

Análisis aproximado del riesgo de exposición a hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) extrapolado al consumo de café de la población uruguaya

Maria Pia Imer Rocha Pita¹ , Daniela Colman Gonzalez¹ , Carolina Santin Kerabelnik¹ , Sofía Vargha Acosta¹ , Carolina Menoni¹ .

Resumen: Análisis aproximado del riesgo de exposición a hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) extrapolado al consumo de café de la población uruguaya. **Introducción.** Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) son un grupo de compuestos orgánicos categorizados como posibles agentes cancerígenos. Se forman por la combustión incompleta de materia orgánica o durante el procesamiento y cocción de alimentos, siendo el café uno de ellos como producto del proceso de tostado. Actualmente no se cuenta con datos de contenido de HAPs en cafés comercializados en Uruguay. **Objetivo.** Analizar el riesgo de exposición a HAPs extrapolado al consumo de café de la población uruguaya. **Materiales y métodos.** Se realizó una revisión narrativa, seleccionando artículos científicos sin exclusión del origen geográfico, que reportan el contenido de benzo[a]pireno, criseno, benzo[a]antraceno y benzo[b]fluoranteno en granos molidos, enteros e infusiones de los tipos de café Arábica y Robusta. A partir de estos datos, se realizó un análisis de riesgo calculando los márgenes de exposición (MOE) para escenarios de consumo: leve, medio y alto. **Resultados.** Se incluyeron 14 artículos que reportaron el contenido de HAPs en cafés consumidos en Estados Unidos de América, México, Brasil, Vietnam, Taiwán, Irán, Chile, Dinamarca, Polonia, India y Nigeria producidos en Indonesia, México, Brasil, Vietnam, Taiwán, Puerto Rico, Colombia y Sumatra con diferentes tiempos y temperaturas de tostado, en granos molidos, enteros e infusiones. Del total de los MOEs, 97,9% corresponden a valores superiores a 10.000. **Conclusiones.** En el marco de los MOEs calculados a partir de los escenarios construidos según los datos en la literatura, solo 2,1% corresponden a situaciones de riesgo preocupante desde la salud pública. **Arch Latinoam Nutr 2025; 75(1): 36-47.**

Palabras clave: hidrocarburos aromáticos policíclicos, café, margen de exposición.

Abstract: Preliminary risk assessment of exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) based on coffee consumption in the Uruguayan population.

Introduction. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) are a group of organic compounds composed of two or more fused aromatic rings, categorized as potential carcinogens. They are formed by the incomplete combustion of organic matter or during food processing and cooking. Coffee is one of the foods that contain PAHs, primarily due to the roasting process. At present, there is no available data regarding the PAHs content in coffees sold in Uruguay. **Objective.** To analyze the risk of PAHs exposure to PAHs extrapolated to coffee consumption in the Uruguayan population. **Materials and methods.** A narrative review was conducted, selecting scientific articles without any exclusion based on geographic origin, that reported the content of benzo[a]pyrene, chrysene, benzo[a]anthracene, and benzo[b]fluoranthene in Arabica and Robusta coffee from ground, whole beans, and infusions. Based on these data, a risk analysis was performed by calculating margins of exposure (MOE) for low, medium, and high consumption scenarios. **Results.** Fourteen articles were included, reporting the PAHs content in coffees consumed in the United States of America, Mexico, Brazil, Vietnam, Taiwan, Iran, Chile, Denmark, Poland, India, and Nigeria, produced in Indonesia, Mexico, Brazil, Vietnam, Taiwan, Puerto Rico, Colombia, and Sumatra, with varying roasting times and temperatures, in ground coffee, whole beans, and infusions. Among the total MOEs, 97.9% correspond to values exceeding 10,000. **Conclusions.** Based on the calculated MOEs from the constructed scenarios and considering the data published in the literature, only 2,1% correspond to situations of public health concern. **Arch Latinoam Nutr 2025; 75(1): 36-47.**

Keywords: Polycyclic aromatic hydrocarbons, coffee, margin of exposure.

Introducción

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) son compuestos orgánicos integrados por dos o más anillos de benceno fusionados, formados por la combustión incompleta de materia orgánica.

¹Escuela de Nutrición, Universidad de la República, Uruguay. Unidad Académica Área de Investigación, Escuela de Nutrición, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay. Unidad Académica Departamento de Alimentos, Escuela de Nutrición, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay. Autor para la correspondencia: Carolina Menoni, e-mail: mmenoni@nutricion.edu.uy



Debido a su toxicidad, son monitoreados periódicamente por organizaciones como el Centro Internacional de Investigaciones sobre Cáncer (IARC) y la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) (1). Tras su metabolización, se pueden unir al ADN mediante enlaces covalentes (aductos), lo que conduce a la alteración del producto genético, resultando en alteraciones en la información hereditaria o mutaciones (2-4). Si la mutación se produce en una región activa del genoma, es decir, si actúa sobre un protooncogén (activación anormal o sobreexpresión) o en un gen supresor de tumores (desactivación), tiene el potencial de iniciar la carcinogénesis (5,6).

Los HAPs pueden estar presentes en los alimentos debido a la contaminación ambiental y/o al procesamiento de los mismos. En el ambiente, los HAPs se generan como resultado de incendios y quemas, y pueden contaminar los alimentos a través del agua y la tierra de cultivo (7,8). En cuanto a la contaminación durante el procesamiento de alimentos, los HAPs se forman por la exposición a diversas fuentes de calor, como ocurre en los procesos de secado y tostado (1,9,10), y siguiendo la regla de que a mayor tiempo de exposición a la fuente de calor, mayor es el contenido de HAPs en los alimentos (11-14).

