



Aminas Biógenas encontradas en carnes, pescado y productos cárnicos: formación y efectos en la salud

Biogenic amines found in meat, fish and meat products Formation and health effects

Ana V. Flórez-Duque¹, María A. Moreno-Arango¹, Yuly N. Franco-Tobón^{1*}

Resumen

Introducción: Las aminas biógenas (AB) son compuestos nitrogenados que pueden formarse en carnes, pescados y productos cárnicos fermentados, por acción de microorganismos como bacterias ácido-lácticas, *Enterobacteriaceae*, *Enterococci*, *Staphylococcus* spp., *Pseudomonas* y otros, principalmente mediante descarboxilación enzimática. Altas concentraciones indican deterioro de la calidad del alimento y se relacionan con efectos nocivos para la salud. Lo anterior ha generado la necesidad de desarrollar métodos de detección rápida, económica y sencilla, que demuestre la importancia de establecer las cantidades máximas de cada AB permitidas y a su vez genere la necesidad de desarrollar estrategias que permitan la inhibición y/o reducción de su formación. **Objetivo:** Mostrar información actualizada sobre el contenido de AB en carnes, pescados y productos cárnicos fermentados, los microorganismos principales que intervienen en su formación, el efecto del consumo para la salud, los métodos de detección y las estrategias actuales para prevenir su formación. **Metodología:** se realizó una búsqueda bibliográfica en ScienceDirect, Scielo, PubMed, SpringerLink y Clinicalkey. Se seleccionaron artículos en español e inglés publicados entre los años 2018-2023. **Resultados:** el consumo excesivo de AB tiene efectos nocivos para la salud que incluyen intoxicaciones, crisis hipertensivas, citotoxicidad *in vitro* y formación de compuestos cancerígenos; sin embargo, las regulaciones que determinan las cantidades máximas permitidas de AB en alimentos son limitadas. Debido a esto, surge la necesidad de desarrollar métodos rápidos, sensibles, asequibles y económicos para su detección, como biosensores enzimáticos y nanoenzimas; además, cobran relevancia los métodos para reducir su formación con resultados prometedores tras el uso de algunos compuestos bioactivos y cultivos iniciadores. **Palabras claves:** aminas biógenas, carnes, pescado, cárnicos fermentados, compuestos bioactivos, cultivos iniciadores.

* Estudiantes Nutrición y Dietética, Universidad CES. Correo correspondencia: florezdu.ana@uces.edu.co

** Docente Facultad de Ciencias de la Nutrición y los Alimentos. Universidad CES. Calle 10A # 22-04. Medellín, Colombia.

Recepción: 3/05/2023. Aceptación: 04/08/2023

Cómo citar este artículo: Flórez-Duque AV., Moreno-Arango MA., Franco-Tobón YN. Actualización en Aminas Biógenas encontradas en carnes, pescado y productos cárnicos: formación y efectos en la salud. Hechos Microbiol. 2023;14(1). DOI: 10.17533/udea.hm.v14n1a04

Abstract

Introduction: Biogenic amines (BA) are nitrogenous compounds that can form in meat, fish, and fermented meat products due to the enzymatic decarboxylation caused by microorganisms like lactic acid bacteria, *Enterobacteriaceae*, *Enterococci*, *Staphylococcus spp.*, *Pseudomonas*, among others. High concentrations of BA indicate food deterioration and are associated with adverse health effects. Therefore, there is a need to develop rapid, affordable, and simple detection methods to establish the maximum allowable amounts of each BA. Additionally, strategies for inhibiting and reducing its formation are necessary. **Objective:** The objective is to present updated information about the content of BA in meat, fish, and fermented meat products, identify the main microorganisms involved in their formation, explore the effects of consumption on health, review current detection methods, and evaluate the current strategies for preventing their formation. **Methodology:** A bibliographic search on various databases including ScienceDirect, Scielo, PubMed, SpringerLink, and Clinicalkey was conducted. Articles published in Spanish and English between 2018-2023 were selected for analysis. **Results:** Excessive consumption of BA has harmful health effects including poisoning, hypertensive crises, in vitro cytotoxicity, and carcinogenic compounds formation. However, regulations on the maximum allowable concentrations of BA in food are limited. Therefore, it is necessary to develop fast, sensitive, affordable, and economical detection methods, such as enzymatic biosensors and nanoenzymes. Furthermore, strategies to reduce BA formation are promising, with the use of certain bioactive compounds and starter cultures showing positive results.

Keywords: biogenic amines, meat, fish, fermented meats, bioactive compounds, starter cultures.

Introducción

Las aminas biógenas (AB) son compuestos nitrogenados de bajo peso molecular, generalmente por debajo de 200 Da, son sintetizadas por metabolismos microbianos, vegetales y animales. Se forman principalmente a partir de la descarboxilación por parte de

la descarboxilasa microbiana, también por aminación reductora y transaminación de aldehídos y cetonas [1] y se pueden clasificar según su estructura química en heterocíclicas (histamina y triptamina), alifáticas (putrescina y cadaverina) y aromáticas (tiramina y feniletilamina) o de acuerdo al número de grupos amino como monoaminas (tiramina y feniletilamina, norepinefrina, epinefrina, dopamina, serotonina) y poliaminas (histamina, putrescina, cadaverina, espermina, agmatina, espermidina) [2]. A su vez, se pueden clasificar en endógenas, que son aquellas producidas dentro de los tejidos del organismo humano, en las que se encuentran las catecolaminas, indolaminas e histamina; y exógenas, como la cadaverina, putrescina, tiramina, histamina y β -feniletilamina, las cuales se forman a partir de la actividad bacteriana en los alimentos que contienen proteínas o aminoácidos libres, como lácteos, vino, cerveza, carnes y pescados [1]. A su vez, las AB pueden estar presentes de forma natural en alimentos fermentados, en presencia de microorganismos que pueden producirlas como las bacterias ácido-lácticas y otros, siendo utilizadas como fuente de nitrógeno para síntesis de biomoléculas (hormonas, alcaloides, ácidos nucleicos, proteínas) o como componentes del aroma alimentario [1, 4].

En bajas concentraciones, las AB son esenciales para funciones fisiológicas como la neurotransmisión, la promoción y regulación del crecimiento, el control de la presión arterial, la eliminación de radicales libres y otras funciones a nivel del sistema inmunitario intestinal [1]. A nivel fisiológico, las AB ingeridas mediante el consumo de alimentos, son degradadas en el tracto gastrointestinal, específicamente en la mucosa intestinal, por enzimas amino oxidasas (monoaminoxidasa (MAO), diaminoxidasa (DAO), poliaminoxidasas (PAO) y N – metil-transferasa), mediante reacciones de conjugación y oxidación, que las convierten en productos menos activos fisiológicamente [2].

El aumento de las AB en los alimentos fermentados y no fermentados puede darse por prácticas incorrectas de higiene y manipulación, y es un indicador de su deterioro y por ende un indicador de baja calidad, lo cual se estima mediante el índice de aminas biógenas (BAI) y el índice de calidad (IQ) [5]. Este incremento de AB puede provocar que el ser humano ingiera, a partir del consumo de éstos alimentos, altas cantidades de AB (100 –1000 mg) y es probable que el

sistema de desintoxicación no sea lo suficientemente eficaz para eliminarlas de forma completa y suficiente del organismo, causando efectos adversos para la salud, este rango de dosis que involucra altas concentraciones de AB es amplio, porque la sensibilidad a estas, puede variar entre individuos, por esta razón es complejo establecer límites seguros de consumo para cada amina biógena, debido a que este límite varía según la eficacia del sistema de detoxificación de cada persona, su absorción y/o metabolismo y posibles efectos sinérgicos que pueden darse con el consumo de múltiples AB presentes en el mismo alimento [2]. Estas variaciones individuales se asocian a factores genéticos que pueden afectar la actividad enzimática de las enzimas responsables de la degradación de las AB; al consumir inhibidores enzimáticos como bebidas alcohólicas, fármacos antidepresivos, antihistamínicos y antipalúdicos e incluso en condiciones clínicas que los individuos puedan presentar, como alteraciones en la mucosa gastrointestinal, hipertensión y deficiencia de vitamina B12, contribuyen a que se acelere o se retrase la absorción y/o el metabolismo de las AB [6].

Se tienen reportes de reacciones adversas asociadas a AB como intoxicaciones alimentarias, afecciones cutáneas, alteraciones hemodinámicas y neurológicas e incluso algunos productos del metabolismo se han asociado con cáncer, debido a la capacidad de reaccionar con los nitritos y formar nitrosaminas y otros compuestos nocivos [4, 7–10]. A su vez existen reportes de efecto citotóxico dependiente de dosis en células intestinales HT29 asociados a la cadaverina y putrescina, [11] al igual que triptamina en las concentraciones encontradas en alimentos ricos en BA [12]. También se han reportado limitaciones en el valor nutricional y alteraciones organolépticas con una alta cantidad de AB en las carnes [1, 2, 10].

Algunos estudios epidemiológicos evidencian efectos negativos en la salud humana asociados al consumo excesivo de AB, como es el caso de brote de intoxicación por consumo de pescado escombrido en estudiantes de primaria de Seúl, Corea, asociado al consumo de concentraciones de histamina mayores a las permitidas (293mg/kg) [13]. También se reportó brote de intoxicación alimentaria por histamina en una unidad militar francesa, identificando 40 casos tras el consumo de filete de atún de aleta amarilla co-

cido, con concentraciones de histamina entre 1720 - 3720 mg/kg [14] muy por encima de los valores límite definidos por la normativa europea [15,16].

Como puede evidenciarse, el consumo excesivo de AB se ha relacionado con variedad de brotes de enfermedades transmitidas por los alimentos con impactos para la salud humana, generando amenazas toxicológicas que pueden tener implicaciones para la salud pública de las poblaciones [6].

