



CONTAMINANTES PRESENTES EN GRANOS Y PRODUCTOS DE CACAO (THEOBROMA CACAO L.) A NIVEL MUNDIAL, UNA REVISIÓN

CONTAMINANTS PRESENT IN COCOA (THEOBROMA CACAO L.) BEANS AND PRODUCTS WORLDWIDE, A REVIEW

*Wilmar Alexander Wilches-Ortiz¹
Yuly Paola Sandoval-Cáceres²
Ginna Natalia Cruz-Castiblanco³*

(Recibido/received: 25-octubre-2022; aceptado/accepted: 24-noviembre-2022)

RESUMEN: La Organización Mundial de la Salud [OMS] ha expresado su preocupación por la presencia de contaminantes en granos y productos de cacao, entre los que destacan los metales pesados y las micotoxinas. Debido a sus atributos potencialmente dañinos para la salud humana, se requieren medidas preventivas e intervencionistas apropiadas. Por lo tanto, el objetivo de este documento es sintetizar las últimas publicaciones relevantes de los contaminantes presentes en granos y productos de cacao a nivel mundial. Para tal fin, se realizó una revisión sistemática utilizando las bases de datos de la Universidad Nacional de Colombia mediante un análisis bibliométrico con dos componentes de búsqueda en inglés del 2012 al 2022 desglosado en metales pesados y micotoxinas en cacao. Adicionalmente se descargaron y analizaron las últimas bases de datos (2002 al 2016) de la plataforma colaborativa de inocuidad de los alimentos [FOSCOLLAB] de la OMS. Las principales investigaciones en contaminantes de cacao se presentaron en Brasil con múltiples contribuciones y a nivel mundial destacan manuscritos de cadmio [Cd], plomo [Pb], arsénico [As], aflatoxinas [AFs] y ocratoxina A [OTA]. El análisis de las bases de datos de la OMS permite resaltar que los contaminantes presentes en los productos de cacao son de gran importancia en la calidad y consumo del alimento, se encontró al Cd como uno de los principales contaminantes en el producto y se destaca la presencia de Pb en la región europea, así como un aumento en el consumo del producto para el 2030, lo que genera una brecha importante en la investigación para la reducción de contaminantes en cacao.

PALABRAS CLAVES: Alimento, chocolate, inocuidad, metales pesados, micotoxinas, seguridad alimentar

¹ Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Agrosavia. Centro de Investigación Tibaitatá, Mosquera, Cundinamarca, Colombia. wwilches@agrosavia.co. * Autor de correspondencia

² Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Agrosavia. Centro de Investigación Tibaitatá, Mosquera, Cundinamarca, Colombia ysandoval@agrosavia.co.

³ Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Agrosavia. Centro de Investigación Tibaitatá, Mosquera, Cundinamarca, Colombia gcruz@agrosavia.co.

ABSTRACT: The World Health Organization [WHO] has expressed concern about the presence of contaminants in cocoa beans and products, among which heavy metals and mycotoxins stand out. Due to its dangerous attributes for human health, appropriate preventive and interventional measures are required. Therefore, the objective of this document is to synthesize the latest relevant publications of the contaminants present in cocoa beans and products worldwide. For this purpose, a systematic review was carried out using the databases of the National University of Colombia through a bibliometric analysis with two search components in English from 2012 to 2022 broken down into heavy metals and mycotoxins in cocoa. Additionally, the latest databases (2002 to 2016) of the collaborative platform for food safety [FOSCOLLAB] of the WHO are downloaded and analyzed. The main research on cocoa contaminants was presented in Brazil with multiple contributions and at a global level, highlighting the manuscripts of cadmium [Cd], lead [Pb], arsenic [As], mercury [Hg], aflatoxins [AFs] and ochratoxin A [OTA]. The analysis of the WHO databases allows highlighting that the contaminants present in cocoa products are of great importance in the quality and consumption of the food, Cd was found as one of the main contaminants in the product and the presence of Pb in the European region, as well as an increase in the consumption of the product by 2030, which generates a significant gap in research for the reduction of contaminants in cocoa.

KEYWORDS: food, chocolate, safety, heavy metals, mycotoxins, food safety.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de cacao *Theobroma cacao* Linnaeus, 1753 (Malvaceae) se ha presentado históricamente en África occidental, América Central y del Sur y el sudeste de Asia. El 68% de la producción mundial de cacao proviene de África, mientras que Asia/Oceanía y América aportan 17 y 15 %, respectivamente y destacan los países de Costa de Marfil, Ghana, Indonesia, Ecuador y Camerún como los principales productores en el mundo (Beg et al., 2017). Anualmente se producen 4890 millones de toneladas de cacao en grano en todo el mundo (International Cocoa Organization, 2022). La calidad del chocolate está influenciada por los diversos factores ambientales, agronómicos y tecnológicos a los que se exponen los granos de cacao desde la apertura de la mazorca hasta el final del procesamiento industrial (Delgado-Ospina et al., 2022). Los alimentos se contaminan cada vez más con metales pesados y toxinas como resultado de las actividades industriales y todos estos elementos tóxicos generan inseguridad alimentaria (Abdel-Megeed, 2021). Es así que el consumo de productos a base de cacao es muy común en todo el mundo y los consumidores se han preocupado más por la calidad de los productos, la seguridad alimentaria, las prácticas sostenibles y el refinamiento del sabor (Amores et al., 2007). Se destaca que las diversas actividades humanas como la minería, la construcción, los pesticidas, los productos químicos y los efluentes industriales han contaminado el medio ambiente y la cadena alimentaria con diferentes metales pesados (Ayangbenro y Babalola, 2017). En productos de cacao se ha reportado la presencia de contaminantes inorgánicos como aluminio [Al], arsénico [As], cadmio [Cd], níquel [Ni], cromo [Cr] y plomo [Pb] (Villa et al., 2014). La exposición prolongada a elementos tóxicos como el Cd y el Pb puede provocar efectos adversos en el riñón, los huesos y el sistema neurológico, siendo los alimentos una de las principales fuentes de exposición a