La Agencia de Protección Ambiental (EPA) ha clasificado a 16 HAPs como contaminantes de alta prioridad debido a su potencial toxicidad en humanos y su prevalencia en el ambiente. En base a esto, la EFSA propuso la utilización de 4 marcadores de exposición: B[a]P, HAPs2 (B[a]P + criseno (Ch)), y HAPs4 (HAPs2 + benzo[a]antraceno (B[a]A) + benzo[b]fluoranteno (B[b]F)) y HAPs8 (HAPs4 + B[k]F + benzo[ghi]perileno + dibenzo[a,h]antraceno + indeno[1,2,3-cd]pireno), siendo los más adecuados para la caracterización del riesgo en alimentos el B[a]P, HAPs2 y el HAPs4 (3,4). Adicionalmente, y con la finalidad de evaluar el riesgo de exposición, la EFSA propuso la utilización del enfoque de márgenes de exposición (MOE). Este se basa en la comparación entre la dosis de sustancia que causa una respuesta mínima medible (dosis de referencia o BMDL10) (15) y la exposición.

Para cada marcador de exposición a HAPs, la BMDL10 es de 0,07, 0,17 y 0,34 mg/kg peso corporal/día, para B[a]P, HAPs2 y HAPs4, respectivamente (1). Un MOE menor a 10.000 sugiere un riesgo preocupante desde el punto de vista de la salud pública (1).

El café es una de las bebidas más consumidas en todo el mundo (16), y Uruguay no es la excepción. Un 30% de la población mundial consume al menos una taza por día (17,18), incrementándose este consumo a un 4,2% entre los años 2021 y 2022 (19).

Existen dos especies principales de café presentes en el mercado, *Coffea arabica* (café Arábica) y *Coffea canephora* (café Robusta) (20). Su composición química es muy compleja estando constituido por más de mil compuestos biológicamente activos, incluyendo cafeína, trigonelina, compuestos fenólicos como los ácidos clorogénicos (ACGs), diterpenos como el cafestol y el caveol, minerales, fibras solubles y otros metabolitos secundarios (21).

Son varios los efectos beneficiosos para la salud que otorga el consumo de café, dentro de los más reportados en la literatura se encuentra el efecto de la cafeína (16), que estimula la actividad del sistema nervioso central mediante la liberación de dopamina y nefrina, mejorando así el estado de ánimo, tiempo de reacción, desarrollo cognitivo y ayuda a permanecer en estado de vigilancia en períodos cortos (16,22,23). A su vez, está reportado que estimula la liberación de ácidos grasos libres del tejido adiposo ahorrando la utilización del glucógeno muscular durante el ejercicio prolongado (16,23). Estos compuestos contribuyen además a prevenir y reducir la morbi/mortalidad de enfermedades como diabetes tipo 2, Alzheimer, Parkinson y depresión (16,22). Cabe destacar que la concentración de sustancias que componen el café es variable dependiendo la variedad de grano, su procesamiento y método de tostado (20). Si bien el proceso de tostado es necesario para obtener las características organolépticas deseadas de la bebida, lleva a la reducción de algunos compuestos y a la formación de otros, como melanoidinas y HAPs (2,4,13,21,24-27). Usualmente las temperaturas utilizadas durante estos procesos oscilan entre 190 y 270°C; dependiendo de la misma se pueden formar diferentes HAPs, en temperaturas superiores a 220°C se forman Ch, B[a]A, B[a]P y B[a]F (28), representando así una potencial fuente de exposición a estos compuestos por parte de sus consumidores.

Existen diversas opciones o metodologías para la preparación del café, sin embargo, una de ellas es

infusionar los granos molidos con agua caliente y luego dicha infusión es filtrada para separar el líquido obtenido. Existen diferentes métodos de filtrado (V60 Hario, prensa francesa), los cuales determinan no solo las características organolépticas del producto final, sino también la presencia de los HAPs en esta bebida, debido a su hidrofobicidad y su capacidad de adsorberse en pequeñas partículas o superficies (7,29), como puede ser el caso de los filtros. Asimismo, el contenido de HAPs en la infusión depende del tiempo de reposo y la forma de preparación de la misma (13,14,30). Al preparar una infusión de café a partir de granos molidos, la transferencia de HAPs de los granos a la infusión oscila entre 5 y 14%, y de acuerdo a lo reportado en la literatura, este porcentaje depende del tipo de café y grado de tostado del mismo (25,28).

De acuerdo a nuestro conocimiento, el único antecedente reportado sobre estudios de contenido de HAPs en alimentos consumidos por la población uruguaya es en Menoni et al. (2021), quienes reportaron que la infusión de yerba mate (*Ilex paraguariensis*) es uno de los alimentos que aporta HAPs a la dieta de los uruguayos y concluye que este alimento puede presentar un riesgo preocupante para las personas con alto consumo (más de dos infusiones de yerba mate/día) (13). Considerando que el proceso de tostado de los granos de café puede ser una fuente de contaminación por HAPs, que no hay datos publicados en la literatura sobre el contenido de HAPs en cafés comercializados en Uruguay, y debido a que en los últimos cinco años se han incrementado las ventas de este alimento un 16%, esta infusión también podría llegar a ser una posible fuente de exposición preocupante a HAPs por parte la población de nuestro país. Es por ello y con la finalidad de realizar una estimación primaria, en el presente estudio se recabó el contenido de HAPs en café reportado en la literatura científica sin exclusión del origen geográfico a través de una revisión narrativa, para posteriormente realizar la estimación preliminar del riesgo de exposición a HAPs extrapolado al incremento de consumo del café en Uruguay.

Materiales y métodos

En el presente trabajo se analiza el riesgo de exposición a hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) contenidos en café por parte de la población uruguaya a partir de datos de contenido de HAPs obtenidos en la literatura,

el peso corporal de los uruguayos obtenido en la Segunda Encuesta Nacional de Factores de Riesgo (31) y estableciendo por conveniencia escenarios de consumo de café. Para ello, la metodología se divide en dos partes: primero se describe la metodología para la revisión narrativa y, posteriormente se detalla la correspondiente evaluación de riesgo.

Revisión narrativa

Los datos de contenido de HAPs en café fueron recabados mediante una búsqueda bibliográfica a través de la plataforma EBSCO Host, utilizando la sintaxis “polycyclic aromatic hydrocarbons (AND) coffee”. Se incluyeron los estudios de tipo cuantitativo que reportaran el contenido de B[a]P, Ch, B[a]A o B[b]F en café de tipo Arábica y Robusta, en granos tostados (molidos y enteros) e infusiones. Además, también se incluyeron aquellos que publicaran el contenido de B[a]P, HAPs2 y HAPs4, en español, inglés y portugués, disponibles a texto completo. El límite temporal establecido en la primera búsqueda fue de 2012 a 2022 y luego, una segunda búsqueda abarcó el período de 2022-2024. Se excluyeron las revisiones narrativas, sistemáticas con o sin metaanálisis, tesis y monografías.