Según el informe de la Agencia Europea de Seguridad (EFSA), la histamina y la tiramina se consideran las AB más tóxicas de los alimentos fermentados y podrían tener efectos tóxicos en los consumidores [17].

En la actualidad aún no están establecidas las concentraciones máximas permitidas de todas las AB que pueden estar presentes en carnes, pescado y productos cárnicos fermentados. En Colombia el decreto 1500 de 2007 es una de las principales normativas existentes para inspección, vigilancia y control de la carne, productos cárnicos y derivados cárnicos destinados para el consumo humano, así como la resolución 2674 de 2013 que regula el proceso de fabricación, procesamiento, preparación, envase, almacenamiento, transporte, distribución y comercialización de alimentos y materias primas de alimentos [18] y en ninguna de estas normativas se menciona un apartado que regule el contenido de aminas biógenas en este tipo de alimentos [19]. Para los productos de pesca en particular pescados, moluscos y crustáceos, la resolución 122 de 2012 establece que ninguna muestra deberá tener un valor de histamina superior a 200 mg/kg y no se menciona regulación para otras AB [20].

Debido a que las carnes, pescado y productos cárnicos fermentados son alimentos de gran relevancia nutricional, altamente consumidos por la población y con abundante cantidad de proteínas y aminoácidos que favorecen la formación de AB, y que en exceso pueden tener efectos adversos en la salud [1, 7].

El objetivo de esta revisión es mostrar información actualizada sobre el contenido de AB en estos alimentos, los microorganismos principales que intervienen en su formación, el efecto del consumo para la salud, y los métodos de detección y estrategias actuales para prevenir su formación.

Metodología

La literatura revisada se obtuvo de forma electrónica en ScienceDirect, Scielo, PubMed, SpringerLink y Clinicalkey. Se seleccionaron artículos en español e inglés publicados entre los años 2018-2023. Los descriptores utilizados en la búsqueda se relacionaron con “biogenic amines” and “red meat”, “white meats”, “fish”, “health effect”, “formation”, “bioactive compounds”, “starter cultures”.

Los artículos seleccionados incluyeron artículos originales y revisiones sistemáticas. La selección de artículos se centró en aminas biógenas en carnes blancas y rojas, frescas, fermentadas y productos cárnicos y en los mecanismos actuales para prevenir la formación de éstas.

CARNES, PESCADOS Y PRODUCTOS CÁRNICOS FRESCOS Y FERMENTADOS

El consumo de carnes rojas y blancas, pescados y productos cárnicos frescos y fermentados, varía en función de los hábitos alimentarios, culturales y geográficos de cada población. Sin embargo, en términos generales, estos alimentos son una fuente importante de proteína de alto valor biológico, vitaminas y minerales en la dieta humana y su consumo es muy extendido a nivel mundial [21].

Las carnes, pescado y productos cárnicos pueden contaminarse de múltiples formas, una de ellas se debe a la formación de AB que, al consumirse en altas concentraciones, pueden tener efecto negativo en la salud humana, por este motivo conocer la normativa actual que regula la concentración de AB permitida en estos alimentos, su formación, los microorganismos involucrados, su efecto en la salud y los mecanismos para prevenir su formación, se hacen relevantes [21].

EL ÍNDICE DE AMINAS BIÓGENAS (IAB) E ÍNDICE DE CALIDAD (IQ)

Es fundamental que las condiciones de almacenamiento de carnes, pescados y productos cárnicos sean las adecuadas en cuanto a higiene, control de tiempos y temperaturas óptimas [18], esto con la finalidad de evitar aumento en la formación de AB. Debido a que las concentraciones altas de AB pueden generar un efecto en la salud, se ha establecido el IAB y el IQ, con la finalidad de conocer y controlar su concentración en carnes [7].

El IAB es la medida que permite determinar la concentración de aminas biógenas en las carnes y productos cárnicos [22]; este índice se calcula como se describe en la ecuación 1:

$$IAB = (\text{tiramina (mg/kg)} + \text{histamina (mg/kg)} + \text{putrescina (mg/kg)} + \text{cadaverina (mg/kg)})$$

En países europeos, un resultado <5 mg/kg indica carne fresca de buena calidad; entre 5 y 20 mg/kg carne aceptable, pero con signos iniciales de deterioro; entre 20 y 50 mg/kg advierte baja calidad de la carne y > 50 mg/kg representa carne en mal estado [4, 22].

El índice de calidad (IQ), es una medida de frescura y calidad en las carnes [7] y se puede calcular por medio de la ecuación 2:

$$IQ = \frac{(\text{Putresina (mg/kg)} + \text{cadaverina (mg/kg)} + \text{histamina (mg/kg)})}{(1 + \text{Espermina (mg/kg)} + \text{espermidina (mg/kg)})}$$

Los valores obtenidos clasifican en: 1 indica producto aceptado, 2 comienzo de descomposición o deterioro y 3 indica deterioro de la carne. Esta clasificación es muy utilizada en alimentos pesqueros [7].

Métodos de detección y cuantificación de aminas biógenas

Los principales métodos para cuantificación de aminas biógenas se pueden clasificar en cromatográficos, electroforéticos, electroquímicos y técnicas de detección visual, dentro de los que se incluyen los métodos colorimétricos [23]. En la tabla 1, se resumen las principales características de los métodos más comunes y los que están surgiendo actualmente para la cuantificación de AB en carnes, pescados y productos cárnicos.

La cuantificación de AB en las matrices alimentarias mencionadas, es compleja, debido a la matriz de la muestra, la alta polaridad de estos compuestos y las posibles interferencias que se pueden generar con otros componentes de la matriz [24, 25]; por tal motivo es fundamental, dependiendo del método de cuantificación, realizar una adecuada preparación de las muestras antes de la separación final y para ello se puede realizar un proceso de derivatización, que consiste en convertir las aminas biógenas en derivados más estables y fáciles de detectar mediante técnicas analíticas específicas, como cromatografía o espectroscopía. Esto implica la reacción química de las AB con un

reactivo adecuado para formar productos derivados, para ello se utiliza en este tipo de alimentos, compuestos como: 2-11H-benzo[a]carbazol-11-il-etilo, cloruro de etil-acridina-sulfonilo, cloruro de dansilo, cloruro de benzoílo y naftaleno-2,3-dicarboxaldehído [24].

Posterior a la derivatización, la concentración de aminas biógenas que se encuentra en una muestra puede ser baja, por tal motivo se utiliza un proceso de extracción por solvente, eliminando compuestos que puedan generar interferencias y que permiten concentrar las AB de interés para su cuantificación, mejorando la sensibilidad y selectividad del análisis y utilizando técnicas cromatográficas que utilizan las diferencias en los coeficientes de separación y las propiedades de adsorción de diferentes sustancias en las muestras para lograr el análisis, dentro de estos destacamos la Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC), Cromatografía Líquida de Ultra Alta Resolución (UHPLC) o Cromatografía Gaseosa (GC), siendo éstas las técnicas más comunes para cuantificar AB en carnes, pescados y productos cárnicos [26–31].

Otros métodos cromatográficos para cuantificar AB incluyen la cromatografía de intercambio iónico (IEC), y la cromatografía de capa fina (TLC) [24, 32-35].

Dentro de los métodos electroforéticos, existe la electroforesis capilar (EC) que utiliza capilares como canal de separación y campos eléctricos de corriente continua de alto voltaje como fuerza motriz [4]. Este método ha sido utilizado para cuantificación de AB en carnes, embutidos y pescado [36].

Como se muestra en la tabla 1, los métodos colorimétricos también han sido considerados para la detección cualitativa y cuantitativa de AB, basados en la reacción de estas con otras sustancias como colorantes naturales sensibles al pH, cromóforos sensibles a AB y en ocasiones también el uso de nanomateriales [23, 37, 38].

Debido a la importancia de la detección de AB, ha surgido la necesidad de desarrollar técnicas para su detección que sean confiables, rápidas, fáciles, altamente sensibles y más asequibles, por ello se han implementado métodos electroquímicos, los cuales, convierten la señal analítica de la interacción entre el analito y el aceptor en la superficie del electrodo en una señal eléctrica [39], dentro de los que se incluyen biosensores enzimáticos y nanoenzimas que cumplen con estas características [40-44]-

Por ejemplo, se ha descrito el desarrollo de un biosensor basado en factores de transcripción para cuantificar putrescina en muestras de carne de res, el que permite una detección rápida y económica de esta AB a diferentes temperaturas [45]. A su vez, recientemente se han desarrollado biosensores, mediante la inmovilización del colorante Amplex Red, peroxidasa y tiramina oxidasa que permiten medir histamina y tiramina en un rango de concentraciones entre $2,5 \times 10^{-5}$ y 5×10^{-4} M utilizando un teléfono inteligente para su detección [46].

Tabla 1. Comparación de los métodos para la determinación de los niveles de AB en carnes, pescado y productos cárnicos.