estos contaminantes (Lippi, 2013). Adicionalmente existen las micotoxinas que son metabolitos fúngicos, de gran preocupación debido a su fuerte toxicidad, su carácter mutagénico, cancerígeno y otros efectos adversos, cabe resaltar que la principal contaminación de cultivos o alimentos por estas micotoxinas es a través del procesamiento y almacenamiento (Zoghi et al., 2021). Se ha reportado que casi el 30% de los cultivos agrícolas están contaminados por micotoxinas anualmente en el mundo (Eskola et al., 2020). Los granos de cacao y productos de chocolate han presentado micotoxinas y se están convirtiendo en un importante problema de salud pública y en particular, la OTA y las AFs son las micotoxinas más comunes en el cacao (Delgado-Ospina et al., 2021). Ante esta problemática de contaminantes mundiales en alimentos la Organización Mundial de la Salud [OMS], a través de su Departamento de Seguridad Alimentaria y Zoonosis (FOS, por sus siglas en inglés), desarrolló la plataforma colaborativa de inocuidad de los alimentos [FOSCOLLAB] para mejorar las formas de compartir datos e información sobre seguridad alimentaria y apoyar la evaluación de riesgos y la toma de decisiones en materia de inocuidad de los alimentos (World Health Organization, 2015). Convirtiéndose en una herramienta de apoyo para la consulta y análisis de los principales contaminantes presentes y el consumo mundial de alimentos. El objetivo del presente trabajo es el de sintetizar las últimas publicaciones relevantes de los contaminantes presentes en granos y productos de cacao a nivel mundial, además de analizar e identificar los principales contaminantes en granos de cacao de acuerdo con la información de las bases de datos de la plataforma colaborativa de inocuidad de los alimentos [FOSCOLLAB] de la OMS.

DESARROLLO

Para esta revisión se estableció como componente principal de búsqueda en el idioma Inglés de los contaminantes en cacao y las palabras clave relacionadas de metales pesados (cadmio, plomo, mercurio, arsénico) y micotoxinas (Aflatoxina, Ocratoxina). Para la búsqueda se utilizaron las bases de datos de la Biblioteca de la Universidad Nacional de Colombia [UN]. Se realizó un análisis bibliométrico con la herramienta Bibliometrix (Aria y Cuccurullo, 2017) del software estadístico R 4.2.1 (R Core Team, 2020) y la función Biblioshiny, permitiendo la importación de conjuntos de datos de fuentes bibliográficas de citación Web of Science [WoS], y otras bases como Pubmed y Dimensions (Taqi et al., 2021), las principales palabras clave obtenidas en la búsqueda correspondieron a términos en inglés de contaminantes en productos de cacao (Figura 1).



Figura 1. Palabras claves más encontradas en la búsqueda de contaminantes en granos y productos de cacao.

El análisis bibliométrico (Tabla 1), arrojó un total de 47 trabajos (38 artículos y 9 revisiones) de revistas como Foods, Toxins, Chemosphere, Environmental Science and Pollution Research, Food Additives and Contaminants Part A-chemistry Analysis Control Exposure & Risk Assessment, Food Control, Journal of Environmental Chemical Engineering, Molecules, Food chemistry que están incluidas dentro del buscador *Web of Science* (WoS) en el periodo de tiempo de 2012 al 2022. Los países donde más se publican artículos son Brasil, Alemania, Italia, Turquía, Estados Unidos, Colombia y Ghana, destacándose la mayor colaboración entre autores por parte de Brasil con Australia y con Colombia (Figura 2).

Tabla 1. Análisis bibliométrico de la revisión bibliográfica de contaminantes en productos de cacao.

Descripción	Resultados
Lapso	2012:2022
Fuentes (revistas, libros, etc)	38
Documentos	47
Promedio de años desde la publicación	3,47
Citas promedio por documentos	16,15
Citas promedio por año por documentos	3,931
Tipos de documentos	47
Artículo	38
Revisión	9
Autores	246
Apariciones de autor	260
Autores de documentos de un solo autor	1
Autores de documentos de múltiple autor	245



Figura 2. Geolocalización de la procedencia de artículos de las revistas seleccionadas por análisis bibliométrico.

