

DOI: <https://doi.org/10.46296/ig.v5i10.0061>

INFLUENCIA DEL PROCESAMIENTO TRADICIONAL DE EMBUTIDOS EN LA FORMACIÓN DE HIDROCARBUROS AROMÁTICOS

INFLUENCE OF TRADITIONAL SAUSAGE PROCESSING ON THE FORMATION OF AROMATIC HYDROCARBONS

Intriago-Alcívar Lorena^{1*}; Suárez-Reyes Ámbar¹; Zambrano-Garzón Ignacio²

¹Carrera de Ingeniería Química, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas,
Universidad Técnica de Manabí, UTM. Portoviejo, Ecuador.

²Instituto de Posgrado, Universidad Técnica de Manabí, UTM. Portoviejo-Ecuador.

*Correo: 2.9.eizabethh@gmail.com

Resumen

En el presente estudio se evaluó la influencia de los factores de procesamiento que afectan la concentración de benzo[a]pireno (BaP) en la longaniza, un embutido tradicional del Ecuador. Las muestras fueron sometidas a diferentes métodos de cocción (hervido, frito, ahumado) y posteriormente analizadas mediante HPLC-DAD. Se encontraron concentraciones de BaP en todas las muestras; el método de ahumado produjo una mayor concentración de BaP de 88.30 µg/kg, seguido del método frito con 48.25 µg/kg. El método de hervido presentó una disminución de las concentraciones de BaP obteniéndose al finalizar el proceso un valor de 23.04 µg/kg, tomando como valor inicial la concentración de BaP en la muestra cruda de 26.25 µg/kg. Se evaluaron parámetros fisicoquímicos durante los diferentes procesos de cocción, el pH mostró una correlación con el aumento de BaP en los procesos de fritura y ahumado con un r^2 igual a 0.87 y 0.94, respectivamente. Por otro lado, el contenido de grasa durante el hervido disminuye simultáneamente junto con la concentración de BaP, encontrándose una correlación negativa, en el método de fritura el contenido de BaP se incrementa conforme al contenido de grasa, por el contrario, en el caso del método de ahumado, la concentración de BaP se incrementa a menor contenido de grasa. Tanto el pH como el contenido de grasa influyen en la formación de hidrocarburos aromáticos policíclicos en los embutidos, sin embargo, la concentración final de BaP depende también método de cocción empleado, y de los ingredientes de la preparación del embutido.

Palabras clave: Benzo[a]pireno, hidrocarburos aromáticos policíclicos, cocción, ahumado, fritura.

Abstract

In the present study, the influence of processing factors that affect the concentration of benzo[a]pyrene (BaP) in longaniza, a traditional sausage from Ecuador, was evaluated. The samples were subjected to different cooking methods (boiled, fried, smoked) and then analyzed by HPLC-DAD. BaP concentrations were found in all samples; the smoking method produced a higher BaP concentration of 88.30 µg/kg, followed by the fried method with 48.25 µg/kg. The boiling method presented a decrease in BaP concentrations, obtaining a value of 23.04 µg/kg at the end of the process, taking as the initial value the BaP concentration of the raw sample of 26.25 µg/kg. Physicochemical parameters were evaluated during the different cooking processes, the pH showed a correlation with the increase of BaP in the frying and smoking processes with an r^2 equal to 0.87 and 0.94, respectively. Contrarily, the fat content during boiling decreases simultaneously along with the BaP concentration finding a negative correlation, in the frying method the BaP content is increased according to the fat content, contrary in the case of the smoking method, the BaP concentration is increased to lower fat content. Both pH and fat content are factors that influence the formation of polycyclic aromatic hydrocarbons in sausages, however, the final concentration of BaP also bank on the cooking method used, and the sausage's ingredients.

Keywords: Benzo[a]pyrene, polycyclic aromatic hydrocarbons, cooking, smoking, frying.

Información del manuscrito:

Fecha de recepción: 02 de septiembre de 2021.

Fecha de aceptación: 16 de octubre de 2021.

Fecha de publicación: 11 de julio de 2022.

1. Introducción

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) son moléculas de hidrocarburos que contienen dos o más anillos aromáticos. Algunos HAPs como el benzo[a]pireno, se clasifican como carcinógenos (Yuan, 2015). Las mezclas que contienen HAPs pueden causar diversos daños al cuerpo humano, como mutagenicidad y predisposición al desarrollo de cánceres (Bernardo et al., 2016).

El benzo[a]pireno (BaP) es un indicador de la presencia de HAPs, generalmente en alimentos (Andelman & Suess, 1970; Van der Wielen et al., 2006; PentaCarbon, 2019). Este compuesto es formado por cinco anillos de benceno fundidos (Cao et al., 2020), con un punto de fusión de 179°C y de ebullición de 495°C (Ryser, 1974), es relativamente insoluble en agua y tiene baja volatilidad (US EPA National Center for Environmental Assessment & Newhouse, 2013). Se ha comprobado que el BaP altera la estructura del ADN, dando lugar a la presencia de células malignas y mutaciones en animales de laboratorio (Franco & Ramírez, 2013).

Diversos estudios han determinado que existe presencia de HAPs en los alimentos, entre ellos los productos cárnicos (Roseiro et al., 2011; Zachara et al., 2017; Škaljac et al., 2018), siendo los alimentos la principal fuente de contaminación de estos compuestos en nuestro organismo. La OMS (2015) indica que la cocción de los alimentos a altas temperaturas o el contacto directo de estos con la fuente de calor, produce ciertos tipos de químicos que pueden ser considerados como cancerígenos, tales como los HAPs.

Los HAPs se forman a partir de la combustión incompleta de material orgánico (Caruso & Alaburda, 2008), y en los alimentos se forman durante la pirólisis de grasas, carbohidratos y proteínas, a una temperatura superior a 200 °C (Hamidi et al., 2016), es así que en la principal zona de oxidación de la llama, se forman hasta convertirse en especies de alto peso molecular (Gachanja & Maritim, 2019). Los niveles de concentración de los HAPs en los alimentos están influenciados principalmente por los procedimientos de procesamiento y los métodos de cocción, y podrían atenuarse modificando los

procedimientos de cocción, así como el agregado de aditivos (adobos) ricos en antioxidantes (Paz et al., 2017; Zhang et al., 2021). Por otra parte, estudios han demostrado que el calor también está relacionado con la formación de los HAPs en los alimentos (Hernando, 2013; Duedahl-Olesen et al., 2015; Darwish et al., 2019), así como también el contenido de grasa (Luzardo et al., 2013; Singh et al., 2016), la temperatura, la naturaleza del material de combustión y el método de cocción, horneado (Singh et al., 2016; Nworah et al., 2019), tiempo de permanencia a altas temperaturas (Mastandrea et al., 2005), el pH y los condimentos (McGrath et al., 2001; Farhadian et al., 2012). De los procesos de cocción a los que se someten los alimentos; el ahumado, el tostado, el secado, la fritura, el horneado, la extracción de aceites y la termo degradación de lípidos, evidencian una mayor influencia en la formación de BaP (Lichtfouse et al., 1997).