La búsqueda fue realizada por duplicado aplicando los criterios de inclusión/exclusión antes mencionados. Se identificaron 103 artículos, se seleccionaron 74 luego de la eliminación de duplicados, de los cuales se obtuvieron 16 luego de la lectura por resumen, resultando en la inclusión final de 10 artículos. En la segunda búsqueda se siguió la misma metodología donde se incluyeron 4 artículos nuevos, resultando en un total de 14 artículos (Figura 1).

Análisis de riesgo

El MOE correspondiente a cada uno de los datos de contenido de cada marcador de exposición a HAPs (B[a]P, HAPs2 o HAPs4), obtenido en la revisión narrativa, se calculó dividiendo el BMDL10 de cada marcador de exposición a HAPs por la exposición dietética, definida como mg de marcador de HAPs/kg de peso corporal por día (1).

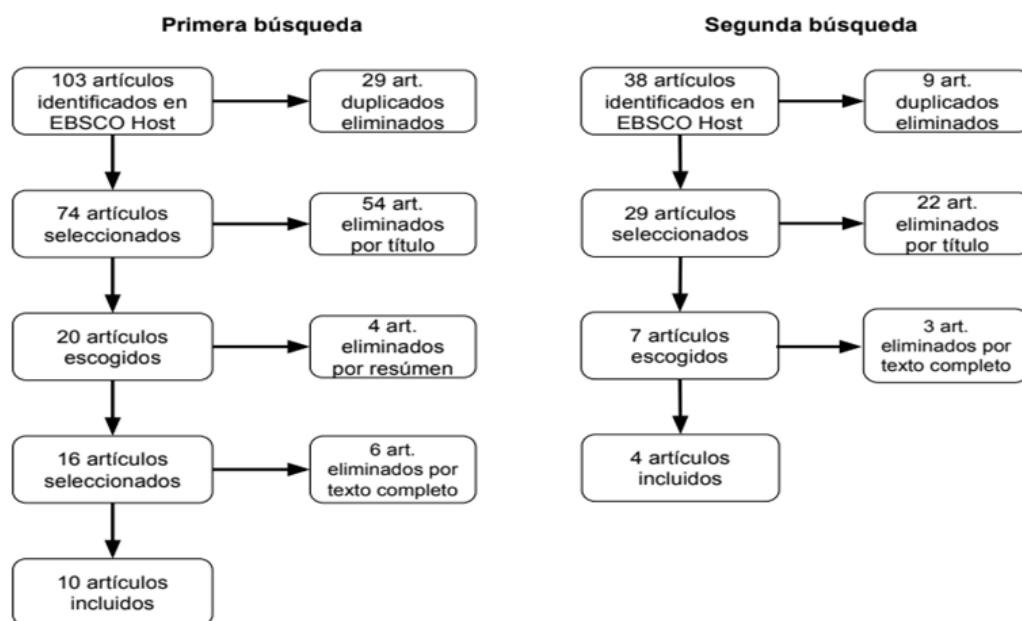


Figura 1. Proceso de búsqueda bibliográfica.

Para estimar los contenidos en mg de cada marcador de HAPs se elaboraron por conveniencia tres escenarios de consumo de infusión de café: leve, medio y alto, correspondiendo a 1 taza por día (150 mL), 2 tazas por día (300 mL) y 4 tazas por día (600 mL), respectivamente. La cantidad de café utilizado para el cálculo de los mg de HAPs contenidos por cada 150 mL de infusión fue de 10 g cuando se estimó la infusión elaborada a partir de café molido y 1,7 g para las estimadas con café instantáneo, dichas cantidades fueron establecidas según las recomendaciones de preparación de la infusión sugeridas en los envases de cafés comercializados en Uruguay. El porcentaje de transferencia de HAPs fue considerado como un 14% del grano a la infusión y un 100% en infusiones realizadas con café instantáneo (25,28). El peso corporal utilizado fue de 74,1 kg (31). Los valores de MOE obtenidos se compararon con el límite (10.000) establecido por la EFSA y aquellos que fueron inferiores a este valor se consideraron de preocupación desde el punto de vista de la salud pública (1).

Resultados

A través de la realización de la revisión narrativa, se incluyeron 14 artículos en total provenientes de Estados Unidos de América, México, Brasil, Vietnam, Taiwán, Irán, Chile, Dinamarca, Polonia, India y Nigeria. A través de estos se recolectaron datos de composición de HAPs en distintos cafés molidos, con diferentes grados de tostado, cafés instantáneos e infusiones producidos en Indonesia, México, Brasil, Vietnam, Taiwán, Puerto Rico, Colombia y Sumatra. Los compuestos más reportados fueron el B[a]P y Ch, sólo los artículos de Grover *et al.* (2013) (32) e Iwegbue *et al.* (2015) (33) no los detectaron. Asimismo, aunque Ciecińska *et al.* (2019) (34) y Wan *et al.* (2022) (35) detectaron estos compuestos, sus cantidades fueron mínimas en comparación con los demás artículos.

La mayoría de los artículos reportaron el uso de Cromatografía de Gases acoplada a Espectrómetro de Masas (GC-MS) y Cromatografía Líquida de Alta Resolución acoplada a detector de Fluorescencia (HPLC-FLD) como métodos de detección de HAPs. Sin embargo, algunos trabajos (32,33) utilizaron para la detección de los mismos la Cromatografía de Gases acoplada a detector de Ionización a la llama (GC-FID), siendo este un método de detección no recomendado debido a su baja especificidad (1,32,33).