Contaminantes en Cacao

Actualmente, existe la preocupación mundial acerca de la presencia de metales traza en los tejidos del cacao y, en consecuencia, en los productos de cacao, y sus efectos en la salud humana. Las investigaciones han revelado la acumulación de arsénico [As], bismuto [Bi], cromo [Cr], cadmio [Cd] y plomo [Pb] en granos y cáscaras de cacao, así como en sus productos derivados (Bertoldi et al., 2016). Además de los metales pesados, algunos hongos filamentosos pueden contaminar el cacao con micotoxinas. Este es el caso de la aflatoxina [AF] B1 que se asocia a *Aspergillus flavus* y *A. parasiticus*; y la ocratoxina A [OTA] comúnmente biosintetizada por *Aspergillus* sección *Nigri*, *Penicillium* spp. y *Aspergillus ochraceus*, la fumonisina producida por *Fusarium* spp., y finalmente la citrinina producida por *Penicillium citrinum* (Copetti et al., 2014). La presencia de micotoxinas en los granos de cacao y productos de chocolate se está convirtiendo en un importante problema de salud pública y en particular, la OTA y las AFs son las micotoxinas más comunes en los granos de cacao (Delgado-Ospina et al., 2021).

Contaminación por metales pesados

Anyimah-Ackah et al., (2019) mencionan que el procesamiento del cacao puede diluir o concentrar los niveles de arsénico, cadmio, plomo y mercurio, dependiendo de los factores de procesamiento que incluyen el tipo de producto, el método de procesamiento y las materias primas. Adicionalmente reportan que algunos productos exceden el nivel máximo de contaminantes de la Unión Europea y China y que pueden representar un riesgo de toxicidad de metales pesados que es mayor entre los niños en relación con los adultos bajo la misma exposición en productos a base de cacao y que se debe corregir las estimaciones de riesgo para la biodisponibilidad para reducir el nivel de riesgo estimado. Lo Dico et al., (2018) evaluaron las concentraciones de arsénico, antimonio, cadmio, cromo, plomo, selenio y vanadio en cacao en polvo y chocolate mediante espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente [ICP-MS], encontrando en el cacao en polvo concentraciones máximas de metales de $0,303 \pm 0,035$ mg.kg⁻¹ para cadmio, $1,228 \pm 0,146$ mg. kg⁻¹ para plomo y $0,094 \pm 0,013$ mg. kg⁻¹ para arsénico. En otro estudio de Romero-Estévez et al., (2019) examinaron las concentraciones de Cd, Ni y Pb en granos de cacao de nueve provincias ecuatorianas, encontrando que el Ni fue el elemento más abundante alcanzando concentraciones entre 1.462 y 8.528 mg.kg⁻¹ (\bar{x} 3.930 mg.kg⁻¹), seguido por Pb entre 0.502 y 1.966 mg.kg⁻¹ (\bar{x} 1.432 mg.kg⁻¹) y Cd entre 0.267 y 1,715 mg.kg⁻¹ (\bar{x} 0,753 mg.kg⁻¹).

El Cd es un metal traza no esencial, invasivo y altamente tóxico que se acumula fácilmente en las partes comestibles del cacao y plantea serios problemas de salud al ingerir productos de cacao que contienen este metal (Barraza et al., 2018). En las últimas décadas, la carga de Cd en los productos a base de cacao amenazó la seguridad alimentaria mundial, la salud humana y el futuro de las chocolaterías (Maddela et al., 2020). De Oliveira et al., (2021) cuantificaron mediante espectrometría de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente [ICP OES] los niveles de Cd y Pb en granos de cacao de tres regiones productoras de cacao del mundo, junto

con sus productos derivados (licor, cacao en polvo y mantequilla de cacao). Los autores encontraron altos niveles de Pb y Cd en granos de cacao de Brasil y Ecuador, respectivamente, los productos derivados obtenidos en el proceso mostraron niveles de Cd entre <0.0015 y 0.118 mg.kg^{-1} y Pb entre <0.022 y 0.136 mg.kg^{-1} . Adicionalmente los autores resaltan que la ingestión de chocolate producido a partir de granos contaminados puede contribuir a la exposición del consumidor a contaminantes inorgánicos, excediendo la ingesta mensual tolerable provisional [PTMI] de Cd para niños. Abt et al., (2018) investigaron los niveles de cadmio y plomo en el mercado estadounidense y sus hallazgos indican que el porcentaje de cacao en polvo en los productos de chocolate es directamente proporcional a sus niveles correspondientes de plomo y cadmio. En lo que coinciden (Villa et al., 2014) al encontrar una fuerte correlación positiva entre los niveles de plomo ($R^2 = 0,955$) y cadmio ($R^2 = 0,907$) y el contenido de cacao en el chocolate.

Existe una creciente preocupación mundial por el Cd, y esto lleva a catalogar al Cd como uno de los contaminantes prioritarios por parte de muchas organizaciones internacionales. Es así, que la UE, la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer [IARC] y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos [USEPA] han reconocido al Cd como metal cancerígeno de Categoría 1B (Grupo 1 y Clase B) (Barraza et al., 2018). Esto ha generado la necesidad de investigaciones relacionadas al Cd y su toxicidad, así como su mitigación y prevención. Han surgido diferentes estrategias de biorremediación para la inmovilización de los metales pesados, como el estudio desarrollado por Pérez Moncada et al., (2019) demostrando los efectos beneficiosos que tienen los hongos micorrízicos arbusculares [HMA] de los suelos cacaoteros colombianos para aliviar el estrés que presentan las plantas de *T. cacao* al translocar metales pesados como el cadmio. En este sentido también se han desarrollado estudios del papel de las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal [RPCV] resistentes al Cd en la minimización del Cd de las plantas (Sharma y Archana, 2016). Adicionalmente Maddela et al., (2020) destacan que el desarrollo de clones de cacao con una capacidad innata de absorber bajos niveles de Cd en los suelos, y la investigación de Cd-cacao en sitios específicos podría contribuir a limitar la transferencia trófica de Cd.