	Métodos HPLC - UHPLC	Método GC	Método IEC	Método TLC	Método electroforético EC	Método Colorimétrico	Métodos electroquímicos
EQ	HPLC - UHPLC	Cromatógrafo de gases	Cromatógrafo de intercambio iónico	Cámara de desarrollo de TLC	Sistema de electroforesis capilar	Espectrofluorómetro	Biosensores
LC	3,5-26,1ng/mL (embutidos) ^[26] 0,11 – 0,32 µg/L (pescado fresco) ^[27] 0,92 – 2,57 µg/L (carne) ^[31] 14,76- 24,45 µg/L (carne) ^[28] 0,007 – 0,021 mg/kg (pescado) ^[30]	83 – 149 µg/kg (pescado enlatado) ^[29]	0,056 – 0,071 mg/L (embutidos) ^[34]	10 ppm (Atún) ^[35]	0,7 – 1,9 µg/mL (carnes, embutidos, pescado fresco) ^[36]	0,45 – 5,60 ppm (carne) ^[37] 20 µg/mL (pescado) ^[38]	0,17 mg/L (Carne) ^[42] 7,5 x 10 ⁻⁶ M (Extracto de atún) ^[46] 0,5 mg/L (Pescado) ^[44]
VE	Cuantificación de todas las AB, alta sensibilidad, exactitud, precisión.	Cuantificación de HIS, TYR, PUT y CAD. Alta sensibilidad y resolución.	Cuantificación de PUT, CAD, HIS, β-FE. Alta sensibilidad y selectividad	Cuantificación de HIS. Simple y económica	Cuantificación de TYR, PUT, CAD, SPM, TRYP, SPD, β-FE. Simple, rápido, confiable, económico	Cuantificación de PUT y CAD en carne e HIS en pescado. Fácil (kit), rápido, económico, Calibración sencilla.	Cuantificación de HIS, TRYP, CAD, PUT. Alta sensibilidad y alta selectividad. Tiempo de respuesta rápido. Fácil uso.
DE	Costoso, requiere personal capacitado, largos periodos de pretratamiento de muestras.	Limitado a compuestos volátiles, requiere personal capacitado, costoso, largos periodos de pretratamiento de muestras.	Costoso, requiere personal capacitado, largos periodos de pretratamiento de muestras.	Baja resolución y baja sensibilidad.	Baja sensibilidad comparada con otros métodos, largos periodos de pretratamiento de muestras.	Especificidad limitada, menor sensibilidad, posibles interferencias con la matriz.	Requiere uso de componentes biológicos lo que puede aumentar su costo o reducir su vida útil. Dependen de la calidad y estabilidad del electrodo.

DE: Desventajas. EC: Electroforesis Capilar. EQ: equipo utilizado. GC: Cromatografía Gaseosa. HIS: histamina. HPLC: Cromatografía Líquida de Alta Resolución. IEC: Cromatografía de Intercambio Iónico. LC: límite de Cuantificación. TYR: Tiramina. PUT: putrescina. CAD: Cadaverina. SPM: Espermina. SPD: Espermidina. TLC: Cromatografía de Capa Fina. TRYP: Triptamina. UHPLC: Cromatografía Líquida de Ultra Alta Resolución. VE: Ventajas. β-FE: β-feniletanilamina.

FORMACIÓN DE AB EN CARNES, PESCADO Y PRODUCTOS CÁRNICOS

La formación de AB está estrechamente relacionada con los microorganismos presentes en los alimentos. Dentro de los principales microorganismos que pueden producir aminas biógenas se encuentran las bacterias ácido-lácticas (BAL), *Enterobacteriaceae*, *Enterococci*, *Staphylococcus* spp. y *Pseudomonas*. La tiramina es la amina más comúnmente relacionada con las bacte-

rias ácido-lácticas como *L. divergens*, *L. Carnis*, *Carnobacterium divergens* y *Enterococcus faecalis* en los productos cárnicos fermentados [1]. La putrescina y cadaverina se han relacionado con la acción de Enterobacteriaceas como *Citrobacter freundii*, *Escherichia coli*, *Enterobacter cloacae*, *E. agglomerans*, *E. aerogenes*, *Hafnia alvei* y *Klebsiella pneumoniae* e incluso la putrescina requiere la acción combinada de BAL y Enterobacteriaceas.

Las familias *Scombridae* y *Scomberesocidae* son comunes en productos pesqueros y están implicadas en casos de envenenamiento por histamina; así mismo, la *Morganella psychrotoleran* y el *Photobacterium phosphoreum* están asociados con la producción de esta amina, este último microorganismo es resistente al calor y congelación, por lo que se dificulta el control en la formación de la AB [32, 47].

La presencia de *Enterococcus*, *Enterobacter* y *Citrobacter* se asocia con la acumulación de AB en salchichas de pescado fermentadas [48]. Tanto bacterias Gram positivas como Gram negativas están presentes espontáneamente en salchichas fermentadas y pueden formar AB, lo que se correlaciona con la alta cantidad encontrada en este tipo de productos [3, 49].

En la tabla 2 se describen las principales AB encontradas en carnes, pescado y productos cárnicos.

Las AB más comunes encontradas en las carnes rojas y blancas frescas son la histamina, tiramina, cadaverina, triptamina, β-feniletanilamina, putrescina, espermina y espermidina [1, 3, 7, 22, 33, 50, 51]. En algunos alimentos como la carne de res, carne molida y cerdo fresca, se reportan concentraciones de hasta 295,6 mg/kg, 116,2 mg/kg y 440,2 mg/kg de cadaverina respectivamente. Sus concentraciones varían según las condiciones de almacenamiento, principalmente por el tiempo y la temperatura de este, debido a una relación directa con el crecimiento de microorganismos [52].

En productos cárnicos como jamón crudo y preparaciones de carne en salmueras predomina la formación de tiramina, cadaverina, triptamina y putrescina en concentraciones superiores a 100 mg/kg [3], lo cual podría generar efectos adversos en la salud de consumidor, porque sobrepasan límites establecidos por la EFSA y la FDA [17,15].

En cuanto a los pescados frescos y productos de mar, la mayor cantidad de AB formadas se reporta en anchoas con 1 mg/kg [41]. En productos como salmón y camarones, la AB más predominante es la cadaverina, con valores superiores a 6 mg/kg. Para el caso de enlatados, como el atún, se reportan concentraciones de histamina de 1 mg/kg en los estudios analizados en esta revisión [26, 53-55].

Como se puede evidenciar, los alimentos fermentados, presentan las concentraciones más elevadas de AB. En salchichas fermentadas, se han encontrado concentraciones mayores a 500 mg/kg de AB con presencia principalmente de cadaverina, histamina, tiramina y putrescina [3, 24, 56]. A su vez concentraciones similares de histamina se han encontrado en Salami de Brasil [49]. En salchichas chinas y polacas, se reportaron aminas como espermina, histamina y triptamina en concentraciones de 104,28 mg/kg y en salamis alemanes, se detectaron aminas como putrescina y tiramina en concentraciones de hasta 77,14 mg/kg [24].

Tabla 2. Concentraciones de aminas biógenas encontradas en carnes, pescados y productos cárnicos

Alimento	Amina biógena	Cantidad (mg/kg)	Método de cuantificación	Fuente
Carnes rojas frescas				
Carne de res fresca	PUT	6,6 - 90,9	HPLC	[22]
	CAD	< 0,5 - 295,6		
	HIS	< 0,5		
	TYR	11,1 - 65,5		
Carne molida fresca	PUT	4,0 - 60,1	HPLC	[22]
	CAD	26 - 116,2		
	HIS	27,2 - 90,1		
Carnes blancas frescas				

Alimento	Amina biógena	Cantidad (mg/kg)	Método de cuantificación	Fuente
Pierna de cordero fresca	PUT	1,2 – 10,1	HPLC	[22]
	CAD	5,1		
	SPD	8,1 – 12		
	TYR	0,1 – 10,7		
	SPM	31,4 – 40,9		
Carne de cerdo fresca	PUT	12,7- 131,5	HPLC	[22]
	CAD	13,6- 440,2		
	TYR	34,4- 55,2		
	HIS	<0,5		
Ala de pollo fresca	HIS	1,3 – 20,1	HPLC	[1]
	TYR	1 – 10,3		
	CAD	0,9 – 6,8		
Muslo de pollo fresco	HIS	2,6 – 20,5	HPLC	[1]
	TYR	1,4 – 12,2		
	CAD	1 – 9,5		
Nuggets de pollo fresco	HIS	3,9 – 28,4	HPLC	[1]
	TYR	1,8 – 21,9		
	CAD	2,1 – 17,7		
Pechuga de pollo fresca	HIS	4,2 – 6,2	HPLC	[1]
	TYR	3,2 – 5,5		
	PUT	1,1 – 2,7		
	CAD	1 – 24,8		
	SPM	60,2		
Pescados y productos de mar				
Atún	CAD	0,4	HPLC	[53]
	HIS	0,1		
	PUT	0,5		
	SPD	1,7		
	SPM	1,6		
	TYR	0,2		
Salmón	CAD	7,3	HPLC	[53]
	HIS	2		
	PUT	1,5		
	TYR	1,9		
Camarón	CAD	8,6	HPLC	[53]
	HIS	5,2		
	PUT	1,3		
	SPM	5,2		
	TYR	1,5		

Alimento	Amina biógena	Cantidad (mg/kg)	Método de cuantificación	Fuente
Pulpo	CAD	25,5	HPLC	[53]
	HIS	3,2		
	PUT	18,3		
	TYR	9,2		
	SPM	2,2		
Sardina	CAD	2,21	GC	[55]
	HIS	1,99		
	SPD	1,35		
Anchoas	HIS	41,1	HPLC	[53]
Atún enlatado	CAD	14,4	HPLC	[54]
	HIS	26,1		
	PUT	8,05		
Productos cárnicos				
Jamón crudo	TRYP	112	HPLC	[3]
	TYR	365		
	PUT	183		
Carne seca madurada	SPM	11,69 - 46,32	HPLC	[24]
Preparaciones de carne (salmueras)	CAD	269	HPLC	[3]
	TRYP	195		
Fermentados				
Salchicha fermentada	PUT	505	HPLC	[22]
	CAD	690		
	HIS	515		
	TYR	510		
Salchicha fermentada y ahumada portuguesa	TRYP	131,51 - 107,23	HPLC	[84]
	SPD	17,7 - 15,54		
	PUT	8,61 - 10,37		
Salami de Brasil	PUT	91,5 - 818,5	HPLC	[49]
	CAD	37,9 - 166,4		
	HIS	500,2		
	SPD	51,2 - 55,8		
	SPM	96,7 - 151,9		
	TYR	91,3 - 346,9		
Salsa de camarón fermentada	HIS	1,22 - 36,35	HPLC	[36]
	TRYP	39,2		
	PUT	30,45 - 140,1		
	TYR	35,5		

GC: Cromatografía gaseosa. HIS: histamina. HPLC: cromatografía líquida de alta resolución. TYR: tiramina. PUT: putrescina. CAD: cadaverina. SPM: espermina. TRYP: triptamina. SPD: espermidina.