En la Tabla 1 se muestran los contenidos de HAPs reportados en los artículos incluidos y luego utilizados para el cálculo de los MOEs. El mayor contenido fue reportado en aquellos cafés con un grado de tostado

más intenso (café oscuro) e instantáneo, mientras el menor contenido reportado es en aquellos con un grado de tostado leve. No todos los artículos especificaron la

Tabla 1. Concentración de HAPs reportadas por artículos incluidos y utilizados para el cálculo de MOEs.

Autor y año	Tipo de café	HAPs μg/kg de café
GRANOS		
Jiménez et al. (2013)	Sumatra oscuro	B[a]P: 9,5 Ch: 371,2 B[a]A: 12,0 w B[b]F: 10,5
	Tostado oscuro Italiano	B[a]P: 18,5 Ch 292,3 B[a]A: 19,1 B[b]F: 5,4
	Tostado oscuro Francés	B[a]P: 11,0 Ch: 309,4 B[a]A: 9,1 B[b]F: 2,6
	Mezcla oscuro Verona	B[a]P: 3,5 Ch: 651 B[a]A: 3,0 B[b]F: 0,3
	Mezcla oscuro Verona descafeinado	B[a]P: 13,7 Ch: 258,6 B[a]A: 5,3 B[b]F: 1,8
	Tostado medio Pike Place	B[a]P: 2,4 Ch: 242 B[a]A: 5,9 B[b]F: 1,1
	Mezcla tostado medio Colombia	B[a]P: 4,9 Ch: 84,0 B[a]A: 5,2 B[b]F: 1,0
	Mezcla tostado suave Veranda	B[a]P: 3,3 Ch: 185,2 B[a]A: 4,9 B[b]F: 1,2
	Mezcla suave Willow	B[a]P: 1,4 Ch: 126,1 B[a]A: 2,9 B[b]F: 0,4
	Mezcla tostado suave y oscuro Komodo Dragon	B[a]P: 3,4 Ch: 95,6
	Tostado oscuro Italiano (instantáneo)	B[a]P: 6,0 Ch: 71,8

Tabla 1. Concentración de HAPs reportadas por artículos incluidos y utilizados para el cálculo de MOEs. (cont.)

Autor y año	Tipo de café	HAPs μg/kg de café
Guatemala -Morales <i>et al.</i> (2016)	Temperatura 400°C	B[a]P: 1,12 Ch: 1,64
	Temperatura 450°C	B[a]P: 1,12 Ch: 1,68
	Temperatura 470°C	B[a]P: 1,12 Ch: 0,63
Pissinatti. R. <i>et al.</i> Brasil (2014)	Tostado extra fuerte	B[a]P: 0,5 Ch: 1,75 B[a]A: 1,06 B[b]F: 0,67
	Tostado tradicional	B[a]P: 0,5 Ch: 1,69 B[a]A: 0,99 B[b]F: 0,62
	Cafe arábica	B[a]P: 1,51 Ch: 2,13
Than-Lam <i>et al.</i> (2018)	Cafe robusta	B[a]P: 1,34 Ch: n/d
	Instantáneo	B[a]P: 21,35 Ch: 10,12
	Molido liviano	B[a]P: 0,0047 Ch: 0,03959
Ying-Chun Wan <i>et al.</i> (2022)	Molido mediano	B[a]P: 0,00697 Ch: 0,0547
	Molido oscuro	B[a]P: 0,00794 Ch: 0,04925
	Molido liviano	B[a]P: 2,29
Yu-Fang Huang <i>et al.</i> (2022)	Molido mediano	B[a]P: 2,97 Ch: 6,92
	Molido oscuro	B[a]P: 3,69 Ch: 16,40
	INFUSIONES	
Roudbari <i>et al.</i> (2020)	Instantáneo	B[a]P: 2,31 Ch: 2,39 HAPs4: 4,75
	Cafe molido	B[a]P: 1,83 Ch: 2,14 HAP4: 4,02
	Cafe liviano	B[a]P: 1,91 Ch: 2,10 HAP4: 4,06
	Cafe oscuro	B[a]P: 2,23 Ch: 2,43 HAP4: 4,71
Tfouni S. <i>et al.</i> (2012)	Café Arábica Liviano Infusión: preparación 1	B[a]P: 0,010
	Café Arábica Mediano Infusión: preparación 1	B[a]P: 0,020

Tabla 1. Concentración de HAPs reportadas por artículos incluidos y utilizados para el cálculo de MOEs.
 (cont.)

Autor y año	Tipo de café	HAPs μg/kg de café
Duedahl-Olesen. et al. (2014)	Grano molido Tostado medio	B[a]P: 0,24 HAP4: 1,0
	Grano molido Tostado Oscuro	B[a]P: 0,6 HAP4: 3,1
	Instantáneo	B[a]P: 1,0 HAP4: 5,1
Ying-Chun Wan et al. (2022)	Filtrado liviano	B[a]P: 0,01 Ch: 0,11
	Filtrado mediano	B[a]P: 0,01 Ch: 0,12
	Filtrado oscuro	B[a]P: 0,01 Ch: 0,06
	A maquina liviano	B[a]P: 0,02 Ch: 0,16
	A maquina mediano	B[a]P: 0,02 Ch: 0,17
	A maquina oscuro	B[a]P: 0,01 Ch: 0,13
Mesías-Salazar et al. (2023)	C-1	B[a]P: 5,05 Ch: 5,56 B[a]A: 5,06 B[b]F: 5,13
	C-5	B[a]P: 7,16 Ch: 5,64 B[a]A: 7,30 B[b]F: 5,77
Jordan-Sinisterra et al. (2022)	Clásico, San Pablo, Brasil	B[a]P: 12
	Gourmet, Colombia	B[a]P: 14
	Clásico, Colombia	B[a]P: 12
	Extra fuerte, Brasil	B[a]P: 12
	Clásico, rio grande del Norte, Brasil	B[a]P: 46
	Clásico, Antioquia, Colombia	B[a]P: 13
	Instantáneo, Brasil	B[a]P: 13
	Instantáneo, Colombia	B[a]P: 13

Datos de contenido de cada marcador de HPA (B[a] P. benzo[a]pireno. HAPs2 = Σ B[a]P, Criseno; HAPs4 = Σ B[a] P, Criseno, Benzo[a]Antraceno, Benzo[b] Fluoranteno) obtenidos en la revisión narrativa.

n/d: no detectado.

