J. D., Winsten, J. A., Eds.; Cold Spring Harbor: New York; pp. 1561-1577.

Wibowo, S.; Grauwet, T.; Jihan, S.S.; Tomic, J.; Vervoort, L.; Hendrickx, M.; Loey, A.V.
2015. Quality changes of pasteurised orange juice during storage: A kinetic study of
specific parameters and their relation to colour instability
Food Chemistry , volumen 187 , 15 de de noviembre del 2015 , pp. 140-151.