En el presente estudio se pretende conocer la influencia de los métodos y tiempos de cocción, así como de las variables que son influyentes en la formación de HAPs, como el

contenido de grasa, humedad y pH, en la concentración de BaP de la longaniza artesanal.

2. Metodología

2.1. Preparación de muestras

Para el presente estudio se tomaron 16 muestras de longaniza artesanal, un embutido tradicional preparado a base de especias, carne de cerdo, cebolla y aceite de achiote. Las muestras fueron obtenidas en la ciudad de Jipijapa-Ecuador y luego sometidas a tres diferentes tipos de cocción; hervido (H), frito (F) y ahumado (A). Posteriormente, se almacenaron en bolsas con cierre hermético a una temperatura aproximada de 4°C.

2.2. Condiciones experimentales

Las muestras fueron hervidas, fritas y ahumadas hasta un tiempo de cocción completa en cada caso, considerando cocción completa al punto en que el producto se encuentre listo para ser consumido, tal como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1.

Condiciones experimentales para el estudio de los parámetros considerados influyentes en la formación de BaP

Métodos de cocción	Tiempo (T) (min)				
	T1	T2	T3	T4	T5
Hervido (H)	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00*
Frito (F)	2.40	5.20	8.00	10.20	12.40*
Ahumado (A)	60.00	120.00	180.00	240.00	300.00*

*tiempo en el que el embutido se encuentra listo para su consumo directo.

2.3. Parámetros físicos y químicos

Se realizó la caracterización física y química de la longaniza mediante la trituración de cada muestra hasta lograr una masa homogénea, después de cada tiempo de cocción y método de procesamiento: frito (F), hervido (H) y ahumado (A), así como también la muestra cruda.

El cambio de pH y el contenido de grasa se determinaron mediante las técnicas descritas por la norma centroamericana ICAITI (1977). El contenido de cenizas y la determinación del contenido de humedad, se llevó a cabo según lo especificado por los métodos AOAC (1975).

2.4. Determinación de benzo(a)pireno

2.4.1. Extracción de las muestras

Para la obtención de las muestras analizadas se trituraron 5 g de longaniza correspondiente a cada uno de los métodos y tiempos de cocción empleados, hasta obtener una masa homogénea. Posteriormente, se procedió a extraer las muestras mediante un equipo de Soxhlet utilizando hexano grado HPLC, el proceso de extracción finalizó cuando el solvente se mantuvo incoloro, según lo especificado por Oyekunle (2019). Los extractos fueron recolectados en frascos color ámbar y refrigerados a 4°C.

2.4.2. Purificación de las muestras

El procedimiento de purificación se realizó mediante una extracción en fase sólida (SPE), según sus siglas en inglés, de acuerdo con la técnica empleada por Ledesma (2015). Los cartuchos se lavaron con diclorometano (durante 2 h llegando a sequedad) y hexano grado HPLC (durante 1 h sin llegar a sequedad). Las eluciones se llevaron a cabo empleando hexano:diclorometano en una mezcla de 70:30 y 1 mL de la muestra obtenida previamente. Se colectaron las fracciones y posteriormente fueron concentradas (<1 mL) en una corriente de nitrógeno, seguidamente se reconstituyen con acetonitrilo hasta un volumen de 1 mL para su análisis por medio de HPLC-DAD.

2.4.3. Curva de calibración

Se prepararon concentraciones desde 0.1 a 10 ppm de solución estándar de un patrón de BaP (96% HPLC) (Sigma- Aldrich/50-32-8) y etanol grado HPLC, para luego realizar las mediciones en un equipo de HPLC-DAD. La curva de calibración se obtuvo a una longitud de onda de 265 nm, una temperatura de 40 °C y un volumen de inyección de 15 µL.

2.4.4. Análisis BAP

El análisis de las concentraciones de BaP en las muestras fue realizado por el método de cuantificación por adición estándar en HPLC equipado con un detector de arreglo de diodos (DAD), la columna para el análisis fue una C18 4.6x100 mm, 5 µm (Hypersil Gold), cuya fase móvil fue 100% acetonitrilo grado HPLC. El resultado del análisis fue expresado en mg BaP/LACN, este resultado se ajustó en µg BaP/Kg de longaniza, mediante la siguiente ecuación:

$$C_{BaP} = \Delta_{(C_{final}-C_{estandar})} * \frac{V_D}{m_a}$$

Donde:

C_{BaP} : Concentración de BaP en la longaniza (µg/Kg).

C_{final} : Concentración de BaP con adición de estándar.

$C_{estandar}$: Concentración de la solución estándar (aproximadamente 5 ppm).

V_D : Volumen del disolvente en la muestra analizada (L).

m_a : Cantidad de muestra utilizada para el análisis (Kg).

3. Resultados y discusión

3.1. Características de la muestra

Realizado el análisis fisicoquímico de la longaniza se obtuvieron los valores de pH, % ceniza, % grasa, contenido de humedad y las concentraciones de BaP en la muestra cruda y al final de la cocción

de los métodos empleados, tal como se muestra en la tabla 2.

Para facilitar y resumir los nombres de las muestras, se codificaron de la siguiente manera; Tiempos de procesamiento (T1, T2, T3, T4, T5), métodos de cocción; Ahumado (A), Hervido (H) y Frito (F), los tiempos empleados se muestran en la tabla1.

Tabla 2.

Caracterización de la longaniza artesanal cruda y procesada

Método de procesamiento	pH	Ceniza (%)	Grasa (%)	Humedad (%)
Cruda	4.53 ± 0.15	7.30 ± 0.19	26.86 ± 1.21	48.39 ± 1.87
Ahumada	5.92 ± 0.13	7.00 ± 0.18	14.14 ± 2.53	19.56 ± 1.53
Hervida	5.85 ± 0.31	7.60 ± 0.18	7.57 ± 1.53	51.30 ± 3.55
Frita	5.75 ± 0.27	6.00 ± 0.19	29.89 ± 4.80	21.16 ± 3.34

3.2. Cambio del pH durante el procesamiento

Los valores de pH aumentaron al finalizar el proceso de cocción en todos los métodos evaluados (figura 1). El valor de pH de la longaniza cruda se presentó entre 4.48 y 4.68. Los valores de pH para el embutido ahumado se observan en el gráfico 1c, alcanzando un valor al final de la

cocción de 5.92 ± 0.13 , el método de hervido obtuvo un valor final de pH de 5.85 ± 0.31 (gráfico 1a), y el proceso de fritura de 5.75 ± 0.27 (gráfico 1b). En el embutido frito el aumento del pH fue ligeramente menor que en el hervido y ahumado, presumiblemente debido al menor tiempo de cocción (12 min). Se ha observado que las variaciones de pH también dependen del valor inicial.

Sobre esto, Savic & Karan-Djurdjic (1955) encontraron un aumento del pH cuando el valor inicial era menor de 6.4 y una disminución cuando el valor inicial era mayor. Según Grau (1978) los procesos de cocción en general incrementan los valores de pH de los cárnicos debido a la modificación de la carga eléctrica de los grupos ácidos, la separación de

las cadenas de péptidos y la producción de nuevos compuestos alcalinos. Sherman (1961) atribuyó el aumento del pH a la fisión de las cadenas de proteínas del embutido, específicamente en los enlaces lábiles que implican a los grupos imidazol, $-SH$ y $-OH$, seguidos de los enlaces de hidrógeno entre los grupos carboxilo y amino.