MICROORGANISMOS IMPLICADOS EN LA FORMACIÓN DE LAS PRINCIPALES AB PRESENTES EN CARNES, PESCADO Y PRODUCTOS CÁRNICOS, Y EFECTOS EN LA SALUD

HISTAMINA:

Se forma en las carnes y pescados, principalmente del grupo escombroides (atún, bonito, caballa, sardina, anchoas, arenque, pescado azul y marlín, entre otros) los cuales tienen concentraciones mayores del aminoácido histidina, que posteriormente se convierte en histamina por medio de la enzima histidina descarboxilasa, utilizando piridoxal fosfato (PLP) como cofactor [50]. Esta enzima está presente en microorganismos que se encuentran en branquias y tubo digestivo de estos peces, como son *Proteus* spp., *Klebsiella* spp., *Aerobacter* spp., *Hafnia alvei*, *Escherichia coli*, *Morganella morganii*, *Morganella psychrotolerant*, *Aeromonas hydrophila*, *Enterobacter aerogenes*, *Raoultella planticola*, *Proteus vulgaris*, *P. mirabilis*, *Enterobacter cloacae*, *Serratia fonticola*, *Citrobacter freundii*, *Photobacterium damsela* y *Photobacterium phosphoreum* [40, 41]. También se han descrito otros microorganismos productores de esta AB en alimentos fermentados como cepas de *Oenococcus oeni*, *Pediococcus parvulus*, *Pediococcus damnosus*, especies de *Tetragenococcus*, especies de *Leuconostoc*, *Lactobacillus saerimneri*, *L. hilgardii*, *L. buchneri*, *L. curvatus*, *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* y *Lactobacillus sakei* [17].

La formación de histamina aumenta cuando el pescado es expuesto a temperaturas de almacenamiento entre los 20 y 30 °C, generando tras su consumo aumentos iguales o superiores a 500 mg/kg de esta AB, provocando la enfermedad conocida como escombroidosis, con varios reportes de intoxicación en diferentes países [57]. Esta enfermedad ocasiona síntomas leves como rubor facial, eritema súbito, dolor abdominal, diarrea, cefalea, palpitaciones, náuseas, vómito, boca seca, malestar general y mareo, y algunas complicaciones más graves como choque anafiláctico, hipotensión, broncoespasmos, dificultad respiratoria, taquicardia supraventricular, edema agudo de pulmón, síndrome coronario agudo e incluso infarto agudo de miocardio [58]. La histidina se convierte en histamina en etapas tempranas, cuando el pescado es aparentemente comestible y no presenta cambios en su aspecto u olor, una forma de evitar su formación en esta etapa temprana es asegurar la temperatura de almacenamiento en congelación a 0 °C. En etapas posteriores, la cocción evita la conversión a histamina, pero no

elimina la producida anteriormente, por lo que el riesgo de intoxicación sigue estando presente [4, 7, 8, 58].

El límite legal de las aminas depende del alimento y el país, para Estados Unidos y Europa, el límite impuesto por la FDA y EFSA para la histamina es de 50 mg/kg en carne o pescado [15, 55], mientras que para la Unión Europea y Sudáfrica es de 100 mg/kg y para Australia y Nueva Zelanda es 200 mg/kg [52]; todas estas regulaciones apoyadas en debates realizados por entes reguladores, entre ellos la Comisión del Codex Alimentarius [16].

Para Colombia los requisitos fisicoquímicos y microbiológicos que deben cumplir los productos de la pesca, en particular pescados, moluscos y crustáceos para consumo humano se establecen en la resolución 122 de 2012, en la cual se establece niveles máximos permitidos solo para la histamina, la cual indica que se deben tomar nueve muestras de cada lote, su valor medio debe ser inferior a 100 mg/kg y ninguna muestra podrá tener un valor superior a 200 mg/kg de esta AB [20].

TIRAMINA

Se forma a partir de la descarboxilación enzimática del aminoácido tirosina, por acción de la enzima tirosina descarboxilasa [50, 52]. Los principales microorganismos responsables de su formación son bacterias ácido-lácticas del género *Enterococcus* (*Enterococcus faecalis* y *E. faecium*), *Lactobacillus* (*Lactobacillus curvatus* y *L. brevis*), *Leuconostoc*, *Lactococcus*, *Carnobacterium* spp. y *Staphylococcus* [17, 50, 52]. Está relacionada con la condición clínica conocida como la “reacción del queso”, debido a que se encuentra en altas concentraciones en quesos madurados (2130 mg/kg), que, al ser consumidos pueden producir efectos tóxicos hipertensivos en pacientes depresivos tratados con inhibidores de la enzima mono amino oxidasa (MAO), que es la encargada de metabolizar las AB dentro del organismo [59].

Como se describe en la Tabla 2, esta amina también se encuentra presente en productos cárnicos fermentados en alta concentración (> 500 mg/kg). La EFSA recomienda una ingesta máxima hasta de 600 mg/kg [52]. Si se exceden los niveles máximos de ingesta se generan reacciones tóxicas como migraña, hipertensión, aumento en los niveles de azúcar en sangre, trastornos respiratorios y en ocasiones graves necrosis. La toxicidad de esta amina se aumenta por las AB alifáticas ya que inhiben las oxidasas y la N

metiltransferasa [7]. Existen reportes de citotoxicidad sinérgica de la tiramina, en conjunto con la histamina [6]. A su vez, estudios en ratas informan que esta amina, unida a nitrito de sodio, tiene la capacidad de formar una sustancia mutagénica llamada 3-diazotiramina la cual se ha asociado con el desarrollo de cáncer oral [5].

CADAVERINA

Se forma por la descarboxilación del aminoácido lisina, mediante la enzima lisina descarboxilasa, la cual es producida por familias *Enterobacteriaceae*, *Pseudomonadaceae* y *Shewanellaceae* y las enterobacterias de los géneros *Klebsiella*, *Escherichia*, *Proteus*, *Salmonella* y *Shigella* [60]. Esta enzima al reaccionar con los nitritos presentes en los alimentos conlleva a la formación de nitrosaminas, en especial la N-nitrosopiperidina, la cual está relacionada, por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer, con aumento de riesgo de cáncer esofágico [52]. Otros efectos en la salud que se pueden generar por alto consumo de cadaverina incluyen aumento del gasto cardiaco, paresia de extremidades, bradicardia, dilatación vascular y citotoxicidad en células intestinales dependiente de la dosis [52].

La cadaverina se encuentra en altas concentraciones en productos fermentados, embutidos, pescados y productos pesqueros con concentraciones que oscilan entre 1250 y 1690 mg/kg; y a pesar de esto, no se han establecido límites legales para su cantidad máxima en los alimentos; sin embargo, se reporta que 2000 mg/kg de cadaverina y de putrescina pueden potenciar el efecto tóxico de la histamina [4, 7, 8].

TRIPTAMINA

Es producida a partir del aminoácido triptófano, el cual, mediante la enzima L-aminoácido aromático descarboxilasa se convierte en triptamina, utilizando piridoxal fosfato como cofactor. Los principales microorganismos productores de esta AB son especies de bacterias como *Escherichia coli*, *Enterobacter cloacae*, *Citrobacter freundii*, *Proteus vulgaris*, y algunas especies de *Lactobacillus* y *Bacillus* [50, 52].

Su formación se da mayoritariamente en carnes y embutidos; aunque no se han establecido umbrales ni límites toxicológicos en alimentos, pero si se consumen niveles elevados en productos pesqueros (hasta 362 mg/kg, según la EFSA 2011) [17] y salchichas

fermentadas (619 mg/kg) se genera aumento de la presión arterial como síntoma primario [5, 12].

Concentraciones mayores a 0,79 mM de esta AB se han asociado con efectos citotóxicos *in vitro* en líneas de epitelio intestinal HT29 [12].

B-FENILETILAMINA

Se forma a partir del aminoácido fenilalanina, mediante la enzima L-aminoácido aromático descarboxilasa utilizando piridoxal fosfato como cofactor, es la segunda AB más abundante en la comida de mar [5]. Dentro de los microorganismos productores de esta AB podemos mencionar *Enterococcus*, *Lactobacillus curvatus*, *Staphylococcus* y algunas cepas de *S. carnosus*. En productos cárnicos fermentados como salchichas, se han descrito concentraciones hasta de 182 mg/kg y en productos de pescado hasta 180 mg/kg [17].

Altas concentraciones se asocian con efectos nocivos para la salud como migraña, vasoconstricción e hipertensión. Esta AB tiene la capacidad de reaccionar con sales de nitrato, formando nitritos a los cuales se les atribuye actividad cancerígena [5]. A su vez concentraciones mayores a 5 mM de esta amina se han asociado con efectos citotóxicos *in vitro* en líneas de epitelio intestinal HT29 [12].

PUTRESCINA

La putrescina se forma a partir de aminoácidos como la ornitina y la arginina por acción de las enzimas ornitina descarboxilasa y arginina descarboxilasa, respectivamente; ambas utilizando el piridoxal fosfato (PLP) como cofactor. Los principales microorganismos involucrados en su formación son las familias *Pseudomonadaceae*, *Shewanellaceae* y *Enterobacteriaceae*, y los géneros *Citrobacter*, *Klebsiella*, *Escherichia*, *Proteus*, *Salmonella* y *Shigella*; también bacterias ácido-lácticas, principalmente los *Lactobacillus* y *Staphylococcus* [50,52,61].

Se ha encontrado que concentraciones de 2000 mg/kg de esta AB, puede potenciar el efecto tóxico de la histamina [7, 8].

A bajas concentraciones (micromoleculares o incluso milimolares), lleva a cabo múltiples funciones fisiológicas, como la regulación del crecimiento, por el papel que desempeña en la división y diferenciación celular [61].