Contaminación por micotoxinas

Los hongos filamentosos pueden contaminar muchas etapas en el procesamiento de cacao, y las malas prácticas pueden tener una fuerte influencia en la calidad de los granos. Además de causar deterioro, los hongos filamentosos también pueden producir micotoxinas de aflatoxinas y ocratoxina A. (Copetti et al., 2014).

El primer informe sobre ocratoxina A [OTA] en granos de cacao fue publicado por (Walbeek, 1973). La OTA es un potente agente carcinogénico nefrotóxico y humano, se encuentra con frecuencia en productos agrícolas como cereales, café, granos de cacao, frutas secas, cervezas, moscas de uva y vinos. Se caracteriza por ser producida por varias cepas pertenecientes a especies de *Aspergillus* y *Penicillus* (Barghini et al., 2013). Existen países como Brasil que bajo sus estándares de calidad y seguridad alimentaria y por previa experiencia en café han desarrollado proyectos sobre “Micobiota del cacao: hongos y micotoxinas del árbol del cacao al

chocolate” (Taniwaki et al., 2019). En estudios de Ostry et al., (2015) determinaron la ocratoxina A en 1032 muestras de alimentos por cromatografía líquida de alto rendimiento con detección de fluorescencia, encontrando que el límite de cuantificación del método varió entre 0.01-0.2 g.kg^{-1} dependiendo de las matrices de alimentos. Se destaca que diferentes muestras no presentaron o no sobrepasaron los límites permitidos de presencia del contaminante, pero en la matriz de confitería (incluye productos de cacao) se obtuvo un límite de cuantificación [LOQ] OTA de 0,2 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ sobrepasando el rango límite establecido (0,0 – 1,78 $\mu\text{g.kg}^{-1}$).

Recientemente, Maciel et al., (2018) reportaron la contaminación de aflatoxina [AF] y ocratoxina [OTA] en 134 muestras de 13 clones de cacao cultivados en el sur de la Bahía de Brasil: 38% (rango entre < límite de detección [LOD] y 17.795 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) estaban contaminados con aflatoxinas, mientras que 18% con OTA en el rango de < LOD–274,90 $\mu\text{g.kg}^{-1}$. Pires et al., (2019) evaluaron la presencia AF y OTA por cromatografía líquida de alta resolución con detección de fluorescencia [HPLC-FLD] en 123 muestras de granos de cacao producidos en cinco estados brasileños, de las cuales cuatro muestras (3,3%) superaron el límite máximo de 10 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ establecido por la legislación brasileña para las AF totales. Con respecto a la contaminación por OTA ninguna de las muestras superó el límite máximo establecido y destacan la coexistencia de AF y OTA en el 4,9 % de las muestras.

La ocratoxina A es una barrera comercial y de salubridad, para superar esta amenaza, varias estrategias han sido emprendidas por países latinoamericanos como Brasil en donde la Comisión del Codex sobre Contaminantes de los Alimentos (CCCF) ha surgido como un foro para discutir con mayor transparencia los temas relacionados con las micotoxinas, centrándose en establecer niveles máximos y códigos de prácticas para algunos productos básicos y micotoxinas para garantizar el comercio justo y la seguridad alimentaria (Taniwaki et al., 2019).

Plataforma FOSCOLLAB de la OMS

Las evaluaciones de los contaminantes mundiales en los granos y productos alimenticios de cacao requieren acceso a datos mundiales, para dar frente a la inseguridad alimentaria. En este sentido la Organización Mundial de la Salud [OMS], a través de su Departamento de Seguridad Alimentaria y Zoonosis (FOS, por sus siglas en inglés), inició el proyecto llamado FOSCOLLAB para mejorar las formas de compartir datos e información sobre seguridad alimentaria y apoyar la evaluación de riesgos y la toma de decisiones en materia de inocuidad de los alimentos (World Health Organization, 2015).

Se consultaron y descargaron bases de datos de los contaminantes presentes en productos de cacao y su consumo mundial de la plataforma colaborativa de inocuidad de los alimentos FOSCOLLAB. Se realizó análisis exploratorio de los datos y la generación de series de tiempo y pronóstico del comportamiento de consumo de los años 2002 a 2016 con proyección a 2030 (Figura 3).

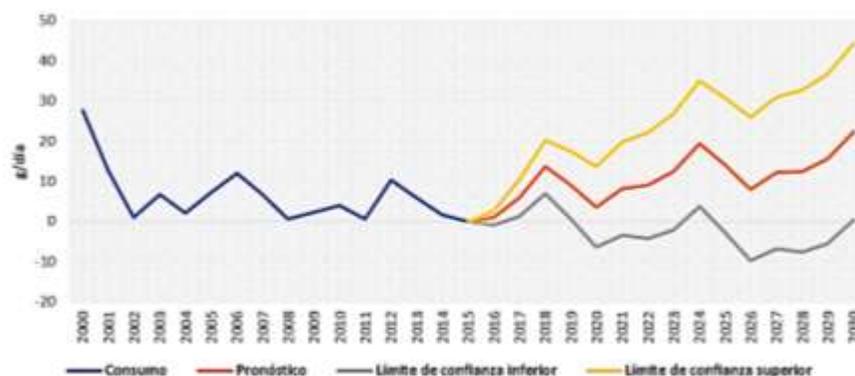


Figura 3. Serie de tiempo y pronóstico del consumo mundial de cacao. Fuente: el autor con datos de FOSCOLLAB (World Health Organization, 2022).