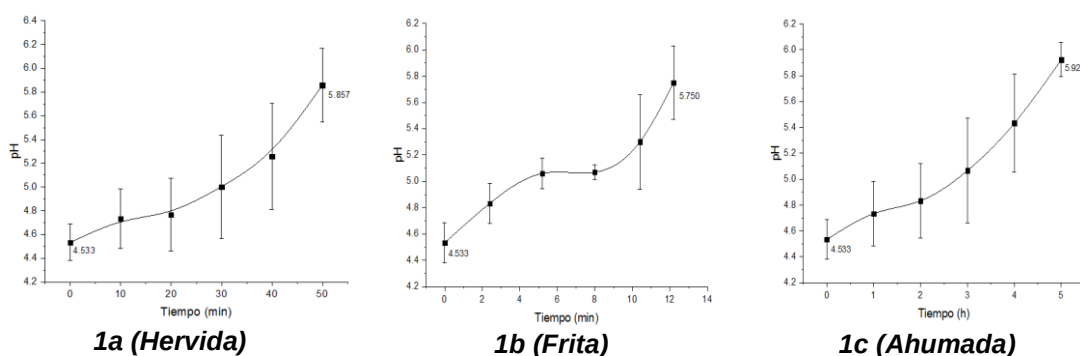


Figura 1. Variación del pH de la longaniza durante el tiempo y diferente método de procesamiento.

3.3. Variación del contenido de grasa y humedad

Se pudo evidenciar que el método de fritura incrementa el contenido de grasa en el embutido debido a la disminución de la humedad (gráfico 2b), esto puede ser debido a que el contenido de humedad en los alimentos determina en gran medida la absorción de aceite (Dana & Saguy, 2006; Brannan et al., 2014) y además a que la absorción de aceite

es proporcional al aumento de los tiempos del proceso a las diferentes temperaturas de fritura (Bermúdez et al., 2016), sobretudo en la última etapa del proceso de fritura (Montes et al., 2016), así la deshidratación causó una mayor incorporación del aceite en el alimento. Por el contrario, en el embutido ahumado y hervido, se observó un descenso continuo del contenido de grasa, lo cual fue menor en el método de hervido, tal como se muestra en el

gráfico 3a, de acuerdo con la experimentación y observación realizada, esto podría deberse a la rotura de la envoltura del embutido, ocurriendo el desprendimiento de la grasa. Por otra parte, la humedad en el proceso de ahumado y fritura disminuye en el transcurso del procesamiento de la longaniza (gráfico 2b y 2c). Según Watanabe (2018) el contenido de grasa intramuscular influye significativamente en el contenido de humedad, puesto que existe una relación entre la desnaturalización de las proteínas sarcoplásmicas en las miofibrillas y la capacidad de

retención de agua, dando como resultado la pérdida de agua durante la cocción de la carne, influenciada principalmente por la temperatura (Bowker & Zhuang, 2015, Pang et al., 2021). Caso contrario sucedió en el proceso de hervido, donde el embutido aumentó alrededor del 3% su contenido de humedad (gráfico 2a). Kolczak (2007) concluyó que el nivel de agua libre fue más alto en la carne hervida en comparación con la carne frita, por ende, el contenido de humedad al final de la cocción depende del método de cocción empleado.

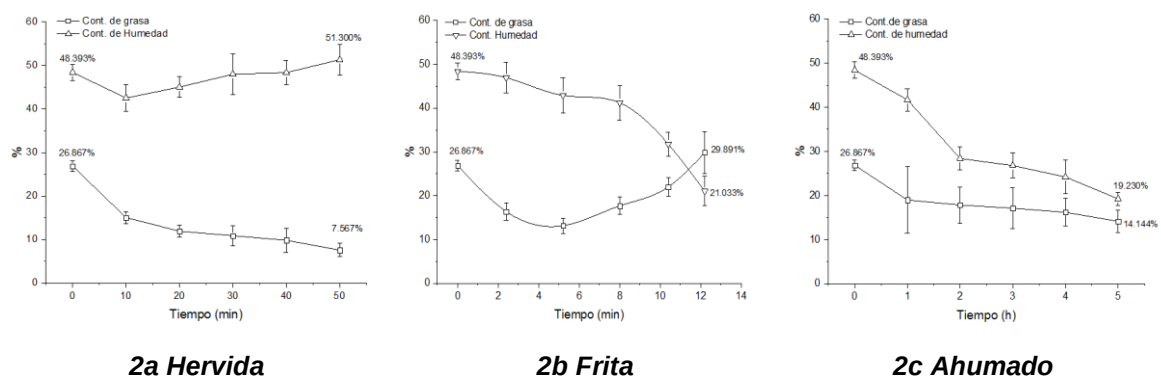


Figura 2. Variación del contenido de grasa y humedad de la longaniza durante el tiempo y diferente método de procesamiento.

3.4. Influencia de los parámetros fisicoquímicos de la longaniza en la formación de BaP.

3.4.1. Correlación entre el pH y la concentración de benzo[a]pireno

Para el método de hervido se observó que existe una correlación negativa ($r^2=0.8520$) entre el pH y la concentración de BaP (gráfico 3a). En el caso de los procesos de fritura y ahumado, también existió correlación, sin embargo, esta es positiva como se muestra en las gráficas 3b y 3c, donde se observa un aumento de ambas variables ($r^2=0.8741$ y $r^2=0.9430$). La discrepancia de correlaciones de pH y concentración de BaP entre estos métodos se puede atribuir a otros factores como la pérdida o aumento de grasa y humedad. No obstante, lo que está claro es que existe una influencia directa del pH en la formación de BaP en la longaniza

tradicional. McGrath (2001) y Farhadian (2012) plantean que el pH y los condimentos son factores que podrían incrementar significativamente los niveles de HAPs en los productos cárnicos cocidos a la parrilla, esto puede ser debido a que el aumento de pH incrementa la velocidad de las reacciones de Maillard (Martins et al., 2000). Aunque la relación entre la formación de HAPs y las reacciones de Maillard no está completamente entendida, Britt (2004) sugiere que los productos de pirólisis inicial de la reacción de Maillard pueden sufrir reacciones adicionales para formar HAPs a mayores tiempos de residencia y altas temperaturas. Un estudio realizado por Wongmaneepratip & Vangnai (2017) determinó que la incorporación de aceite o ingredientes alcalinos en el adobo, elevaron los valores de pH (7.51), lo que produjo un incremento significativo de más del 70% en los niveles de HAPs en pollo a la parrilla.