Un exceso de putrescina genera un crecimiento tumoral anormal y alteraciones en la cavidad bucal,

al acelerar la degeneración neoplásica debido al papel que desempeña en la proliferación celular. Esta reacciona con los nitritos, formando un compuesto nitroso pirrolidina heterocíclica que posee actividad cancerígena. También potencia la toxicidad derivada de un exceso de aminas heterocíclicas como la histamina y tiramina, las cuales, de igual forma, reaccionan con los nitratos, produciendo nitrosaminas cancerígenas [61, 62].

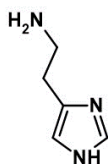
ESPERMINA Y ESPERMIDINA

Estas AB son producidas a partir del aminoácido ornitina. Para la formación de la espermina, la ornitina se convierte en putrescina mediante la acción de la enzima ornitina descarboxilasa, por lo cual, los microor-

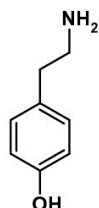
ganismos indirectamente relacionados con su formación son los reportados para la putrescina, como se describió previamente. La putrescina se convierte en espermidina mediante la acción de la enzima putrescina N-metiltransferasa, que añade un grupo metilo (-CH₃) a la molécula de putrescina. En el caso de la espermidina, se forma a partir de la putrescina mediante la acción de la enzima espermidina sintasa, que añade una molécula de aminobutil a la putrescina, formando así la AB [52].

Se ha encontrado efecto sinérgico de la espermina y espermidina a concentraciones de 600 mg/kg, junto con el nitrito, para producir nitrosaminas, sustancias relacionadas con efectos carcinogénicos y mutagénicos en humanos [5, 7, 51, 63].

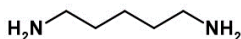
Histamina



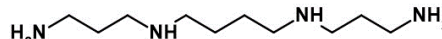
Tiramina



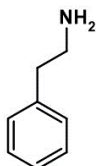
Cadaverina



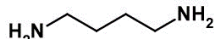
Espermina



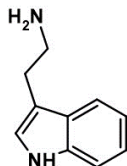
β-feniletanilamina



Putrescina



Triptamina



Espermidina

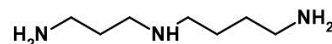


Figura 1. Principales aminas biógenas encontradas en carnes, pescados y productos cárnicos.

MECANISMOS PARA PREVENIR LA FORMACIÓN DE AMINAS BIÓGENAS

Existen estrategias para disminuir, eliminar o inhibir la formación de AB; dentro de éstas se encuentra la implementación de métodos físicos, que incluyen temperaturas de almacenamiento en frío, procesamiento

de alta presión hidrostática (HHP), procesos de envasado de alimentos y radiación gamma. También se hace uso de aditivos alimentarios (sorbitol, sorbato de potasio, ácido ascórbico y cloruro de sodio), compuestos bioactivos (fenólicos o terpenoides) y uso de cultivos iniciadores para la fermentación [7].

MÉTODOS FÍSICOS

Una medida para controlar el contenido de AB en carnes, pescados y productos cárnicos es por medio del uso de métodos físicos, éstos incluyen control de temperaturas, ajustes en el envasado, utilización de ozono gaseoso, métodos de alta presión e irradiación gamma, entre otros [8]. Se ha observado que la alta temperatura, puede acelerar la fermentación y la maduración, Tian y colaboradores en el año 2021, realizaron fermentación en dos etapas (20-10 C°) observando reducción significativa del contenido de nitrógeno básico volátil total, cadaverina, putrescina y AB totales e inhibición del crecimiento de microorganismos asociados a su formación como *Pseudomonas* y *Coliformes* mejorando el sabor y la seguridad de pescado (besugo fermentado) bajo en sal [64].

El uso del ozono gaseoso logró inactivación de microorganismos de la familia *Enterobacteriaceae* en pechuga de pavo [65].

El procesamiento de alta presión entre 300 y 500 MPa por 5 minutos en carne de res empacada con piel y refrigerada por 56 días redujo el crecimiento de bacterias, principalmente *Enterobacteriaceae* y bacterias ácido-lácticas descritas previamente como grandes productoras de AB, observando la inhibición en la formación de cadaverina, putrescina y tiramina [66].

Como se describe, la mayor parte de los métodos físicos mencionados se centran en el control de la reproducción e inactivación de los microorganismos productores de AB; sin embargo, éstos pueden tener limitaciones, por ejemplo, las AB naturalmente presentes en los alimentos no se pueden eliminar, la exposición a altas temperaturas puede afectar algunas características organolépticas del alimento, y el almacenamiento a temperaturas bajas por largos periodos de tiempo, requiere alto consumo de energía por parte de los equipos utilizados, lo que aumenta el costo de los productos e incluso algunas bacterias tienen capacidad para producir AB por debajo de la temperatura de refrigeración (<6°C) [8].

USO DE COMPUESTOS BIOACTIVOS

Los compuestos bioactivos, son compuestos químicos que se encuentran en alimentos de origen vegetal, a su vez pueden extraerse y purificarse a partir de estos, y algunos pueden obtenerse de forma sintética. En este grupo podemos mencionar algunos péptidos

y otros fitoquímicos como terpenos, entre ellos el estragol, fenilpropienoides como el eugenol y trans-anetol y polifenoles, encontrando en este un amplio grupo de compuestos bioactivos que incluye flavonoides, estilbenos y ácidos fenólicos, entre otros. Este tipo de compuestos han despertado interés, porque su consumo se ha asociado con efectos positivos para la salud, como efectos antioxidantes, antiinflamatorios, antimicrobianos, antitrombóticos y antitumorales [52], y su uso ha evidenciado potencial para la reducción de AB, principalmente por inhibición de poblaciones bacterianas responsables de su formación.

Los extractos de polifenoles de té adicionados a camarones congelados, por medio de inmersión en solución al 1% por 30 minutos, mostraron una reducción de la concentración de putrescina de 13,76 a 7,57 mg/kg [63]. En este mismo extracto de té, 300 mg/kg de polifenoles, redujo la cadaverina, espermina, tiramina, histamina y putrescina entre el 23 y el 71% en el tocino curado, al inhibir las poblaciones de *Enterobacteriaceae* en la maduración y el almacenamiento [39]. Esta información es consistente con reportes de inhibición del crecimiento de microorganismos de deterioro, como las *Pseudoalteromonas*, *Photobacterium*, *Psychrobacter* y *Carnobacterium*, logrando reducir la concentración de cadaverina e histamina, en camarones blancos del pacífico congelado por 6 días, a los que se les adicionó polifenoles de té [67].

Los extractos de lías de cava, subproducto vinícola, rico en compuestos fenólicos, al ser añadido a embutidos fermentados, redujo los niveles de cadaverina en un 21% y de putrescina en un 40% [68]. La adición de orujo de uva, derivado del procesamiento de uva, también rico en polifenoles, a concentraciones entre 2,5% y 7% redujo los niveles de tiramina en un 27,7%, asociado a una acción antimicrobiana [69].

Al sumergir filetes de salmón en 4 mg/ml de floritina (flavonoide) y almacenarlos por 3 días a 4°C, se redujeron los niveles de histamina, putrescina, cadaverina y tiramina entre un 10-16%, asociado a la inhibición de *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus* y *Bacillus subtilis* por parte del flavonoide [70].

La inclusión de complejos de ácido ferúlico en salchichas de carne de caballo ahumadas, disminuyó la formación de tiramina, por medio de inhibición de la tirosina descarboxilasa y la reducción de bacterias de la familia *Enterobacteriaceae* [71].

El uso de extracto de especias, principalmente casia e hinojo, en salchichas de cordero fermentadas secas, inhibió la triptamina, putrescina, espermidina, β -feniletilamina, tirosamina e histamina entre el 19 y el 28%. Los posibles mecanismos de acción varían según las moléculas que contienen, en este estudio su acción se relacionó con la presencia de terpenos como el estragol y fenilpropienoides (trans-anetol). Estos extractos son reconocidos como los inhibidores más efectivos de AB, los cuales pueden destruir la membrana celular, aumentar su permeabilidad, cambiar la proporción y la estructura de los ácidos grasos llevando así a la muerte de los microorganismos. Para la especia clavo, se reporta presencia del fenilpropienol eugenol que también presenta acción antimicrobiana frente a bacterias Gram positivas y Gram negativas, como *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes* y *Pseudomonas aeruginosa* [72, 73].

El uso de nisina, un péptido antibacteriano secretado por varias cepas de *Lactococcus lactis*, y el Gingerol, un compuesto activo presente en el jengibre usados en conjunto a una concentración de 2,5%, redujeron las AB de forma dependiente de la concentración de carga microbiana, en la carne de camello. El mecanismo del Gingerol no es claro, mientras la nisina se relaciona con su capacidad de unirse a lípidos claves para la síntesis de pared celular [74].

Aunque el uso de compuestos bioactivos es prometedor para la reducción de AB, también se pueden presentar limitaciones relacionadas con la estabilidad de dichos compuestos, como la posible degradación por efecto de factores como la temperatura, la luz, el pH, la actividad acuosa y las condiciones de almacenamiento [75].

CULTIVOS INICIADORES

Los cultivos iniciadores son bacterias que se pueden utilizar para la producción de productos cárnicos y de pescado fermentados, estos pueden reducir las AB, debido a que compiten por el crecimiento y supervivencia con las bacterias productoras de AB; estas bacterias utilizadas en los cultivos iniciadores producen compuestos que inhiben el crecimiento de las bacterias productoras de AB o contienen enzimas que las degradan [6 – 8], por lo que se convierten en una excelente estrategia para garantizar la calidad y seguridad de las carnes, productos cárnicos y fermentados, y

además, contribuyen con la mejora de las propiedades organolépticas [76, 77].

Para considerar el uso de un cultivo iniciador, las cepas deben tener buenas propiedades de fermentación, capacidad de producir ácido, tolerancia a sales (NaCl, nitrato y nitrito) y capacidad antibacteriana; además, se debe considerar si los cultivos iniciadores, reducen el contenido de AB, producido por los microorganismos, debido a que coexisten en el mismo ambiente [78, 79].