Tabla 2. Resultados de MOEs por debajo del parámetro de 10.000 según marcadores subrogantes y escenarios de consumo de café.

Marcador de HAPs ¹	Escenario de consumo ²			Tipo de café ³
	Leve	Medio	Alto	
B[a]P	-	5.638	2.819	Infusión, clásico (44)
			9.263	Infusión, gourmet (44)
			9.775	Infusión, clásico (44)
HAPs2	-	-	5.399	Grano, molido oscuro (41)
HAPs4	-	-	5.507	Infusión (43)

¹ B[a]P. benzo[a]pireno. HAPs2 = Σ B[a]P, Criseno; HAPs4 = Σ B[a]P, Criseno, Benzo[a]Antraceno, Benzo[b]Fluoranteno.

² Escenario de consumo “Leve” estimado para un consumo de 150 mL de café al día. “Medio” estimado para un consumo de 300 mL de café al día; “Alto” estimado para un consumo de 600 mL de café al día.

³ Datos de contenido de cada marcador de HAPs obtenidos en la revisión narrativa.

temperatura de tostado de los granos de café, pero en aquellos que lo hacen esta se encuentra entre 125°C y 470°C. Cabe destacar que de los artículos incluidos, solamente el realizado por Guatemala-Morales *et al.* (2016) (36) realiza el proceso de tostado a altas temperaturas (entre 400 y 470°C) con el fin de analizar la existencia de un cambio en la concentración final de HAPs (25,32-34,36-40).

Los valores de B[a]P reportados oscilan entre 0,5-102,9 µg/kg para granos molidos y 0,010-2,31 µg/kg para infusiones. En cuanto al Ch los valores que se reportaron se encuentran entre 0,17-651 µg/kg en granos y para infusiones 2,10-2,43 µg/kg. Para el compuesto B[a]A los valores reportados rondan entre 0,00628-106,6 µg/kg en granos y 0,015-7,30 µg/kg en infusiones. Finalmente, para B[b]F en granos molidos varía entre 0,3-17,7 µg/kg, y en infusiones de 0,016-5,77 µg/kg.

El análisis de riesgo se realizó a través del enfoque MOE, considerando el peso promedio de la población uruguaya y los datos reportados en bibliografía provenientes de la revisión narrativa (25,35-44). Asimismo, los MOEs (1) fueron calculados para cada escenario de consumo de café planteado, siendo estos leve (150 mL por día), medio (300 mL por día) y alto (600 mL por día).

Fueron calculados un total de 291 MOEs correspondientes a los diferentes escenarios de consumo (leve, medio, alto), de los cuales un 97,9% se ubican por encima del límite establecido por la EFSA (2008) de 10.000 (1). Solo seis valores se

encuentran por debajo de este parámetro, correspondiente al 2,1% de la totalidad de los MOEs calculados, donde cinco corresponden al escenario de consumo de 600 mL de café y solo uno a consumo de 300 mL de café por día (Tabla 2). En lo que refiere al tipo de café de los escenarios de consumo pertenecientes a aquellos valores por debajo de 10.000, cinco corresponden a infusiones y uno a café en grano molido oscuro. Cabe destacar que, para el caso de las infusiones, los autores no detallan el grado de tostado del grano utilizado, sin embargo, sí se destaca que corresponden a muestras comerciales (41,43,44).

Discusión

Mediante el presente trabajo se realizó una estimación preliminar del riesgo de exposición a HAPs en café a través del cálculo de MOEs (1) utilizando datos de contenido de HAPs recabados mediante una revisión narrativa (25, 32-44), considerando el consumo de café establecido por conveniencia por el grupo de investigación y el peso corporal medio de la población uruguaya (31).

La búsqueda bibliográfica y selección de artículos realizada para la revisión narrativa

permitió incluir 14 artículos que reportaron el contenido de HAPs en dos tipos de café (Arábica y Robusta) con diferentes tiempos y temperaturas de tostado, tanto en granos molidos, enteros e infusiones.

Los métodos analíticos de detección mayormente utilizados en los artículos incluidos en la revisión para cuantificar HAPs corresponden a HPLC-FLD y GC-MS. Ambos métodos son lo suficientemente sensibles para determinar concentraciones de dichos compuestos en alimentos los cuales son recomendados por la EFSA debido a su alta selectividad (33,34). Sin embargo, el método HPLC/UV o PDA y GC/FID son poco utilizados para la cuantificación de HAPs debido a su pobre selectividad y sensibilidad (1). Es por este motivo que para el análisis de riesgo no se utilizaron los contenidos declarados por Grover *et al.* (2013) (32) y por Iwegbue *et al.* (2015) (33).

En cuanto a los datos reportados para granos de café, cuanto mayor fue el grado de tostado del café, mayor fue el contenido final de HAPs (25,35,38,39,41,42). Teniendo en cuenta que los HAPs se forman a temperaturas mayores a 220°C y que las temperaturas en las cámaras de tostado de café varían entre 190 y 270°C era de esperar un mayor contenido de dichos compuestos en cafés oscuros (grado de tostado mayor) que en livianos (menor grado de tostado) (8,11,14,27,45,46). Otra variable a destacar en cuanto a variación de formación de HAPs es el tiempo de tostado, ya que mantener una misma temperatura, pero aumentar el tiempo, aumenta el contenido final de HAPs (27,40,45,46).

En lo que refiere a los diferentes tipos de café (molido liviano, molido medio, molido oscuro e instantáneos), los datos del contenido de B[a]P reportados por Roudbari *et al.* (2020) y Than-Lam *et al.* (2018) para los cafés instantáneos, fue mayor que para los cafés molidos (37,39), al contrario de lo reportado por Jiménez *et al.* (2013) (41).