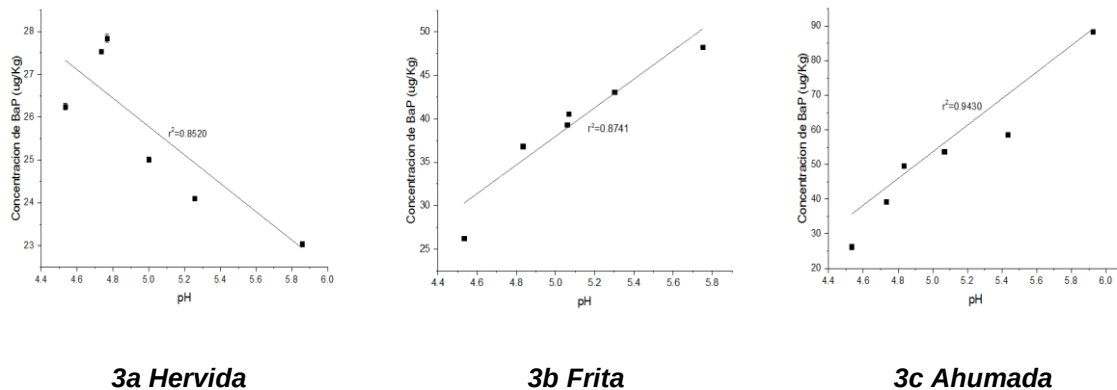


Figura 3. Correlación del pH y la concentración de BaP en los diferentes tiempos de cocción de los métodos empleados.

3.4.2. Correlación entre el contenido de grasa y la concentración de benzo[a]pireno

Los resultados obtenidos mostraron que existe una correlación entre el contenido de grasa y la concentración de BaP para de los 3 métodos de procesamiento evaluados (gráficas 4a, 4b y 4c), sin embargo, en el caso del método de ahumado la correlación encontrada fue negativa, es decir que, a menor contenido de grasa, se presenta una mayor concentración de BaP en la longaniza. Esta diferencia en el sentido de la correlación puede deberse a que en el método de hervido se generan los mayores cambios físicos en el producto a través del tiempo, debido al intercambio de masa entre el agua

utilizada y el embutido. Para el caso de la fritura, durante los primeros minutos la longaniza expulsa la grasa que contienen debido al calor al que es sometido, este calor incorporado es el que contribuye a una absorción del aceite del medio lo que incrementa la concentración de BaP, sobre esto, diversos reportes informan que existe presencia de HAPs en los aceites comestibles, los cuales son utilizados como medio de cocción en el proceso de fritura (Martorell et al., 2010; Bansal & Kim, 2015; Gharby et al., 2018; Kiralan et al., 2019), así mismo, el tipo de aceite utilizado también es un factor que influye en la concentración final de los HAPs en los embutidos procesados (Paz et al., 2017; Wongmaneepratip & Vangnai, 2017).

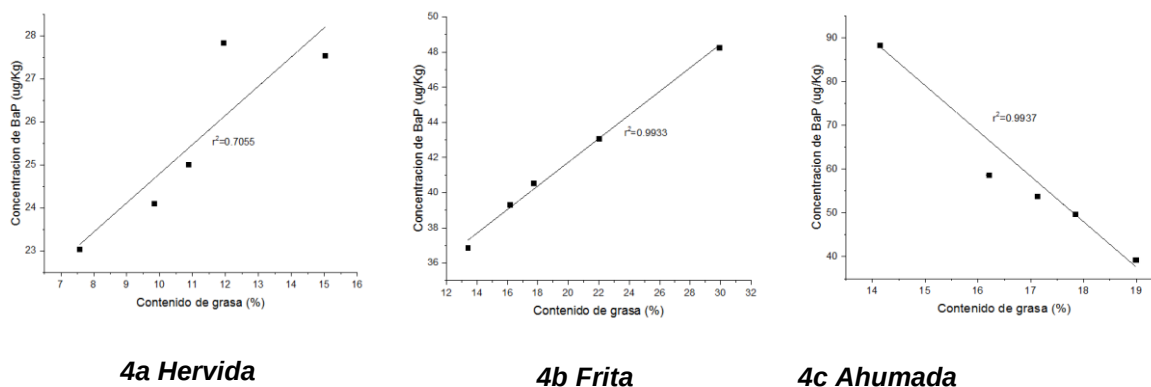


Figura 4. Correlación entre el contenido de grasa y la concentración de BaP de la longaniza en los diferentes tiempos de cocción de los métodos empleados.

3.4.3. Efecto del contenido de Humedad

Las muestras con mayor contenido de BaP en el presente estudio son aquellas con el porcentaje de humedad más bajo, obteniéndose menor contenido de humedad en el proceso de ahumado, mientras que las muestras con menor contenido de BaP son aquellas con el porcentaje de humedad más alto; tal como se muestra en la figura 5. Esto podría sugerir que cuando la humedad disminuye, la concentración de BaP aumenta, lo que podría ocurrir al aumentar el tiempo de ahumado, de acuerdo con otros estudios (Djinovic et al., 2008).

Sin embargo, la muestra analizada a los 4,8 min del método de fritura presenta una concentración de BaP de 48.25 µg/kg, concentración similar a la muestra analizada de 1 h del método de ahumado de 49.71 µg/kg, difiriendo en el contenido de humedad de 21.16% y 28.40%, respectivamente. Un estudio realizado por Ledesma (2015) concluyó que no existe correlación entre la formación de BaP y el contenido de humedad, ya que los resultados obtenidos en dicho estudio indican que los chorizos españoles con un contenido de BaP similar pueden tener contenidos de humedad diferentes.

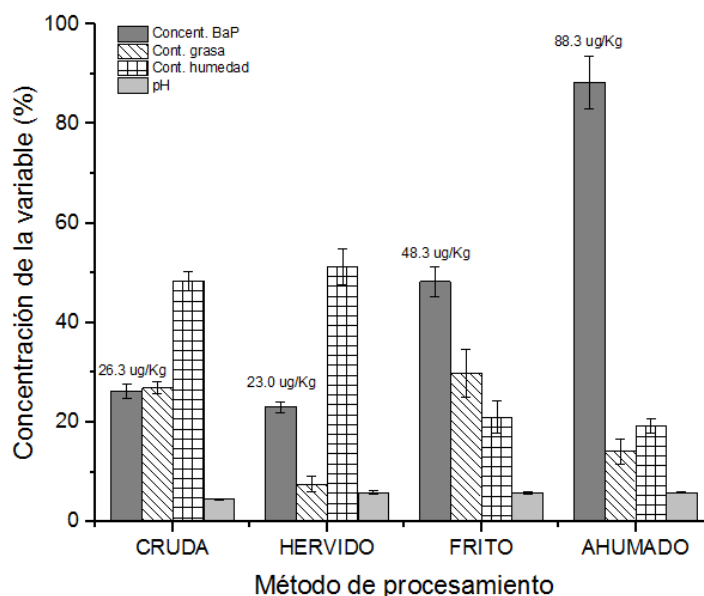


Figura 5. Concentración de benzo[a]pireno (BaP) en la longaniza artesanal en función del método de procesamiento.

3.4.4. Influencia del procesamiento tradicional de la longaniza en la formación de BaP.

La concentración de BaP en la longaniza artesanal durante el hervido disminuye de 26.25 a 23.04 μg de BaP/kg de muestra (figura 5), es decir aproximadamente un 12% menos, esta disminución en la concentración de BaP puede estar relacionada a la pérdida de grasa durante dicho procedimiento debido a la rotura de la envoltura ocasionada por el calor y la absorción de humedad. Los HAPs se forman en dependencia del contenido de grasa que posee el

producto alimenticio (Rose et al., 2015; Sampaio et al., 2021) compuestos como los HAPs poseen propiedades lipofílicas por lo que tienden a acumularse fácilmente alimentos grasos (Silva et al., 2011; Ingenbleek et al., 2019; Wu et al., 2020).