Dentro de los cultivos iniciadores utilizados en pescado y productos cárnicos para la reducción de AB, encontramos *Staphylococcus carnosus*, *Lactobacillus sakei*, *Enterococcus faecalis*, *Enterococcus thailandicus*, *Staphylococcus xylosum*, *Lactobacillus plantarum* y *Pediococcus pentosaceus* [9, 78, 80, 81]; y recientemente, se ha realizado estudio con la adición de *Staphylococcus saprophyticus* en pescado arenque blanco salado mostrando una inhibición de la proliferación de otros microorganismos, especialmente bacterias patógenas y de descomposición, responsables de la formación de AB [82].

Actualmente, también se están utilizando cultivos iniciadores combinados, conocidos como “cultivos iniciadores mixtos” [79], con resultados muy prometedores en la reducción de AB. Por ejemplo, se han utilizado *Lactobacillus sakei*, *Staphylococcus xylosum* y *Staphylococcus carnosus* en salchichas secas de cordero fermentadas, mostrando inhibición de los recuentos de bacterias de la familia *Enterobacteriaceae* y reducción significativa de AB como la histamina, cadaverina y putrescina, comparado con las salchichas control [64]. Resultados similares utilizando cultivos iniciadores mixtos, como *Staphylococcus*, *Macrococcus* y *Lactobacillus*, mostraron inhibición de *Enterococcus* y otros microorganismos en pescado tradicional chino fermentado [83].

Cultivos como *Staphylococcus equorum* en combinación con *Lactobacillus sakei* fueron usados para la elaboración de salchicha fermentada tradicional portuguesa, observando un efecto significativo en la reducción del pH y el contenido total de AB; para el caso específico de la histamina, este cultivo mixto redujo en un 70% en comparación con el grupo control [84].

También se han combinado cultivos como *Staphylococcus xylosum* y *Lactobacillus plantarum*, junto con envasado al vacío, en salchichas de cerdo secas fermentadas

durante 9 días, encontrando reducción de un 33,9% en la formación de AB, comparada con la salchicha control, tras 45 días de almacenamiento, efecto que se correlacionó con una disminución de las bacterias de la familia *Enterobacteriaceae*, reducción también observada por otros autores, quienes describen un efecto sinérgico entre el uso de cultivo iniciador mixto y el empacado al vacío, en la inhibición de la formación de AB [76].

En algunos casos, se han incorporado cultivos iniciadores y cepas probióticas logrando un efecto sinérgico, como la combinación de *Lactobacillus sakei*, *curvatus* y *plantarum* con cepas que inhiben la oxidación de aminas biógenas a aldehídos o amoníaco, tales como *Micrococcus varians*, *Natrinemagari* y *Brevibacterium linen* [1], a su vez se ha evidenciado como en la elaboración de salami fermentado, la sustitución de cultivos tradicionales como *Pediococcus pentosaceus* y *Staphylococcus xylosum* por cultivos probióticos como el *Enterococcus faecium*, controló las concentraciones de las AB putrescina, cadaverina, tiramina e histamina [49].

Asociado al uso de cultivos probióticos, Li y colaboradores, en el 2018, evaluaron la capacidad de formación y degradación de AB por el *Lactobacillus curvatus* en tocino chino, quienes encontraron que la adición de este cultivo probiótico presenta una alta capacidad de degradación de AB, principalmente histamina, tiramina, putrescina y cadaverina, con una eficiencia de eliminación por encima del 40% [85].

Conclusión

La histamina, tiramina, cadaverina, triptamina, β -feniletanilamina, putrescina, espermina y espermidina son las AB más comunes que se pueden producir en las carnes, pescado y productos cárnicos fermentados, estas se forman principalmente por descarboxilasas microbianas, y el consumo de altas concentraciones es un factor de riesgo para la salud humana, porque se generan intoxicaciones desde leves a severas, crisis hipertensivas y algunos estudios recientes, han reportado citotoxicidad *in vitro* e incluso formación de compuestos asociados con algunos tipos de cáncer. Pese a los efectos reportados para la salud, la concentración máxima permitida de estas AB no está

regulada, excepto para la histamina, lo que sugiere la necesidad de regulación para las demás AB.

Debido a los efectos provocados en la salud, los métodos de detección rápida están en auge, encontrando el HPLC como una de las técnicas más utilizadas, pero con algunas desventajas que abren caminos a tecnologías emergentes como el uso de electroquímica y biosensores. A su vez se hace necesario la utilización de estrategias para reducir la formación de AB, siendo los métodos físicos ampliamente utilizados. Otras estrategias han tomado fuerza como son el uso de compuestos bioactivos como péptidos, terpenos, fenilpropenoides y polifenoles. También como una excelente estrategia, se han incluido los cultivos iniciadores, individuales, mixtos o en combinación con probióticos mostrando una reducción significativa de las principales AB formadas.

Esta información es de gran utilidad para la industria alimentaria, biotecnológica y el área de salud pública porque sintetiza información sobre los microorganismos que participan en la formación de AB, se reportan concentraciones encontradas en las carnes, pescado y productos cárnicos frescos y fermentados, y se discuten las consecuencias que tiene su aumento para la salud humana, a su vez, abre las puertas al uso de diferentes estrategias, dentro de ellas el uso de cultivos iniciadores para su reducción e incluso la mejora de características organolépticas de estos alimentos de alto consumo y gran relevancia nutricional.

Financiación

Este trabajo fue financiado con recursos propios

Conflictos de interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

Referencias

1. **Wójcik W, Łukasiewicz-Mierzejewska M, Damaziak K, Bień D.** Biogenic Amines in Poultry Meat and Poultry Products: Formation, Appearance, and Methods of

- Reduction. *Animals*. 2022;12(12):1577. doi: 10.3390/ani12121577
2. **Fong FLY, El-Nezami H, Sze ETP.** Biogenic amines – Precursors of carcinogens in traditional Chinese fermented food. *NFS Journal*. 2021; 23:52-57. doi: 10.1016/j.nfs.2021.04.002
 3. **Dabadé DS, Jacxsens L, Miclotte L, Abatih E, Devlieghere F, De Meulenaer B.** Survey of multiple biogenic amines and correlation to microbiological quality and free amino acids in foods. *Food Control*. 2021; 120:107497. doi: 10.1016/j.foodcont.2020.107497
 4. **Zhang Y jia, Zhang Y, Zhou Y, Li G hui, Yang W zhen, Feng X song.** A review of pretreatment and analytical methods of biogenic amines in food and biological samples since 2010. *J Chromatogr A*. 2019;1605(360361):360361. doi: 10.1016/j.chroma.2019.07.015
 5. **Wójcik W, Łukaszewicz M, Puppel K.** Biogenic amines: formation, action and toxicity – a review. *J Sci Food Agric*. 2021;101(7):2634-2640. doi: 10.1002/jsfa.10928
 6. **Omer AK, Mohammed RR, Ameen PSM, Abas ZA, Ekici K.** Presence of Biogenic Amines in Food and Their Public Health Implications: A Review. *J Food Prot*. 2021;84(9):1539-1548. doi: 10.4315/JFP-21-047
 7. **Jaguey-Hernández Y, Aguilar-Arteaga K, Ojeda-Ramirez D, Añorve-Morga J, González-Olivares LG, Castañeda-Ovando A.** Biogenic amines levels in food processing: Efforts for their control in foodstuffs. *Food Research International*. 2021;144(110341):110341. doi: 10.1016/j.foodres.2021.110341
 8. **Gao X, Li C, He R, et al.** Research advances on biogenic amines in traditional fermented foods: Emphasis on formation mechanism, detection and control methods. *Food Chem*. 2023;405(134911):134911. doi: 10.1016/j.foodchem.2022.134911
 9. **Kim HS, Lee SY, Hur SJ.** Effects of different starter cultures on the biogenic amine concentrations, mutagenicity, oxidative stress, and neuroprotective activity of fermented sausages and their relationships. *J Funct Foods*. 2019; 52:424-429. doi: 10.1016/j.jff.2018.11.033
 10. **Gama MR, Rocha FRP.** Solventless separation of underivatized biogenic amines by sequential injection chromatography. *Microchemical Journal*. 2020;156(104839):104839. doi: 10.1016/j.microc.2020.104839
 11. **del Rio B, Redruello B, Linares DM, et al.** The biogenic amines putrescine and cadaverine show in vitro cytotoxicity at concentrations that can be found in foods. *Sci Rep*. 2019;9(1):120. doi: 10.1038/s41598-018-36239-w
 12. **del Rio B, Redruello B, Fernandez M, Martin MC, Ladero V, Alvarez MA.** The biogenic amine tryptamine, unlike β -phenylethylamine, shows in vitro cytotoxicity at concentrations that have been found in foods. *Food Chem*. 2020; 331:127303. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.127303
 13. **Kang CR, Kim YY, Lee JI, Joo HD, Jung SW, Cho SI.** An Outbreak of Scombroid Fish Poisoning Associated with Consumption of Yellowtail Fish in Seoul, Korea. *J Korean Med Sci*. 2018;33(38). doi: 10.3346/jkms.2018.33.e235
 14. **Velut G, Delon F, Mériquaud JP, et al.** Histamine food poisoning: a sudden, large outbreak linked to fresh yellowfin tuna from Reunion Island, France, April 2017. *Eurosurveillance*. 2019;24(22). doi: 10.2807/1560-7917.ES.2019.24.22.1800405
 15. **E.F.S.A.** The European Union One Health 2018 Zoonoses Report. *EFSA Journal*. 2019;17(12). doi: 10.2903/j.efs.2019.5926
 16. **Codex Alimentarius.** Programa conjunto de la FAO/OMS sobre normas alimentarias comité del Codex sobre pescado y productos pesqueros. In: Debate referente a la histamina. [Internet. https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?Ink=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FMeetings%252FCX-722-34%252FWD%252Ffp34_10s.pdf
 17. **Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA).** Scientific Opinion on risk based control of biogenic amine formation in fermented foods. *EFSA Journal*. 2011;9(10):2393. doi: 10.2903/j.efs.2011.2393
 18. **Ministerio de Salud y Protección Social.** Resolución 2674 de 2013. Establece Los Requisitos Sanitarios Que Deben Cumplir Las Personas Naturales o Jurídicas Que Ejercen Actividades de Fabricación, Procesamiento, Preparación, Envase, Almacenamiento, Transporte, Distribución y Comercialización de Alimentos y Materias Primas de Alimentos y Los Requisitos Para La Notificación, Permiso o Registro Sanitario de Los Alimentos y Materias Primas de Alimentos y Los Requisitos Para La Notificación, Permiso o Registro Sanitario, Según El Riesgo de Salud Pública. Accessed August 3, 2023. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-2674-de-2013.pdf>
 19. **Ministerio de Salud y Protección Social (Colombia).** Decreto 1500 de 2007. Establece el reglamento técnico a través del cual se crea el Sistema Oficial de Inspección, Vigilancia y Control de la carne, productos cárnicos y derivados cárnicos destinados para el consumo humano y los requisitos sanitarios y de inocuidad que se deben cumplir en su producción primaria, beneficio, desposte, desprese, procesamiento, almacenamiento, transporte, comercialización, expendio, importación o exportación. <https://corponarino.gov.co/expedientes/juridica/2007decreto1500.pdf>
 20. **Ministerio de Salud y Protección Social (Colombia).** Resolución 122 de 2012. Reglamento técnico sobre los requisitos fisicoquímicos y microbiológicos que deben cumplir los productos de la pesca, en