A partir de los datos de consumo de la plataforma FOSCOLLAB se logró realizar el pronóstico a 2030 (Figura 3) que indica un aumento de consumo coincidiendo con el informe del mercado global de cacao del Instituto Internacional para el Desarrollo Sostenible [IISD] que indica que el consumo per cápita de cacao está aumentando a nivel mundial (Voora et al., 2019). Los países con mayores contaminantes en cacao reportados al año según los datos del 2002 al 2016 son en orden la Región Europea de la OMS, Estados Unidos, Francia y Estonia (23470,1; 3776,1; 3591,6 y 376,8 $\mu\text{g.kg}^{-1}$, respectivamente). En la tabla 2 se observan los datos promedio anual en donde se evidencia que el cadmio se presentó en una mayor proporción en orden de importancia en los países de Estados Unidos, Francia, Región Europea de la OMS y Estonia (3776,14; 3580,86; 20851,7 y 375,50 $\mu\text{g.kg}^{-1}$), con respecto al plomo solo se presentó en la región europea de la OMS (2537,2 $\mu\text{g.kg}^{-1}$).

Tabla 2. Promedio anual LOQ de contaminantes en granos y productos de cacao en los diferentes países listados en plataforma de Datos OMS FOSCOLLAB del 2002-2016. Fuente: el autor con datos de FOSCOLLAB (World Health Organization, 2022).

País	LOQ ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)										
	Total registros	As	Cd	Pb	Hg	AF (total)	AF B1	AF B1 y B2	AF B2	AF G1	OTA
Alemania	70	91,14	32,93	0,00	0,00	0,57	2,21	0,57	0,00	0,00	173,0
Austria	17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	42,36
Canadá	450	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cuba	1	0,00	1,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Eslovaquia	3	0,00	3,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
España	5	0,00	48,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
E.E. U.U.	3	0,00	3776,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Estonia	62	0,00	375,50	0,00	0,00	0,00	1,29	0,00	0,00	0,00	0,00
Finlandia	23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,29	0,00	1,29	1,29	0,71
Francia	66	10,71	3580,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ghana	31	0,00	250,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hungría	1	1,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Región Europea de la OMS	368	42,14	20851,7	2537,2	0,00	3,50	30,07	0,00	2,64	2,86	0,00
República Checa	1	18,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	1101	164,0	28921,4	2537,2	0,00	4,07	34,86	0,57	3,93	4,14	216,1

El porcentaje relativo de presencia de contaminantes durante los años 2002 a 2016 de los datos de FOSCOLLAB evidencia una alta importancia del cadmio (90,7 %), seguido del plomo (8 %), la OTA (0,68 %) y el arsenico (0, 51 %) (Figura 4).

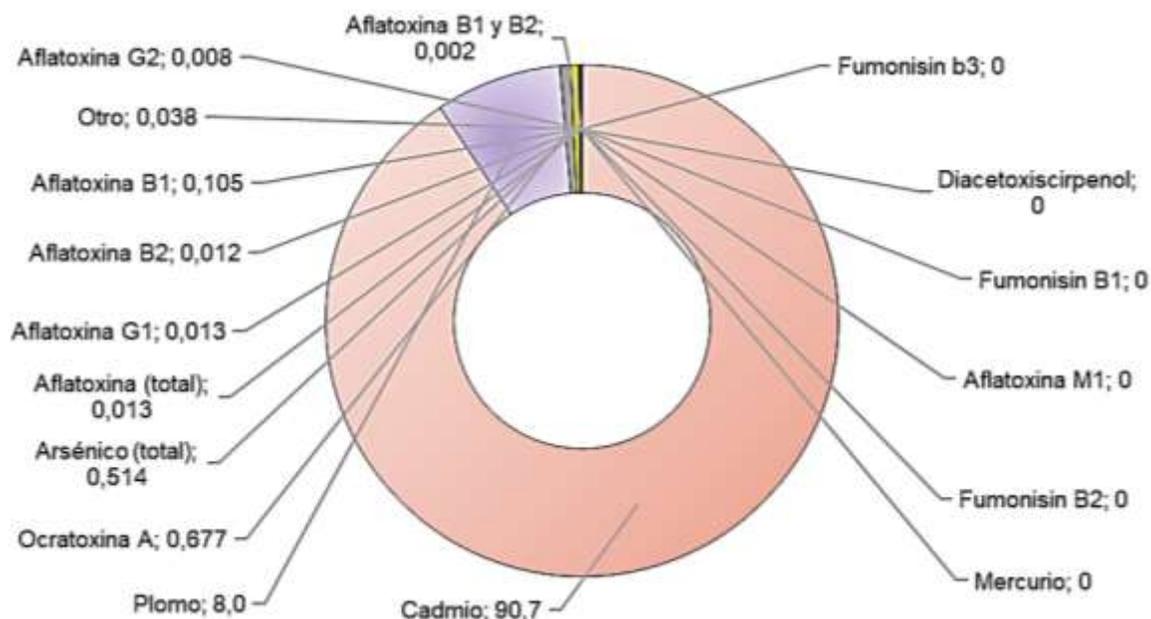


Figura 4. Porcentaje relativo mundial de contaminantes en productos de cacao periodo 2002-2016. Fuente: el autor con datos de FOSCOLLAB (World Health Organization, 2022).