En la figura 5 se observa que la concentración de BaP en la longaniza frita aumentó en menor nivel que la ahumada, esto pudo ser debido a un menor tiempo de cocción (12 min) en comparación con el método de ahumado (5 h), además de factores como la utilización de carbón y la distancia entre el alimento y la fuente de calor.

La concentración de BaP en el proceso de ahumado registró los niveles más altos (88.30 μ g de BaP/kg de muestra), siendo el máximo alcanzado al finalizar el procesamiento. Esto podría deberse a que, durante el ahumado la grasa que escapa del embutido entra generalmente en contacto directo sobre la fuente de calor, lo cual contribuye según Hamidi (2016) y Lee (2016) a la formación de HAPs. Sobre esto, varios autores mencionan que, en las carnes a la parrilla cocinadas de forma directa al carbón, los HAPs se forman en función del contenido de grasa de la carne, la temperatura de cocción y la duración del procesamiento (Farhadian et al., 2010; Duedahl-Olesen et al., 2015; Aydın & Sahan, 2018; Oz, 2021). Criterio que se observó durante la última hora de ahumado con incremento de 58.67 a 88,30 μ g/Kg de BaP, esto podría deberse a una posible pirólisis de la grasa que goteó durante las primeras horas de ahumado, debido a que esta tiene un mayor tiempo de contacto directo con la fuente de calor. Según Rey-Salgueiro & García-Falcón (2005) y Sahin (2020) la contaminación de HAPs por procesos térmicos intensos,

cocinados a altas temperaturas (superiores a 200 °C), como la parrilla de carbón, se debe a la pirólisis directa de los nutrientes de los alimentos, y al humo producido por la combustión incompleta de diferentes agentes térmicos (Rose et al., 2015; Lima et al., 2017; Hokkanen et al., 2018). Esto es corroborado por Santonicola (2017), quienes han demostrado que las mayores concentraciones de HAPs proceden de la pirólisis de las grasas.

El valor encontrado en esta investigación para la longaniza ahumada, es similar al encontrado por Teo (2018) en muestras de pollo asado a la parrilla (52.20-80.89 μ g/kg). Según Park (2017) el aumento de BaP en este tipo de procesamiento puede deberse a que los radicales libres que se generan durante el proceso de cocción a altas temperaturas se recombinan para formar HAPs ligeros seguidos de HAPs pesados que se mueven a los compartimentos hidrofóbicos de la cadena, y finalmente son retenidos en los alimentos ricos en grasas (Octavio et al., 2013). Otro factor influyente en el aumento de BaP en la longaniza ahumada son los HAPs

volátiles que se pueden generar en la combustión de la fuente de calor, estos HAPs son transportados con el humo formado, los cuales a su vez se adhieren a la superficie de los alimentos (Dyremark et al., 1995; Terzi et al., 2008; Afsaneh Farhadian et al., 2010). Varios autores sugieren que los HAPs de bajo peso molecular (que contienen 2 a 3 aros aromáticos) surgen del humo generado durante el asado de carne, siendo más volátiles que los HAPs de elevado peso molecular (3 o más anillos aromáticos).

Algo importante que resaltar es que los resultados de la concentración de BaP en la longaniza durante esta investigación son un indicador de una concentración de HAPs totales. Es así que los valores mostrados en los anteriores resultados son mayores que los informados por otros autores. Sobre esto, en las salchichas ahumadas se informan valores de 11 µg/kg (Hokkanen et al., 2018), 19 µg/kg (Reinik et al., 2007; Lee et al., 2020) y de 3 µg/kg a 52 µg/kg (Wang et al., 1999). Chen & Lin (1997) compararon varios métodos de cocción encontrando que la mayor parte de HAP cancerígenos se encontraron en el

ahumado de muestras de productos que contenían carne de pato. Corroborando también, que los productos alimenticios ricos en grasas son más susceptibles a la formación de HAPs (Singh et al., 2016).

La elaboración de la longaniza se lleva a cabo mediante el embutido de carne de cerdo cruda y 'refrito' (condimento elaborado mediante la fritura de cebolla y especias con aceite de achiote) en las tripas de cerdo. Es práctica común que posteriormente a su elaboración, este embutido sea puesto en exhibición para su venta al borde de la carretera, ocasionando que el embutido sea expuesto a la contaminación por material particulado generado por los automóviles. Sobre esto, varios estudios han demostrado la presencia de HAPs en los ambientes urbanos, especialmente donde hay más concurrencia de automóviles, encontrándose al benzo[a]pireno (BaP) el más común y en mayor concentración (Slezakova et al., 2013) (Menichini, 1992). Otro factor que puede influir en las concentraciones elevadas es el ahumado continuo al que el

embutido es sometido durante el tiempo prolongado de exhibición, esta práctica es muy común en la zona litoral del país de donde fueron adquiridas las muestras. Se debe considerar también que la concentración de HAPs depende de la madera utilizada para ahumar como lo mencionan (Škaljac et al., 2014; Hitzel et al., 2013). El tipo de madera juega un papel importante en la contaminación de HAPs en los productos cárnicos ahumados, se informa que la carne ahumada con madera blanda presenta niveles de HAP más altos que los de la madera dura, probablemente como resultado de los compuestos químicos de la madera y las diferentes naturalezas de los tipos de madera (Stumpe et al., 2008. Ledesma et al. (2016) menciona que la temperatura que alcanza la madera durante la combustión y la concentración de oxígeno o la velocidad del ventilador en la cámara de combustión, en el caso de procesos más industrializados, es también de relevancia.

En el Ecuador no existe una normativa que regule la concentración de BaP en los alimentos. La Unión Europea, por

otro lado, ha establecido un máximo permisible de 2 $\mu\text{g/kg}$ en carnes y productos cárnicos ahumados (Commission Regulation, 2011). De acuerdo con los análisis realizados en el presente estudio, la longaniza cruda presenta una concentración de 26 $\mu\text{g/kg}$ de BaP, sobrepasando lo establecido por la norma europea.

4. Conclusión

Las altas concentraciones de BaP encontradas en la muestra cruda de 26.25 $\mu\text{g/kg}$, suponen un riesgo para la salud de la población en el Ecuador, ya que todas las muestras analizadas exceden el valor establecido por la norma europea de 2 $\mu\text{g/kg}$ en carnes y productos cárnicos. Esto considerando la falta de normativas que regulen el procesamiento de alimentos artesanales en el país. De los diferentes métodos de cocción empleados, el método de hervido fue en el cual se observaron las menores concentraciones de BaP (23.04 $\mu\text{g/kg}$) en el producto listo para el consumo, en comparación con los métodos de ahumado (88.30 $\mu\text{g/kg}$) y fritura (48.25 $\mu\text{g/kg}$) en los cuales se presentaron las concentraciones más altas. Las variables de procesamiento como el pH y el

contenido de grasa, influyen directamente, y en diferente nivel, en la concentración de este hidrocarburo (BaP).