- particular pescados, moluscos y crustáceos para consumo humano. <https://www.suin-juriscal.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Resolucion/30033961>
21. **Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)**. Capítulo 29: Carne, pescado, huevos, leche y productos derivados [Internet. <https://www.fao.org/3/w0073s/w0073s0x.htm>
 22. **Triki M, Herrero A, Jiménez-Colmenero F, Ruiz-Capillas C**. Quality Assessment of Fresh Meat from Several Species Based on Free Amino Acid and Biogenic Amine Contents during Chilled Storage. *Foods*. 2018;7(9):132. doi: 10.3390/foods7090132
 23. **Liu Y, He Y, Li H, et al**. Biogenic amines detection in meat and meat products: the mechanisms, applications, and future trends. *Journal of Future Foods*. 2024;4(1):21-36. doi: 10.1016/j.jfutfo.2023.05.002
 24. **Papageorgiou M, Lambropoulou D, Morrison C, Kłodzińska E, Namieśnik J, Płotka-Wasyłka J**. Literature update of analytical methods for biogenic amines determination in food and beverages. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 2018;98:128-142. doi: 10.1016/j.trac.2017.11.001
 25. **Francisco KCA, Brandão PF, Ramos RM, Gonçalves LM, Cardoso AA, Rodrigues JA**. Salting-out assisted liquid-liquid extraction with dansyl chloride for the determination of biogenic amines in food. *Int J Food Sci Technol*. 2020;55(1):248-258. doi: 10.1111/ijfs.14300
 26. **Wu H, Li G, Liu S, et al**. Simultaneous Determination of Seven Biogenic Amines in Foodstuff Samples Using One-Step Fluorescence Labeling and Dispersive Liquid-Liquid Microextraction Followed by HPLC-FLD and Method Optimization Using Response Surface Methodology. *Food Anal Methods*. 2015;8(3):685-695. doi: 10.1007/s12161-014-9943-2
 27. **Li G, Dong L, Wang A, Wang W, Hu N, You J**. Simultaneous determination of biogenic amines and estrogens in foodstuff by an improved HPLC method combining with fluorescence labeling. *LWT - Food Science and Technology*. 2014;55(1):355-361. doi: 10.1016/j.lwt.2013.06.028
 28. **Saaid M, Saad B, Hashim NH, Mohamed Ali AS, Saleh MI**. Determination of biogenic amines in selected Malaysian food. *Food Chem*. 2009;113(4):1356-1362. doi: 10.1016/j.foodchem.2008.08.070
 29. **Huang J, Gan N, Lv F, Cao Y, Ou C, Tang H**. Environmentally friendly solid-phase microextraction coupled with gas chromatography and mass spectrometry for the determination of biogenic amines in fish samples. *J Sep Sci*. 2016;39(22):4384-4390. doi: 10.1002/jssc.201600893
 30. **Fu Q, Zheng H, Han X, Cao L, Sui J**. Development of a highly sensitive HPLC method for the simultaneous determination of eight biogenic amines in aquatic products. *Acta Chromatogr*. 2021;33(4):378-386. doi: 10.1556/1326.2020.00824
 31. **Chang Q, Zang X, Wu T, et al**. Use of Functionalized Covalent Organic Framework as Sorbent for the Solid-Phase Extraction of Biogenic Amines from Meat Samples Followed by High-Performance Liquid Chromatography. *Food Anal Methods*. 2019;12(1):1-11. doi: 10.1007/s12161-018-1324-9
 32. **Vasconcelos H, de Almeida JMMM, Matias A, Saraiva C, Jorge PAS, Coelho LCC**. Detection of biogenic amines in several foods with different sample treatments: An overview. *Trends Food Sci Technol*. 2021; 113:86-96. doi: 10.1016/j.tifs.2021.04.043
 33. **Ishimaru M, Muto Y, Nakayama A, Hatate H, Tanaka R**. Determination of Biogenic Amines in Fish Meat and Fermented Foods Using Column-Switching High-Performance Liquid Chromatography with Fluorescence Detection. *Food Anal Methods*. 2019;12(1):166-175. doi: 10.1007/s12161-018-1349-0
 34. **Jastrzębska A, Piasta A, Szyk E**. Application of ion chromatography for the determination of biogenic amines in food samples. *Journal of Analytical Chemistry*. 2015;70(9):1131-1138. doi: 10.1134/S1061934815070035
 35. **Tan A, Zhao Y, Sivashanmugan K, Squire K, Wang AX**. Quantitative TLC-SERS detection of histamine in seafood with support vector machine analysis. *Food Control*. 2019; 103:111-118. doi: 10.1016/j.foodcont.2019.03.032
 36. **Ruiz-Jiménez J, Luque de Castro MD**. Pervaporation as interface between solid samples and capillary electrophoresis. *J Chromatogr A*. 2006;1110(1-2):245-253. doi: 10.1016/j.chroma.2006.01.081
 37. **Jin YJ, Kwak G**. Detection of biogenic amines using a nitrated conjugated polymer. *Sens Actuators B Chem*. 2018; 271:183-188. doi: 10.1016/j.snb.2018.05.091
 38. **Lv R, Huang X, Dai C, Ye W, Tian X**. A rapid colorimetric sensing unit for histamine content of mackerel using azo reagent. *J Food Process Eng*. 2019;42(5). doi: 10.1111/jfpe.13099
 39. **Capoferri D, Álvarez-Diduk R, Del Carlo M, Compagnone D, Merkoçi A**. Electrochromic Molecular Imprinting Sensor for Visual and Smartphone-Based Detections. *Anal Chem*. 2018;90(9):5850-5856. doi: 10.1021/acs.analchem.8b00389
 40. **Ahangari H, Kurbanoglu S, Ehsani A, Uslu B**. Latest trends for biogenic amines detection in foods: Enzymatic biosensors and nanozymes applications. *Trends Food Sci Technol*. 2021; 112:75-87. doi: 10.1016/j.tifs.2021.03.037
 41. **Heerthana VR, Preetha R**. Biosensors: a potential tool for quality assurance and food safety pertaining to biogenic amines/volatile amines formation in aquaculture systems/products. *Rev Aquac*. 2019;11(1):220-233. doi: 10.1111/raq.12236
 42. **Qin Y, Ke W, Faheem A, Ye Y, Hu Y**. A rapid and naked-eye on-site monitoring of biogenic amines in foods