En la figura 5 se puede observar el análisis de correspondencia de los contaminantes de cacao del 2002 al 2016 de acuerdo con los datos de FOSCOLLAB en donde se evidencia la alta afinidad del Cadmio con los países de Estados Unidos, Francia, Eslovaquia, España, Cuba y Ghana como contaminante principalmente en el año 2002. Se destaca que Alemania y Austria se relacionaron con la OTA y el Mercurio con mayor afinidad de los años 2010 y 2012.

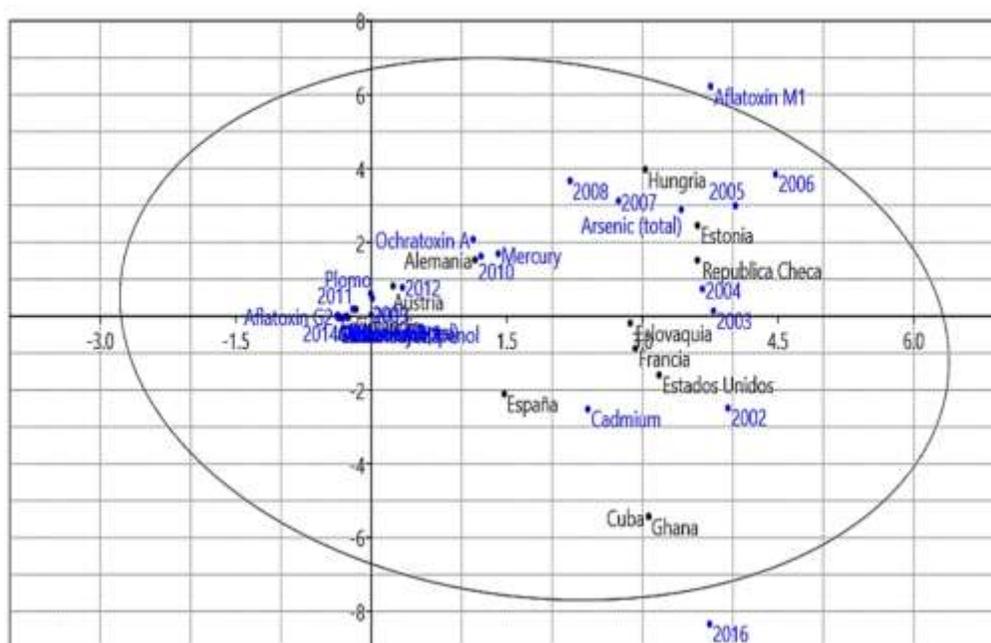


Figura 5. Análisis de correspondencia de contaminantes mundiales de cacao periodo 2002-2016. Fuente: el autor con datos de FOSCOLLAB (World Health Organization, 2022).

CONCLUSIONES

Esta revisión identifica que la presencia de Cd en el grano y productos de cacao es de alta importancia y frecuencia, por tanto, requiere atención urgente de investigación específica desde el manejo agronómico hasta el almacenamiento, procesamiento y transformación del grano. Se debe prevenir y mitigar las exposiciones crónicas a Cd, para evitar efectos graves en la salud.

De las micotoxinas que se desarrollan en los alimentos se destaca para el cacao la emergencia de la ocratoxina A, la cual ha tenido diferentes reportes y hace un llamado a enfrentar este contaminante en toda la cadena de valor del cacao y proteger la inocuidad del alimento.

Los contaminantes presentes en los productos de cacao son de gran importancia en la calidad y consumo del alimento, de acuerdo con los datos de la plataforma FOSCOLLAB se encontró al cadmio [Cd] como uno de los principales contaminantes en el producto y se destaca la presencia de plomo [Pb] en la región europea, así como un aumento en el consumo del producto para el 2030, lo que genera una brecha importante en la investigación para la reducción de contaminantes en cacao.

AGRADECIMIENTOS

A la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia), por la generación de espacios de conocimiento, investigación e innovación. A la biblioteca de la Universidad Nacional de Colombia – UNAL por el acceso a las bases de datos. A la Organización mundial de la salud (OMS) por el acceso libre a su plataforma colaborativa de inocuidad de los alimentos “FOSCOLLAB”.