Bibliografía

Andelman, J. B., & Suess, M. J. (1970). Polynuclear aromatic hydrocarbons in the water environment. *Bulletin of the World Health Organization*, 43(3), 479-508.

AOAC. (1975). *Official methods of analysis*. Association of Official Agricultural Chemists, 2nd.

Aydın, Ö., & Sahan, Y. (2018). Bazı Et Türlerinde Polisiklik Aromatik Hidrokarbon Oluşumuna Farklı Pişirme Yöntemlerinin Etkisi. *Akademik Gıda*, 387-394. <https://doi.org/10.24323/akademik-gida.505505>

Bansal, V., & Kim, K.-H. (2015). Review of PAH contamination in food products and their health hazards. *Environment International*, 84, 26-38. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.06.016>

Bermúdez, A. A., Romero Barragan, P., & Arrazola Paternina, G. (2016). Pérdida de humedad y absorción de aceite durante fritura de tajadas de plátano (*Musa paradisiaca* L.). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 119.

[https://doi.org/10.18684/BSA\(A14\)119-124](https://doi.org/10.18684/BSA(A14)119-124)

Bernardo, D. L., Barros, K. A., Silva, R. C., Pavão, A. C., Bernardo, D. L., Barros, K. A., Silva, R. C., & Pavão, A. C. (2016). Carcinogenicity of Polycyclic aromatic Hydrocarbons. *Química Nova*, 39(7), 789-794.

<https://doi.org/10.5935/0100-4042.20160093>

Bowker, B., & Zhuang, H. (2015). Relationship between water-holding capacity and protein denaturation in broiler breast meat. *Poultry Science*, 94(7), 1657-1664.

<https://doi.org/10.3382/ps/pev120>

Brannan, R. G., Mah, E., Schott, M., Yuan, S., Casher, K. L., Myers, A., & Herrick, C. (2014). Influence of ingredients that reduce oil absorption during immersion frying of battered and breaded foods. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 116(3), 240-254.

<https://doi.org/10.1002/ejlt.201200308>

Britt, P. F., Buchanan, A. C., Owens, C. V., & Todd Skeen, J. (2004). Does glucose enhance the formation of nitrogen containing polycyclic aromatic compounds and polycyclic aromatic hydrocarbons in the pyrolysis of proline? *Fuel*, 83(11), 1417-1432.

- <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2004.02.009>
- Cao, H., Wang, C., Liu, H., Jia, W., & Sun, H. (2020). Enzyme activities during Benzo[a]pyrene degradation by the fungus *Lasiodiplodia theobromae* isolated from a polluted soil. *Scientific Reports*, 10(1), 865. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-57692-6>
- Caruso, M. S. F., & Alaburda, J. (2008). Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos - benzo(a)pireno: Uma revisão. *Revista Do Instituto Adolfo Lutz*, 67(1), 1-27.
- Chen, B. H., & Lin, Y. S. (1997). Formation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons during Processing of Duck Meat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(4), 1394-1403. <https://doi.org/10.1021/jf9606363>
- Commission Regulation. (2011). (EU) No 835/2011 of 19 August 2011 amending Regulation (EC) No 1881/2006 as regards maximum levels for polycyclic aromatic hydrocarbons in foodstuffs Text with EEA relevance, Pub. L. No. 32011R0835, 215 OJ L. <http://data.europa.eu/eli/reg/2011/835/oj/eng>
- Dana, D., & Saguy, I. S. (2006). Mechanism of oil uptake during deep-fat frying and the surfactant effect-theory and myth. *Advances in Colloid and Interface Science*, 128-130, 267-272. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2006.11.013>
- Darwish, W. S., Chiba, H., El-Ghareeb, W. R., Elhelaly, A. E., & Hui, S.-P. (2019). Determination of polycyclic aromatic hydrocarbon content in heat-treated meat retailed in Egypt: Health risk assessment, benzo[a]pyrene induced mutagenicity and oxidative stress in human colon (CaCo-2) cells and protection using rosmarinic and ascorbic acids. *Food Chemistry*, 290, 114-124. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.127>
- Djinovic, J., Popovic, A., & Jira, W. (2008). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in different types of smoked meat products from Serbia. *Meat Science*, 80(2), 449-456. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.01.008>
- Duedahl-Olesen, L., Aaslyng, M., Meinert, L., Christensen, T., Jensen, A. H., & Binderup, M.-L. (2015). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in Danish barbecued meat. *Food Control*, 57, 169-176. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.04.012>
- Dyremark, A., Westerholm, R., Övervik, E., & Gustavsson, J.-

- Å. (1995). Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) emissions from charcoal grilling. *Atmospheric Environment*, 29(13), 1553-1558. [https://doi.org/10.1016/1352-2310\(94\)00357-Q](https://doi.org/10.1016/1352-2310(94)00357-Q)
- Farhadian, A., Jinap, S., Abas, F., & Sakar, Z. (2010). Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in grilled meat. *Food Control*, 21, 606-610. <https://doi.org/10.1016/j.foodc.ont.2009.09.002>
- Farhadian, A., Jinap, S., Faridah, A., & Zaidul, I. S. M. (2012). Effects of marinating on the formation of polycyclic aromatic hydrocarbons (benzo[a]pyrene, benzo[b]fluoranthene and fluoranthene) in grilled beef meat. *Food Control*, 28(2), 420-425. <https://doi.org/10.1016/j.foodc.ont.2012.04.034>
- Franco, Y. N., & Ramírez, C. M. (2013). El benzo(a)pireno en los alimentos y su relación con el cáncer. *Perspectivas en Nutrición Humana*, 15(1), 99-112.
- Gachanja, A. N., & Maritim, P. K. (2019). *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Determination*. En P. Worsfold, C. Poole, A. Townshend, & M. Miró (Eds.), *Encyclopedia of Analytical Science* (Third Edition) (pp. 328-340). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409547-2.14107-1>
- Gharby, S., Harhar, H., Farssi, M., Taleb, A. A., Guillaume, D., & Laknifli, A. (2018). Influence of roasting olive fruit on the chemical composition and polycyclic aromatic hydrocarbon content of olive oil. *OCL*, 25(3), A303. <https://doi.org/10.1051/ocl/2018013>
- Grau, R. (1978). *Carne e prodotti carnei / Reinhold Grau ; edizione italiana a cura di Pompeo Capella e Franco Minoccheri*. Edagricole.
- Hamidi, E. N., Hajeb, P., Selamat, J., & Razis, A. F. A. (2016). Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) and their Bioaccessibility in Meat: A Tool for Assessing Human Cancer Risk. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, 17(1), 15-23. <https://doi.org/10.7314/APJCP.2016.17.1.15>
- Hernando, P. (2013). Contaminación producida durante el procesado, preparación, transporte y limpieza de los alimentos. *Aldaba: revista del Centro Asociado a la UNED de Melilla*, 36, 65-78.
- Hitzel, A., Pöhlmann, M., Schwägele, F., Speer, K., & Jira, W. (2013). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and phenolic substances in meat products smoked with