Lo reportado respecto a infusiones implica un contenido menor de B[a]P, B[b]F y B[a]A que para café en grano (25,40). Esto se debe a que hasta aproximadamente un 14% del contenido total de HAPs de los granos pasa a

la infusión (28) debido a la hidrofobicidad de los HAPs y su capacidad de adsorberse en pequeñas partículas o superficies (7). Asimismo, el contenido final de estos compuestos en la infusión también depende del tiempo de reposo y la forma de preparación de la misma (13,14,30). En contraparte con estos resultados, la investigación de Roudbari *et al.* (2021) (39) reporta un contenido mayor de Ch, B[a]P, B[b]F y B[a]A en infusiones, lo cual se podría deber a la aplicación de temperaturas muy altas durante el secado del grano, el uso de materia prima contaminada o la contaminación del ambiente donde se cosecharon los granos (39).

La evaluación de riesgo se realizó utilizando el enfoque MOE (6), donde se calcularon un total de 291 MOEs para B[a]P y los marcadores subrogantes, HAPs2 y HAPs4. A partir de los resultados, se evidenció que un 97, 9% se ubica por encima del límite establecido por la EFSA de 10.000 (1), lo cual significa que no hay un riesgo relevante desde el punto de vista de salud pública (1). Solamente seis MOEs calculados resultaron por debajo de este parámetro (2,1%), correspondiente con los escenarios de consumo de 600 mL (consumo alto) y de 300 mL de café al día (consumo medio), representando un riesgo preocupante desde el punto de vista de la salud pública.

En relación a los resultados obtenidos para el escenario de consumo alto, se utilizaron los datos de contenido de HAPs2 reportado por Jiménez *et al.* (2014) (41) para café oscuro, el contenido de B[a]P reportado por Jordan-Sinisterra *et al.* (2022) (44) quien no identifica grado de tostado pero sí el tipo de café, siendo estos gourmet y clásico y finalmente el contenido de HAPs4 reportado por Mesías-Salazar *et al.* (2023) (43), para infusiones. Con respecto al escenario de consumo medio, los datos del contenido de B[a]P fue el reportado por Jordan-Sinisterra *et al.* (2022) (44).

El resultado de MOE menor al parámetro de 10.000 utilizando los datos reportados por Jiménez *et al.* (2014) era previsto ya que, según se identifica en las condiciones de producción de la muestra, el grado de tostado de los granos fue alto, lo cual coincide con lo establecido en la literatura, donde a mayor tiempo de exposición a altas temperaturas, aumenta la formación de HAPs en el café (1,28,41). Aunque en el artículo de Mesías-Salazar *et al.* (2023) no se especifican las condiciones de producción (grado, temperatura y tiempo de tostado), el resultado de MOE menor a 10.000 podría explicarse ya que un consumo elevado de café (600 mL) implicaría un

aumento en la exposición a los HAPs (1,43). De igual manera, los resultados de MOEs por debajo de 10.000, obtenidos tras el cálculo con los datos de Jordan-Sinisterra *et al.* (2022) podrían atribuirse a la forma de preparación de las infusiones, donde se utilizaron 2 g de café en 9 mL de agua (ratio café/agua 1:4,5). Contrariamente, en el resto de los estudios incluidos en la evaluación, cuantificaron los HAPs en infusiones más diluidas, preparadas con un volumen de agua de entre 85 y 100 mL para diluir 2-2,5 g de café (ratio café/agua 1:50). La mayor concentración de la infusión reportada en el artículo de Jordan-Sinisterra *et al.* (2022) podría explicar el alto contenido de HAPs reportado, así como el valor de MOE inferior a 10.000 obtenido tras los cálculos realizados en el presente estudio (1,44).

En lo que respecta a los resultados de los MOEs superiores a 10.000, estos se obtuvieron para los escenarios de consumidores leves, cuya estimación tuvo en cuenta el consumo de una taza por día e infusiones elaboradas con granos con grados de tostado leve y moderado (25,31-33,38). Esto concuerda con lo antes mencionado sobre cómo los granos tostados a menor temperatura presentan un contenido final de HAPs menor (28), disminuyendo así la exposición del consumidor a éstos (1).

Si bien los datos de HAPs de los cafés analizados en los estudios incluidos y utilizados para el cálculo de los MOEs del presente estudio no son comercializados y/o consumidos en Uruguay, sí lo son las variedades de los granos (Arábica y Robusta), los distintos tipos de café (molido liviano, molido medio, molido oscuro e instantáneos), y los diferentes escenarios de consumo (leve, medio, alto) así como el peso promedio de la población, permitiendo de esta manera realizar un primer abordaje en lo que respecta al posible riesgo de exposición tras el consumo de café por parte de los uruguayos. Considerando que en los últimos 5 años las ventas de café se han incrementado un 16% y que no existen datos de contenidos de HAPs nacionales que permitan estimar la exposición de manera más precisa, se espera que el presente trabajo sea un inicio para futuras investigaciones con la finalidad de reducir las incertidumbres con respecto a la evaluación del riesgo realizada.

Conclusiones

Este trabajo brinda una visión general del contenido de HAPs en diferentes tipos de café, así como un análisis aproximado al riesgo de exposición por parte de la población uruguaya. A partir de una revisión narrativa se incluyeron 14 artículos científicos los cuales reportaron variabilidad en el contenido de HAPs en distintos tipos de cafés y grado de tostado, siendo los de mayor grado de tostado los que presentaron mayores concentraciones. El análisis de riesgo elaborado a través del enfoque MOE, sugiere que, de la totalidad de los escenarios de exposición planteados, solamente un 2,1% (correspondientes a los niveles medio y alto) representaría un riesgo preocupante para la población uruguaya.

Agradecimientos

A la Escuela de Nutrición de la Universidad de la República por el apoyo brindado.

Conflictos de interés

Los autores de este manuscrito declaran no tener conflictos de interés.