REFERENCIAS

- Abdel-Megeed, R. M. (2021). Probiotics: a Promising Generation of Heavy Metal Detoxification. *Biological Trace Element Research*, 199(6), 2406–2413. <https://doi.org/10.1007/s12011-020-02350-1>
- Abt, E., Fong Sam, J., Patrick, G., & Posnick, L. (2018). Cadmium and lead in cocoa powder and chocolate products in the US Market. *Food Additives & Contaminants*, v. 11(2), 92-102–2018 v.11 no.2. <https://doi.org/10.1080/19393210.2017.1420700>
- Amores, F., Butler, D., Ramos, G., Sukha, D., Espín, S., Gómez, A., Zambrano, A., Hollywood, N., Van Loon, E., & Seguíne, E. (2007). Project to determine the physical, chemical and organoleptic parameters to differentiate between fine and bulk cocoa. Executive Committee - one hundred and thirty-fourth meeting EBRD Offices, London. *The International Cocoa Organization (ICCO)*.
- Anyimah-Ackah, E., Ofosu, I. W., Lutterodt, H. E., & Darko, G. (2019). Exposures and risks of arsenic, cadmium, lead, and mercury in cocoa beans and cocoa-based foods: a systematic review. *FOOD QUALITY AND SAFETY*, 3(1), 1–8. <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyy025> WE - Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED)
- Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959–975. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
- Ayangbenro, A. S., & Babalola, O. O. (2017). A New Strategy for Heavy Metal Polluted Environments: A Review of Microbial Biosorbents. In *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 14, Issue 1). <https://doi.org/10.3390/ijerph14010094>
- Barghini, P., Esti, M., Pasqualetti, M., Silvi, S., Aquilanti, A., & Fenice, M. (2013). Inhibition of the ochratoxin-A producer *Aspergillus carbonarius* on white and red grapes by crude cell-wall degrading enzymes from the antarctic fungus *Lecanicillium muscarium* CCFEE 5003. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 14(4), 1673–1679. <http://hdl.handle.net/2067/35227>
- Barraza, F., Maurice, L., Uzu, G., Becerra, S., López, F., Ochoa-Herrera, V., Ruales, J., & Schreck, E. (2018). Distribution, contents and health risk assessment of metal(loid)s in small-scale farms in the Ecuadorian Amazon: An insight into impacts of oil activities. *The Science of the Total Environment*, 622–623, 106–120. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.246>
- Beg, M. S., Ahmad, S., Jan, K., & Bashir, K. (2017). Status, supply chain and processing of cocoa - A review. *Trends in Food Science & Technology*, 66, 108–116.

- <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.06.007>
- Bertoldi, D., Barbero, A., Camin, F., Caligiani, A., & Larcher, R. (2016). Multielemental fingerprinting and geographic traceability of Theobroma cacao beans and cocoa products. *Food Control*, 65, 46–53. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.01.013>
- Copetti, M. V., Iamanaka, B. T., Pitt, J. I., & Taniwaki, M. H. (2014). Fungi and mycotoxins in cocoa: From farm to chocolate. *International Journal of Food Microbiology*, 178, 13–20. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2014.02.023>
- De Oliveira, A. P. F., Milani, R. F., Efraim, P., Morgano, M. A., & Tfouni, S. A. V. (2021). Cd and Pb in cocoa beans: Occurrence and effects of chocolate processing. *Food Control*, 119. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107455>
- Delgado-Ospina, J., Molina-Hernández, J. B., Chaves-López, C., Romanazzi, G., & Paparella, A. (2021). The Role of Fungi in the Cocoa Production Chain and the Challenge of Climate Change. In *Journal of Fungi* (Vol. 7, Issue 3). <https://doi.org/10.3390/jof7030202>
- Delgado-Ospina, J., Molina-Hernandez, J. B., Viteritti, E., Maggio, F., Fernández-Daza, F. F., Sciarra, P., Serio, A., Rossi, C., Paparella, A., & Chaves-López, C. (2022). Advances in understanding the enzymatic potential and production of ochratoxin A of filamentous fungi isolated from cocoa fermented beans. *Food Microbiology*, 104, 103990. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fm.2022.103990>
- Eskola, M., Kos, G., Elliott, C. T., Hajšlová, J., Mayar, S., & Krska, R. (2020). Worldwide contamination of food-crops with mycotoxins: Validity of the widely cited 'FAO estimate' of 25%. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(16), 2773–2789. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1658570>
- International Cocoa Organization, I. (2022). *Quarterly bulletin of cocoa statistics*. International Cocoa Organization ICCO. vol. XLV, No. 4, Cocoa year 2021/22. <https://www.icco.org/statistics/#production>
- Lippi, D. (2013). Chocolate in History: Food, Medicine, Medi-Food. In *Nutrients* (Vol. 5, Issue 5, pp. 1573–1584). <https://doi.org/10.3390/nu5051573>
- Lo Dico, G. M., Galvano, F., Dugo, G., D'ascenzi, C., Macaluso, A., Vella, A., Giangrosso, G., Cammilleri, G., & Ferrantelli, V. (2018). Toxic metal levels in cocoa powder and chocolate by ICP-MS method after microwave-assisted digestion. *Food Chemistry*, 245, 1163–1168. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.052>
- Maciel, L. F., Felício, A. L. de S. M., Miranda, L. C. R., Pires, T. C., Bispo, E. da S., & Hirooka, E. Y. (2018). Aflatoxins and ochratoxin A in different cocoa clones (*Theobroma cacao* L.) developed in the southern region of Bahia, Brazil. *Food Additives & Contaminants. Part A, Chemistry, Analysis, Control, Exposure & Risk Assessment*, 35(1), 134–143. <https://doi.org/10.1080/19440049.2017.1397293>
- Maddela, N. R., Kakarla, D., García, L. C., Chakraborty, S., Venkateswarlu, K., & Megharaj, M. (2020). Cocoa-laden cadmium threatens human health and cacao economy: A critical view. *Science of The Total Environment*, 720, 137645. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137645>
- Ostry, V., Malir, F., Dofkova, M., Skarkova, J., Pfohl-Leskowicz, A., & Ruprich, J. (2015). Ochratoxin A Dietary Exposure of Ten Population Groups in the Czech Republic: Comparison with Data over the World. *Toxins*, 7(9), 3608–3635. <https://doi.org/10.3390/toxins7093608>