- spoilage. *Food Chem.* 2023; 404:134581. doi: 10.1016/j.foodchem.2022.134581
43. **Kashyap S, Tehri N, Verma N, Gahlaut A, Hooda V.** Recent advances in development of electrochemical biosensors for the detection of biogenic amines. *3 Bio-tech.* 2023;13(1):2. doi: 10.1007/s13205-022-03414-w
44. **Torre R, Costa-Rama E, Lopes P, Nouws HPA, De-lerue-Matos C.** Amperometric enzyme sensor for the rapid determination of histamine. *Analytical Methods.* 2019;11(9):1264-1269. doi: 10.1039/C8AY02610F
45. **Selim AS, Perry JM, Nasr MA, Pimprikar JM, Shih SCC.** A Synthetic Biosensor for Detecting Putrescine in Beef Samples. *ACS Appl Bio Mater.* 2022;5(11):5487-5496. doi: 10.1021/acsabm.2c00824
46. **Sanz-Vicente I, Rivero I, Marcuello L, Montano MP, de Marcos S, Galbán J.** Portable colorimetric enzymatic disposable biosensor for histamine and simultaneous histamine/tyramine determination using a smartphone. *Anal Bioanal Chem.* 2023;415(9):1777-1786. doi: 10.1007/s00216-023-04583-0
47. **Mercogliano R, Santonicola S.** Scombroid fish poisoning: Factors influencing the production of histamine in tuna supply chain. A review. *LWT.* 2019; 114:108374. doi: 10.1016/j.lwt.2019.108374
48. **Zhao Y, Wang Y, Li C, et al.** Novel insight into physico-chemical and flavor formation in naturally fermented tilapia sausage based on microbial metabolic network. *Food Research International.* 2021; 141:110122. doi: 10.1016/j.foodres.2021.110122
49. **Roselino MN, Maciel LF, Sirocchi V, et al.** Analysis of biogenic amines in probiotic and commercial salamis. *Journal of Food Composition and Analysis.* 2020; 94:103649. doi: 10.1016/j.jfca.2020.103649
50. **Schirone M, Esposito L, D'Onofrio F, et al.** Biogenic Amines in Meat and Meat Products: A Review of the Science and Future Perspectives. *Foods.* 2022;11(6):788. doi: 10.3390/foods11060788
51. **Durak-Dados A, Michalski M, Osek J.** Histamine and other biogenic amines in food. *J Vet Res.* 2020;64(2):281-288. doi: 10.2478/jvetres-2020-0029
52. **Tsafack PB, Tsopmo A.** Effects of bioactive molecules on the concentration of biogenic amines in foods and biological systems. *Heliyon.* 2022;8(9):e10456. doi: 10.1016/j.heliyon. 2022.e10456
53. **Arulkumar A,** Paramithiotis S, Paramasivam S. Biogenic amines in fresh fish and fishery products and emerging control. *Aquac Fish.* 2023;8(4):431-450. doi: 10.1016/j.aaf.2021.02.001
54. **Weremfo A, Eduafo MK, Gyimah HA, Abassah-Opong S.** Monitoring the Levels of Biogenic Amines in Canned Fish Products Marketed in Ghana. *J Food Qual.* 2020; 2020:1-6. doi: 10.1155/2020/2684235
55. **Munir MA, Inayatullah A, Badrul HA.** Fish Analysis Containing Biogenic Amines Using Gas Chromatography Equipped With Flame Ionization And Mass Spectrometer Detectors. *Science and Technology Indonesia.* 2021;6(1):1. doi: 10.26554/sti.2021.6.1.1-7
56. **Li W, Lu H, He Z, Sang Y, Sun J.** Quality characteristics and bacterial community of a Chinese salt-fermented shrimp paste. *LWT.* 2021; 136:110358. doi: 10.1016/j.lwt.2020.110358
57. **González MC, Díaz AC, Moncayo JG, Marín JA.** Intoxicación escombroides secundaria al consumo de atún: presentación de un caso. *Biomédica.* 2020;40(4):594-598. doi: 10.7705/biomedica.5283
58. **Álvarez-Rivero V, Cervantes-Zorrilla R, Cárdenas-Hernández ML, González-Chávez MA.** Escombroidosis. *Acta Médica Grupo Ángeles* marzo de 2018;16(1):63-65.
59. **del Río B, Redruello B, Martín MC, Fernández-García M, Ladero-Losada VM, Álvarez-González MA.** Cito-toxicidad y potencial genotóxico de la tiramina alimentaria: ¿qué sabemos hasta ahora? 13a Reunión RedBAL (2019). <https://digital.csic.es/handle/10261/208994>
60. **Yilmaz N, Özogul F, Moradi M, Fadiloglu EE, Šimat V, Rocha JM.** Reduction of biogenic amines formation by foodborne pathogens using postbiotics in lysine-decarboxylase broth. *J Biotechnol.* 2022; 358:118-127. doi: 10.1016/j.jbiotec.2022.09.003
61. **Ahmad W, Mohammed GI, Al-Eryani DA, et al.** Biogenic Amines Formation Mechanism and Determination Strategies: Future Challenges and Limitations. *Crit Rev Anal Chem.* 2020;50(6):485-500. doi: 10.1080/10408347.2019.1657793
62. **Danchuk AI, Komova NS, Mobarez SN, et al.** Optical sensors for determination of biogenic amines in food. *Anal Bioanal Chem.* 2020;412(17):4023-4036. doi: 10.1007/s00216-020-02675-9
63. **Feddern V, Mazzucco H, Fonseca FN, de Lima GJMM.** A review on biogenic amines in food and feed: toxicological aspects, impact on health and control measures. *Anim Prod Sci.* 2019;59(4):608. doi: 10.1071/AN18076
64. **Tian X, Gao P, Xu Y, Xia W, Jiang Q.** Reduction of biogenic amines accumulation with improved flavor of low-salt fermented bream (*Parabramis pekinensis*) by two-stage fermentation with different temperature. *Food Biosci.* 2021; 44:101438. doi: 10.1016/j.fbio.2021.101438
65. **Ayranci UG, Ozunlu O, Ergezer H, Karaca H.** Effects of Ozone Treatment on Microbiological Quality and Physicochemical Properties of Turkey Breast Meat. *Ozone Sci Eng.* 2020;42(1):95-103. doi: 10.1080/01919512.2019.1653168
66. **Chmiel M, Cegińska A, Świder O, et al.** Effect of high pressure processing on biogenic amines content in skin-packed beef during storage. *LWT.* 2023; 175:114483. doi: 10.1016/j.lwt.2023.114483
67. **Li Y, Lei Y, Tan Y, Zhang J, Hong H, Luo Y.** Efficacy of freeze-chilled storage combined with tea polyphenol

- for controlling melanosis, quality deterioration, and spoilage bacterial growth of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Food Chem.* 2022; 370:130924. doi: 10.1016/j.foodchem.2021.130924
- 68. Hernández-Macias S, Martín-García A, Ferrer-Bustins N, et al.** Inhibition of Biogenic Amines Formation in Fermented Foods by the Addition of Cava Lees. *Front Microbiol.* 2022;12(818565). doi: 10.3389/fmicb.2021.818565
- 69. Bennato F, Di Luca A, Martino C, et al.** Influence of Grape Pomace Intake on Nutritional Value, Lipid Oxidation and Volatile Profile of Poultry Meat. *Foods.* 2020;9(4):508. doi: 10.3390/foods9040508
- 70. Wang J, Fang J, Wei L, et al.** Decrease of microbial community diversity, biogenic amines formation, and lipid oxidation by phloretin in Atlantic salmon fillets. *LWT.* 2019; 101:419-426. doi: 10.1016/j.lwt.2018.11.039
- 71. Huang Y, Yu H, Lu S, et al.** Effect and mechanism of ferulic acid inclusion complexes on tyramine production by *Enterobacter hormaechei* MW386398 in smoked horsemeat sausages. *Food Biosci.* 2022; 46:101520. doi: 10.1016/j.fbio.2021.101520
- 72. Jia W, Zhang R, Shi L, Zhang F, Chang J, Chu X.** Effects of spices on the formation of biogenic amines during the fermentation of dry fermented mutton sausage. *Food Chem.* 2020; 321:126723. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.126723
- 73. Requena R, Vargas M, Chiralt A.** Eugenol and carvacrol migration from PHBV films and antibacterial action in different food matrices. *Food Chem.* 2019; 277:38-45. doi: 10.1016/j.foodchem.2018.10.093
- 74. Tang H, Darwish WS, El-Ghareeb WR, et al.** Microbial quality and formation of biogenic amines in the meat and edible offal of *Camelus dromedaries* with a protection trial using gingerol and nisin. *Food Sci Nutr.* 2020;8(4):2094-2101. doi: 10.1002/fsn3.1503
- 75. Houicher A, Bensid A, Regenstein JM, Özogul F.** Control of biogenic amine production and bacterial growth in fish and seafood products using phytochemicals as biopreservatives: A review. *Food Biosci.* 2021; 39:100807. doi: 10.1016/j.fbio.2020.100807
- 76. Sun Q, Sun F, Zheng D, Kong B, Liu Q.** Complex starter culture combined with vacuum packaging reduces biogenic amine formation and delays the quality deterioration of dry sausage during storage. *Food Control.* 2019; 100:58-66. doi: 10.1016/j.foodcont.2019.01.008
- 77. Li C, Zhao Y, Wang Y, et al.** Microbial community changes induced by *Pediococcus pentosaceus* improve the physicochemical properties and safety in fermented tilapia sausage. *Food Research International.* 2021; 147:110476. doi: 10.1016/j.foodres.2021.110476
- 78. Sun L, Guo W, Zhai Y, et al.** Screening and the ability of biogenic amine-degrading strains from traditional meat products in Inner Mongolia. *LWT.* 2023; 176:114533. doi: 10.1016/j.lwt.2023.114533
- 79. Wang D, Hu G, Wang H, et al.** Effect of Mixed Starters on Proteolysis and Formation of Biogenic Amines in Dry Fermented Mutton Sausages. *Foods.* 2021;10(12):2939. doi: 10.3390/foods10122939
- 80. Zhang Y, Zhang J, Lin X, Liang H, Zhang S, Ji C.** *Lactobacillus* strains inhibit biogenic amine formation in salted mackerel (*Scomberomorus niphonius*). *LWT.* 2022; 155:112851. doi: 10.1016/j.lwt.2021.112851
- 81. Ren H, Deng Y, Wang X.** Effect of a compound starter cultures inoculation on bacterial profile and biogenic amine accumulation in Chinese Sichuan sausages. *Food Science and Human Wellness.* 2022;11(2):341-348. doi: 10.1016/j.fshw.2021.11.009
- 82. Wu J, Mao H, Dai Z.** Role of Microorganisms in the Development of Quality during the Fermentation of Salted White Herring (*Ilisha elongata*). *Foods.* 2023;12(2):406. doi: 10.3390/foods12020406
- 83. Sun Y, Hua Q, Tian X, Xu Y, Gao P, Xia W.** Effect of starter cultures and spices on physicochemical properties and microbial communities of fermented fish (Suanyu) after fermentation and storage. *Food Research International.* 2022; 159:111631. doi: 10.1016/j.foodres.2022.111631
- 84. Dias I, Laranjo M, Potes ME, et al.** Autochthonous Starter Cultures Are Able to Reduce Biogenic Amines in a Traditional Portuguese Smoked Fermented Sausage. *Microorganisms.* 2020;8(5):686. doi: 10.3390/microorganisms8050686
- 85. Li L, Wen X, Wen Z, Chen S, Wang L, Wei X.** Evaluation of the Biogenic Amines Formation and Degradation Abilities of *Lactobacillus curvatus* From Chinese Bacon. *Front Microbiol.* 2018;9(1015). doi: 10.3389/fmicb.2018.01015