Referencias

1. Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain on a request from the European Commission on Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Food. EFSA J 2008; 724:1-114. <http://doi.org/10.2903/j.efsa.2008.724>
2. World Health Organization. Evaluation of certain food contaminants: Sixty-fourth report of the joint FAO/WHO expert committee on food additives. Ginebra, Suiza: World Health Organization; 2006. ISBN 9789241209304
3. Mallah MA, Changxing L, Mallah MA, Noreen S, Liu Y, Saeed M, *et al.* Polycyclic aromatic hydrocarbon and its effects on human health: An overview. Chemosphere 2022; 296:133948. <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133948>

4. The International Agency for Research on Cancer. Some non-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons and some related exposures: V. 92: Iarc monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Lyon, Francia: International Agency for Research on Cancer; 2010. ISBN 978-92-832-1292-8
5. Penning TM, editor. Chemical Carcinogenesis. 2011a ed. Nueva York, NY, Estados Unidos de América: Humana Press; 2013. ISBN 9781617797293
6. Ramesh A, Walker SA, Hood DB, Guillén MD, Schneider K, Weyand EH. Bioavailability and risk assessment of orally ingested polycyclic aromatic hydrocarbons. *Int J Toxicol* 2004;23(5):301-333. <http://doi.org/10.1080/10915810490517063>
7. Alegbeleye OO, Opeolu BO, Jackson VA. Polycyclic aromatic hydrocarbons: A critical review of environmental occurrence and bioremediation. *Environ Manage* 2017;60(4):758-783. <http://doi.org/10.1007/s00267-017-0896-2>
8. Sampaio GR, Guizellini GM, da Silva SA, de Almeida AP, Pinaffi-Langley ACC, Rogero MM, et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons in foods: Biological effects, legislation, occurrence, analytical methods, and strategies to reduce their formation. *Int J Mol Sci* 2021;22(11):6010. <http://doi.org/10.3390/ijms22116010>
9. Domingo JL, Nadal M. Human dietary exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons: A review of the scientific literature. *Food Chem Toxicol* 2015; 86:144-153. <http://doi.org/10.1016/j.fct.2015.10.002>
10. Hrdina AIH, Kohale IN, Kaushal S, Kelly J, Selin NE, Engelward BP, et al. The parallel transformations of polycyclic aromatic hydrocarbons in the body and in the atmosphere. *Environ Health Perspect* 2022;130(2):25004. <http://doi.org/10.1289/EHP9984>
11. Skupińska K, Misiewicz I, Kasprzycka-Guttman T. Polycyclic aromatic hydrocarbons: physicochemical properties, environmental appearance and impact on living organisms. *Acta Pol Pharm*. 2004;61(3):233-240. PMID: 15481250
12. Guo Y, Wu K, Huo X, Xu X. Sources, distribution, and toxicity of polycyclic aromatic hydrocarbons. *J Environ Health*. 2011;73(9):22-25. PMID: 21644482
13. Menoni C, Donangelo CM, Rufo C. Polycyclic aromatic hydrocarbons in yerba mate (*Ilex paraguariensis*) infusions and probabilistic risk assessment of exposure. *Toxicol R* 2021; 8:324-330. <http://doi.org/10.1016/j.toxrep.2021.01.017>
14. Zelinkova Z, Wenzl T. The occurrence of 16 EPA PAHs in food - A review. *Polycycl Aromat Compd* 2015;35(2-4):248-284. <http://doi.org/10.1080/1040638.2014.918550>
15. Crump KS. An improved procedure for low-dose carcinogenic risk assessment from animal data. *J Environ Pathol Toxicol Oncol*. 1984;5(4-5):339-48. PMID: 6520736
16. Barrea L, Pugliese G, Frias-Toral E, El Ghoch M, Castellucci B, Chapela SP, et al. Coffee consumption, health benefits and side effects: a narrative review and update for dietitians and nutritionists. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2023;63(9):1238-1261. <http://doi.org/10.1080/10408398.2021.1963207>
17. Valenzuela BA. El café y sus efectos en la salud cardiovascular y en la salud materna. *Rev Chil Nutr* 2010;37(4):514-523. <http://doi.org/10.4067/s0717-75182010000400013>
18. Instituto Nacional de Estadística. Encuesta Nacional de Gastos e Ingresos de los Hogares 2005. <https://www4.ine.gub.uy/Anda5/index.php/catalog/42>
19. International coffee organization. Coffee report and outlook 2023. https://icocoffee.org/documents/cy2022-23/Coffee_Report_and_Outlook_April_2023_-_ICO.pdf
20. Nieber K. The impact of coffee on health. *Planta Med* 2017;83(16):1256-1263. <http://doi.org/10.1055/s-0043-115007>
21. De Melo Pereira GV, de Carvalho Neto DP, Magalhães Júnior AI, do Prado FG, Pagnoncelli MGB, Karp SG, et al. Chemical composition and health properties of coffee and coffee by-products. *Adv Food Nutr Res* 2020; 91:65-96. <http://doi.org/10.1016/bs.afnr.2019.10.002>
22. Radu S. Coffee caffeine expertise and its effects on nutrition and consumers health. *Lucrări Științifice* 2021; 64(2): 83-88. <https://www.uaiasi.ro/revagrois/PDF/2021-2/paper/44.pdf>
23. McLellan TM, Caldwell JA, Lieberman HR. A review of caffeine's effects on cognitive, physical and occupational performance. *Neurosci Biobehav Rev*. 2016; 71:294-312. <http://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.09.001>
24. Shi Y, Wu H, Wang C, Guo X, Du J, Du L. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in coffee and tea samples by magnetic solid-phase extraction coupled with HPLC-FLD. *Food Chem* 2016;199:75-80. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.11.137>
25. Duedahl-Olesen L, Navaratnam MA, Jewula J, Jensen AH. PAH in some brands of tea and coffee. *Polycycl Aromat Compd* 2015;35(1):74-90. <http://doi.org/10.1080/10406638.2014.918554>
26. García-Falcón MS, Simal-Gándara J. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in alcoholic drinks and the identification of their potential sources. *Food Addit Contam* 2005;22(9):791-7. <http://doi.org/10.1080/02652030500198498>
27. IARC Working Group on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans. Drinking coffee, mate, and very hot beverages: IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. 116a ed. IARC; 2019. ISBN 9789283201540.
28. Houessou JK, Maloug S, Leveque A-S, Delteil C, Heyd B, Camel V. Effect of roasting conditions on the polycyclic aromatic hydrocarbon content in ground Arabica coffee and coffee brew. *J Agric Food Chem* 2007;55(23):9719-26. <http://doi.org/10.1021/jf071745s>
29. Stanek N, Zarębska M, Biłos Ł, Barabosz K, Nowakowska-Bogdan E, Semeniuk I, et al. Influence of coffee brewing methods on the chromatographic and spectroscopic profiles, antioxidant and sensory properties. *Sci Rep* 2021;11(1):21377. <http://doi.org/10.1038/s41598-021-01001-2>
30. Okaru AO, Rullmann A, Farah A, Gonzalez de Mejia E, Stern MC, Lachenmeier DW. Comparative oesophageal cancer risk assessment of hot beverage consumption (coffee, mate and tea): the margin of exposure of PAH vs very hot temperatures. *BMC Cancer* 2018;18(1):236. <http://doi.org/10.1186/s12885-018-4060-z>