- different types of wood and smoking spices. *Food Chemistry*, 139(1-4), 955-962. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.02.011>
- Hokkanen, M., Luhtasela, U., Kostamo, P., Ritvanen, T., Peltonen, K., & Jestoi, M. (2018). Critical Effects of Smoking Parameters on the Levels of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Traditionally Smoked Fish and Meat Products in Finland. *Journal of Chemistry*, 2018, e2160958. <https://doi.org/10.1155/2018/2160958>
- ICAITI. (1977). Carne y productos cárnicos. Medición del pH. Norma Centro Americana ICAITI 34125 h 8.
- Ingenbleek, L., Veyrand, B., Adegboye, A., Hossou, S. E., Koné, A. Z., Oyedele, A. D., Kisito, C. S. K. J., Dembélé, Y. K., Eyangoh, S., Verger, P., Leblanc, J.-C., Durand, S., Venisseau, A., Marchand, P., & Le Bizec, B. (2019). Polycyclic aromatic hydrocarbons in foods from the first regional total diet study in Sub-Saharan Africa: Contamination profile and occurrence data. *Food Control*, 103, 133-144. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.04.006>
- Kiralan, S. S., Toptancı, İ., & Tekin, A. (2019). Further Evidence on the Removal of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) During Refining of Olive Pomace Oil. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 121(4), 1800381. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201800381>
- Kołczak, T., Krzysztoforski, K., & Palka, K. (2007). The effect of post-mortem ageing and heating on water retention in bovine muscles. *Meat Science*, 75(4), 655-660. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.09.014>
- Ledesma, E., Rendueles, M., & Díaz, M. (2015). Spanish smoked meat products: Benzo(a)pyrene (BaP) contamination and moisture. *Journal of Food Composition and Analysis*, 37, 87-94. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.09.004>
- Ledesma, E., Rendueles, M., & Díaz, M. (2016). Contamination of meat products during smoking by polycyclic aromatic hydrocarbons: Processes and prevention. *Food Control*, 60, 64-87. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.07.016>
- Lee, J.-G., Kim, S.-Y., Moon, J.-S., Kim, S.-H., Kang, D.-H., & Yoon, H.-J. (2016). Effects of grilling procedures on levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in grilled meats. *Food Chemistry*, 199, 632-638. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.12.017>

- Lichtfouse, É., Budzinski, H., Garrigues, P., & Eglinton, T. I. (1997). Ancient polycyclic aromatic hydrocarbons in modern soils: ¹³C, ¹⁴C and biomarker evidence. *Organic Geochemistry*, 26(5), 353-359.
[https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(97\)00009-0](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(97)00009-0)
- Lima, R. F. de, Dionello, R. G., Peralba, M. do C. R., Barrionuevo, S., Radunz, L. L., & Reichert Júnior, F. W. (2017). PAHs in corn grains submitted to drying with firewood. *Food Chemistry*, 215, 165-170.
- Luzardo, O. P., Rodríguez-Hernández, Á., Quesada-Tacoronte, Y., Ruiz-Suárez, N., Almeida-González, M., Henríquez-Hernández, L. A., Zumbado, M., & Boada, L. D. (2013). Influence of the method of production of eggs on the daily intake of polycyclic aromatic hydrocarbons and organochlorine contaminants: An independent study in the Canary Islands (Spain). *Food and Chemical Toxicology*, 60, 455-462.
<https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.08.003>
- Luzardo, O. P., Zumbado, M., & Boada, L. D. (2013). Concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons and organohalogenated contaminants in selected foodstuffs from Spanish market basket: Estimated intake by the population from Spain. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 11, 437-443.
<https://accedacris.ulpgc.es/jspui/handle/10553/48414>
- Martins, S. I. F. S., Jongen, W. M. F., & van Boekel, M. A. J. S. (2000). A review of Maillard reaction in food and implications to kinetic modelling. *Trends in Food Science & Technology*, 11(9), 364-373.
[https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(01\)00022-X](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(01)00022-X)
- Martorell, I., Perelló, G., Martí-Cid, R., Castell, V., Llobet, J. M., & Domingo, J. L. (2010). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in foods and estimated PAH intake by the population of Catalonia, Spain: Temporal trend. *Environment International*, 36(5), 424-432.
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2010.03.003>
- Mastandrea, C., Chichizola, C., Ludueña, B., Sánchez, H., Álvarez, H., & Gutiérrez, A. (2005). Hidrocarburos aromáticos policíclicos. Riesgos para la salud y marcadores biológicos. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*, 39(1), 27-36.
- McGrath, T., Sharma, R., & Hajaligol, M. (2001). An experimental

- investigation into the formation of polycyclic-aromatic hydrocarbons (PAH) from pyrolysis of biomass materials. *Fuel*, 80(12), 1787-1797.
[https://doi.org/10.1016/S0016-2361\(01\)00062-X](https://doi.org/10.1016/S0016-2361(01)00062-X)
- Menichini, E. (1992). Urban air pollution by polycyclic aromatic hydrocarbons: Levels and sources of variability. *Science of The Total Environment*, 116(1), 109-135.
[https://doi.org/10.1016/0048-9697\(92\)90368-3](https://doi.org/10.1016/0048-9697(92)90368-3)
- Montes O, N., Millar M, I., Provoste L, R., Martínez M, N., Fernández Z, D., Morales I, G., & Valenzuela B, R. (2016). Absorción de aceite en alimentos fritos. *Revista chilena de nutrición*, 43(1), 87-91.
<https://doi.org/10.4067/S0717-75182016000100013>
- Nworah, F. N., Nkwocha, C. C., Nwachukwu, J. N., & Ezeako, E. C. (2019). Comparative analysis of the Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) content and proximate composition of unripe *Musa paradisiaca* (plantain) fruit exposed to varying methods of roasting. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 17(1), 105-113.
<https://doi.org/10.1007/s40201-018-00331-0>
- OMS. (2015). OMS | Carcinogenicidad del consumo de carne roja y de la carne procesada. WHO; World Health Organization.
<http://www.who.int/features/q/a/cancer-red-meat/es/>
- Oz, E. (2021). The impact of fat content and charcoal types on quality and the development of carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons and heterocyclic aromatic amines formation of barbecued fish. *International Journal of Food Science & Technology*, 56(2), 954-964.
<https://doi.org/10.1111/ijfs.14748>
- Pang, B., Yu, X., Bowker, B., Zhang, J., Yang, Y., & Zhuang, H. (2021). Effect of meat temperature on moisture loss, water properties, and protein profiles of broiler pectoralis major with the woody breast condition. *Poultry Science*, 100(2), 1283-1290.
<https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.10.034>
- Park, K.-C., Pyo, H., Kim, W., & Yoon, K. S. (2017). Effects of cooking methods and tea marinades on the formation of benzo[a]pyrene in grilled pork belly (Samgyeopsal). *Meat Science*, 129, 1-8.
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.02.012>
- Paz, A. P. S. da, Nascimento, E. C. P., Marcondes, H. C., Silva, M. C. F. da, Hamoy, M., &