- Pérez Moncada, U. A., Gómez, M. R., Serralde Ordoñez, D. P., Peñaranda Rolón, A. M., Wilches Ortiz, W. A., Ramírez, L., & Rengifo Estrada, G. A. (2019). Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) as a strategy to reduce the absorption of cadmium in cocoa (*Theobroma cacao*) plants. *Terra Latinoamericana*, 37(2), 121–130. <https://doi.org/10.28940/terra.v37i2.479>
- Pires, P. N., Vargas, E. A., Gomes, M. B., Vieira, C. B. M., Santos, E. A. Dos, Bicalho, A. A. C., Silva, S. de C., Rezende, R. P., Oliveira, I. S. De, Luz, E. D. M. N., & Trovatti Uetanabaro, A. P. (2019). Aflatoxins and ochratoxin A: occurrence and contamination levels in cocoa beans from Brazil. *Food Additives & Contaminants. Part A, Chemistry, Analysis, Control, Exposure & Risk Assessment*, 36(5), 815–824. <https://doi.org/10.1080/19440049.2019.1600749>
- R Core Team. (2020). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>
- Romero-Estévez, D., Yáñez-Jácome, G. S., Simbaña-Farinango, K., & Navarrete, H. (2019). Content and the relationship between cadmium, nickel, and lead concentrations in Ecuadorian cocoa beans from nine provinces. *Food Control*, v. 106, 106750--2019 v.106. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.106750>
- Sharma, R. K., & Archana, G. (2016). Cadmium minimization in food crops by cadmium resistant plant growth promoting rhizobacteria. *Applied Soil Ecology*, 107, 66–78. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2016.05.009>
- Taniwaki, M. H., Pitt, J. I., Copetti, M. V, Teixeira, A. A., & Iamanaka, B. T. (2019). Understanding Mycotoxin Contamination Across the Food Chain in Brazil: Challenges and Opportunities. *TOXINS*, 11(7). <https://doi.org/10.3390/toxins11070411> WE - Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED)
- Taqi, M., Rusydiana, A. S., Kustiningsih, N., & Firmansyah, I. (2021). Environmental accounting: A scientometric using biblioshiny. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 11(3), 369–380. <https://doi.org/10.32479/ijeep.10986>
- Van Walbeek, W. (1973). Fungal toxins in foods. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 6(2), 96–105.
- Villa, J., Peixoto, R., & Cadore, S. (2014). Cadmium and Lead in Chocolates Commercialized in Brazil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 62(34), 8759-8763--2014 v.62 no.34. <https://doi.org/10.1021/jf5026604>
- Voora, V., Bermúdez, S., & Larrea, C. (2019). Global Market Report: cocoa. In *Winnipeg, MB, Canada: International Institute for Sustainable Development*. <https://www.iisd.org/system/files/publications/ssi-global-market-report-cocoa.pdf>
- World Health Organization. (2015). *Guidance document for the integration of data in foscollab (No. WHO/HSE/FOS/2015.2)*. World Health Organization - WHO. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/336306/WHO-HSE-FOS-2015.2-eng.pdf>
- World Health Organization. (2022). *Food Safety Collaborative Platform FOSCOLLAB*. World Health Organization - WHO. <https://apps.who.int/foscollab/Dashboard/RawData>
- Zoghi, A., _Darani, K. K., & Hekmatdoost, A. (2021). Effects of Pretreatments on Patulin Removal from Apple Juices Using Lactobacilli: Binding Stability in Simulated Gastrointestinal Condition and Modeling. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 13(1), 135–145. <https://doi.org/10.1007/s12602-020-09666-3>

SEMBLAZA DE LOS AUTORES

Wilmar Alexander Wilches Ortiz: Ingeniero agrónomo de la Universidad de Cundinamarca, con maestrías en cambio climático de la Universidad Internacional Iberoamericana de Puerto Rico, en Seguridad Alimentaria de la Universidad Abierta y a Distancia de México - UnADM y en Biotecnología Alimentaria de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD. Actualmente se desempeña en investigación de fuentes microbiológicas de tolerancia a enfermedades en cultivo de uchuva, inmovilización de Cd en cacao y de Cd y As en arroz, biofertilización en cultivos de caña, cacao, tomate, papa, uchuva, mora y caucho. Actualmente se desempeña como profesional de apoyo a la investigación en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia). <https://orcid.org/0000-0002-2905-3347>



Yuly Paola Sandoval Cáceres: Ingeniera agrónoma de la Universidad de Cundinamarca, Máster en Ciencias Agrarias, línea de investigación en Entomología, de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. Sus investigaciones se han centrado en las áreas de la entomología con énfasis en la identificación de insectos nocivos, ecología química y cría de insectos. Actualmente se desempeña como profesional de apoyo a la investigación en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia). <https://orcid.org/0000-0003-4529-4068>



Ginna Natalia Cruz Castiblanco: Ingeniera agrónoma de la Universidad de Cundinamarca, Especialista y Máster en estadística aplicada, de la Universidad Santo Tomás. Sus investigaciones se han centrado en las áreas de fitopatología, entomología y estadística, con énfasis en el desarrollo de metodologías para evaluar el comportamiento de plagas, enfermedades y los factores bióticos y abióticos que favorecen su prevalencia. Durante su trayectoria, ha diseñado y validado métodos de control en campo en sistemas productivos de aguacate, cacao, mango, papa y pasifloras (gulupa y granadilla). Actualmente se desempeña como profesional de apoyo a la investigación en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia). <https://orcid.org/0000-0003-2355-4914>