31. Ministerio de Salud Pública. Segunda Encuesta Nacional de Factores de Riesgo de Enfermedades No Transmisibles del Ministerio de Salud Pública [Internet]. https://www.who.int/ncds/surveillance/steps/2da_Encuesta_Nacional_Final_Web22.Pdf
32. Grover IS, Sharma R, Singh S, Pal B. Polycyclic aromatic hydrocarbons in some grounded coffee brands. *Environ Monit Assess* 2013;185(8):6459–63. <http://doi.org/10.1007/s10661-012-3037-7>
33. Iwegbue CMA, Agadaga H, Bassey FI, Overah LC, Tesi GO, Nwajei GE. Concentrations and profiles of polycyclic aromatic hydrocarbons in some commercial brands of tea-, coffee-, and cocoa-based food drinks in Nigeria. *Int J Food Prop* 2015;18(10):2124–2133. <http://doi.org/10.1080/10942912.2014.908906>
34. Ciecińska M, Derewiaka D, Kowalska J, Majewska E, Drużyńska B, Wołosiak R. Effect of mild roasting on Arabica and Robusta coffee beans contamination with polycyclic aromatic hydrocarbons. *J Food Sci Technol* 2019;56(2):737–745. <http://doi.org/10.1007/s13197-018-3532-0>
35. Wan Y-C, Kong Z-L, Chao Y-H, Teng C-F, Yang D-J. Optimization of QuEChERS and high performance liquid chromatography-fluorescence detection conditions to assess the impact of preparation procedures on EU priority PAHs in coffee samples and their PAHs consumption risk. *J Food Drug Anal* 2022;30(4):630–643. <http://doi.org/10.38212/2224-6614.3436>
36. Guatemala-Morales GM, Beltrán-Medina EA, Murillo-Tovar MA, Ruiz-Palomino P, Corona-González RI, Arriola-Guevara E. Validation of analytical conditions for determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in roasted coffee by gas chromatography-mass spectrometry. *Food chemistry* 2016;197(Part A):747–753 <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.10.135>
37. Tran-Lam T-T, Hai Dao Y, Kim Thi Nguyen L, Kim Ma H, Nguyen Tran H, Truong Le G. Simultaneous determination of 18 polycyclic aromatic hydrocarbons in daily foods (Hanoi metropolitan area) by gas Chromatography-Tandem mass spectrometry. *Foods* 2018;7(12):201. <http://doi.org/10.3390/foods7120201>
38. Pissinatti R, Nunes CM, de Souza AG, Junqueira RG, de Souza SVC. Simultaneous analysis of 10 polycyclic aromatic hydrocarbons in roasted coffee by isotope dilution gas chromatography-mass spectrometry: Optimization, in-house method validation and application to an exploratory study. *Food Control* 2015; 51:140–148. <http://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.11.003>
39. Roudbari A, Rafiei Nazari R, Shariatifar N, Moazzen M, Abdolshahi A, Mirzamohammadi S, et al. Concentration and health risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in commercial tea and coffee samples marketed in Iran. *Environ Sci Pollut Res* 2021;28(4):4827–4839. <http://doi.org/10.1007/s11356-020-10794-0>
40. Tfouni SAV, Serrate CS, Leme FM, Camargo MCR, Teles CRA, Cipolli KMVAB, et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons in coffee brew: Influence of roasting and brewing procedures in two Coffea cultivars. *Food Sci Tecnol* 2013;50(2):526–530. <http://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.08.015>
41. Jimenez A, Adisa A, Woodham C, Saleh M. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in roasted coffee. *J Environ Sci Health B*. 2014;49(11):828–835. <http://doi.org/10.1080/03601234.2014.938552>
42. Huang Y-F, Liao P-L, Lin Y-J, Huang S-H, Samuel Wu Y-H, Teng C-F, et al. Assessment of various conditions for the simultaneous determination of US EPA and EU priority PAHs in coffee samples and their PAHs consumption risk. *Food Res Int* 2023; 169:112947. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112947>
43. Mesias-Salazar A, Rebollo-Robles K, Salazar-González R, Bravo MA, Lucena R, Toledo-Neira C. Hydrophobic deep eutectic solvent as extractant phase for determining six carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons in tea and coffee infusion samples. *Microchem J* 2023; 193:109022. <http://doi.org/10.1016/j.microc.2023.109022>
44. Jordan-Sinisterra M, Vargas Medina DA, Lanças FM. Microextraction by packed sorbent of polycyclic aromatic hydrocarbons in brewed coffee samples with a new zwitterionic ionic liquid-modified silica sorbent. *J Food Compost Anal* 2022; 114:104832. <http://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104832>
45. Carda MCC, Ríre ÁC. El café como fuente de antioxidantes y compuestos bioactivos: discurso de ingreso como académico correspondiente. 2013. ISBN 9788494153754
46. Farah A. Coffee Constituents. In: *Coffee*. Oxford, UK: Wiley-Blackwell; 2012. p. 21–58. <https://doi.org/10.1002/9781119949893.ch2>
47. Leobet EL, Perin EC, Fontanini JJC, Prado NV, Oro SR, Burgardt VCF, et al. Effect of the drying process on the volatile compounds and sensory quality of agglomerated instant coffee. *Dry Technol* 2020;38(11):1421–32. <http://doi.org/10.1080/07373937.2019.1644347>

Recibido: 16/08/2024

Aceptado: 18/03/2025