- Mello, V. J. de. (2017). Presença de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos em produtos alimentícios e a sua relação com o método de cocção e a natureza do alimento. *Brazilian Journal of Food Technology*, 20. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.10216>
- PentaCarbon. (2019). Carbon Black – PAH and Regulations. <https://pentacarbon.de/wp-content/uploads/2019/09/PentaCarbon-Carbon-Black-PAH-and-Regulations.pdf>
- Reinik, M., Tamme, T., Roasto, M., Juhkam, K., Tenno, T., & Kiis, A. (2007). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in meat products and estimated PAH intake by children and the general population in Estonia. *Food Additives & Contaminants*, 24(4), 429-437. <https://doi.org/10.1080/02652030601182862>
- Rey-Salgueiro, L., García-Falcón, M. S., Martínez-Carballo, E., & Simal-Gándara, J. (2008). Effects of toasting procedures on the levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in toasted bread. *Food Chemistry*, 108(2), 607-615. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.11.026>
- Rose, M., Holland, J., Dowding, A., Petch, S. (R. G.), White, S., Fernandes, A., & Mortimer, D. (2015). Investigation into the formation of PAHs in foods prepared in the home to determine the effects of frying, grilling, barbecuing, toasting and roasting. *Food and Chemical Toxicology*, 78, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2014.12.018>
- Roseiro, L. C., Gomes, A., & Santos, C. (2011). Influence of processing in the prevalence of polycyclic aromatic hydrocarbons in a Portuguese traditional meat product. *Food and Chemical Toxicology*, 49(6), 1340-1345. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2011.03.017>
- Ryser, H. J. (1974). Special report: Chemical carcinogenesis. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, 24(6), 351-360. <https://doi.org/10.3322/canjclin.24.6.351>
- Sahin, S., Ulusoy, H. I., Alemdar, S., Erdogan, S., & Agaoglu, S. (2020). The Presence of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Grilled Beef, Chicken and Fish by Considering Dietary Exposure and Risk Assessment. *Food Science of Animal Resources*, 40(5), 675-688. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2020.e43>
- Sampaio, G. R., Guizellini, G. M., da Silva, S. A., de Almeida, A. P., Pinaffi-Langley, A. C. C., Rogero, M. M., de Camargo, A. C., & Torres, E. A. F. S.

- (2021). Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Foods: Biological Effects, Legislation, Occurrence, Analytical Methods, and Strategies to Reduce Their Formation. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(11), 6010.
<https://doi.org/10.3390/ijms22116010>
- Santonicola, S., De Felice, A., Cobellis, L., Passariello, N., Peluso, A., Murru, N., Ferrante, M. C., & Mercogliano, R. (2017). Comparative study on the occurrence of polycyclic aromatic hydrocarbons in breast milk and infant formula and risk assessment. *Chemosphere*, 175, 383-390.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.02.084>
- Savic, I., & Karan-Djurdjic, S. (1955). The effect of heating on pH changes in meat.
- Sherman, P. (1961). The water binding capacity of fresh pork. III. The influence of cooking temperature on the water binding capacity of lean pork. En *Food Technology* (15.a ed., pp. 90-94).
- Silva, B. O., Fatunsin, O., Oluseyi, T., Olayinka, K., & Alo, B. (2011). Effects of the methods of smoking on the levels of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in some locally consumed fishes in Nigeria. *African Journal of Food Science*, 5.
- Singh, L., Varshney, J. G., & Agarwal, T. (2016). Polycyclic aromatic hydrocarbons' formation and occurrence in processed food. *Food Chemistry*, 199, 768-781.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.12.074>
- Škaljac, S., Jokanović, M., Tomović, V., Ivić, M., Tasić, T., Ikonić, P., Šojić, B., Džinić, N., & Petrović, L. (2018). Influence of smoking in traditional and industrial conditions on colour and content of polycyclic aromatic hydrocarbons in dry fermented sausage "Petrovská klobása". *LWT*, 87, 158-162.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.08.038>
- Slezakova, K., Pires, J. C. M., Castro, D., Alvim-Ferraz, M. C. M., Delerue-Matos, C., Morais, S., & Pereira, M. C. (2013). PAH air pollution at a Portuguese urban area: Carcinogenic risks and sources identification. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(6), 3932-3945.
<https://doi.org/10.1007/s11356-012-1300-7>
- Stumpe-Vīksna, I., Bartkevičs, V., Kukāre, A., & Morozovs, A. (2008). Polycyclic aromatic hydrocarbons in meat smoked with different types of wood. *Food Chemistry*, 110(3), 794-

797.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.03.004>
- Teo, H. H. (2018). The Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Toasted, Fried, and Roasted Malaysian Food by High Performance Liquid Chromatography-Diode Array Detector (HPLC-DAD) [Final Year Project]. Tunku Abdul Rahman University College. <http://eprints.tarc.edu.my/11516/>
- Terzi, G., Çelik, T. H., & Nisbet, C. (2008). Determination of Benzo[a]pyrene in Turkish döner Kebab Samples Cooked with Charcoal or Gas Fire. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 47(2), 187-193.
- US EPA National Center for Environmental Assessment, I. O., & Newhouse, K. (2013). IRIS Toxicological Review of Benzo[a]pyrene (Public Comment Draft) [Reports & Assessments]. <https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/k/recordisplay.cfm?deid=66193>
- Van der Wielen, J. C. A., Jansen, J. T. A., Martena, M. J., De Groot, H. N., & In't Veld, P. H. (2006). Determination of the level of benzo[a]pyrene in fatty foods and food supplements. *Food Additives and Contaminants*, 23(7), 709-714.
- <https://doi.org/10.1080/02652030600631869>
- Wang, G., Lee, A. S., Lewis, M., Kamath, B., & Archer, R. K. (1999). Accelerated solvent extraction and gas chromatography/mass spectrometry for determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked food samples. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(3), 1062-1066. <https://doi.org/10.1021/jf980956h>
- Watanabe, G., Motoyama, M., Nakajima, I., & Sasaki, K. (2018). Relationship between water-holding capacity and intramuscular fat content in Japanese commercial pork loin. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 31(6), 914-918. <https://doi.org/10.5713/ajas.17.0640>
- Wongmaneepratip, W., & Vangnai, K. (2017). Effects of oil types and pH on carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in grilled chicken. *Food Control*, 79, 119-125. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.03.029>
- Wu, S., Gong, G., Yan, K., Sun, Y., & Zhang, L. (2020). Chapter Two - Polycyclic aromatic hydrocarbons in edible oils and fatty foods: Occurrence, formation, analysis, change

- and control. En F. Toldrá (Ed.), *Advances in Food and Nutrition Research* (Vol. 93, pp. 59-112). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2020.02.001>
- Yuan, M. (2010). The Preparation and Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Meat by GC/MS. 5.
- Zachara, A., Gałkowska, D., & Juszczak, L. (2017). Contamination of smoked meat and fish products from Polish market with polycyclic aromatic hydrocarbons. *Food Control*, 80, 45-51. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.04.024>
- Zhang, Y., Chen, X., & Zhang, Y. (2021). Analytical chemistry, formation, mitigation, and risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons: From food processing to in vivo metabolic transformation. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(2), 1422-1456. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12705>