

**Análisis de la incidencia de ocratoxina A en cacao (*Theobroma Cacao*):  
un estudio de riesgos toxicológicos en Colombia**

Valentina Camacho Noreña

María Ximena Morales González

Directora

Karen Vanessa Marimon Sibaja

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería - ECBTI

Ingeniería de alimentos

2026

## **Dedicatoria**

A nuestras madres, por su amor incondicional y su paciencia en nosotras. Por ser ese ejemplo de valentía y entrega que nos enseñó a no rendirnos ante las dificultades y a creer siempre en nosotras.

A nuestros padres, por su esfuerzo incansable, su sabiduría y sus enseñanzas, que han sido nuestro punto de aterrizaje en los momentos de duda. Por mostrarnos que el trabajo honesto y la perseverancia son la base de todo buen logro.

Este proyecto es un reflejo de su amor, de sus sacrificios y de las lecciones que sembraron en nosotras.

## Agradecimientos

Gracias infinitas a Dios, primero que todo, su guía constante nos permitió superar los desafíos en cada etapa de este proceso académico.

A nuestros padres, que, con su apoyo constante y su amor incondicional, nos ayudaron a avanzar con determinación incluso en los momentos de mayor dificultad. A ellos debemos no solo este logro, sino también la formación en valores que ha guiado nuestro camino.

A la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), nuestra alma máter, por brindarnos las herramientas necesarias que hicieron posible nuestra formación profesional como ingenieras.

Expresamos también nuestra gratitud al Doctor Diego Alberto Marín Idárraga, quien, con su paciencia y conocimiento, nos orientó de manera constante durante el desarrollo de esta investigación.

A los productores cacaoeros de nuestro país, su esfuerzo inspira investigaciones como la nuestra, orientadas a mejorar la inocuidad, calidad y competitividad del cacao colombiano, contribuyendo así al desarrollo rural y a la valorización de uno de los productos más emblemáticos de nuestra tierra.

Finalmente, y de manera particular, yo **Valentina Camacho Noreña**, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi madre, Adriana Noreña Tobón, por acompañarme incondicionalmente en cada etapa de mi vida y ser un pilar fundamental en mi formación. A mi suegra, Miriam de Jesús Gallego, por su apoyo constante. A mi esposo, Jhon Edison Grajales, por motivarme y alentarme a continuar aun en los momentos más desafiantes. Y a mi amada hija, Alma Grajales Camacho, por ser mi fuerza, mi inspiración y el motor que me impulsó a finalizar esta etapa tan importante.

## Resumen

La presente investigación analizó la incidencia de la micotoxina Ocratoxina A (quien se denominó OTA) en el cacao (*Theobroma cacao*), con el propósito de identificar sus riesgos toxicológicos, los factores de contaminación presentes a lo largo de la cadena productiva y las estrategias de mitigación aplicables al contexto colombiano, utilizando como referentes otros países productores. El trabajo se basó en un análisis cuantitativo de publicaciones indexadas en la base de datos Scopus, correspondientes al período 2015–2025. Allí se evidenció que la normativa nacional con los estándares internacionales de inocuidad, junto con el impulso a la investigación científica aplicada y la articulación entre academia, gremios y productores, son acciones clave para reducir la presencia de OTA en cacao. Del mismo modo, se destacó la relevancia económica, social y cultural de este cultivo, considerado un eje estratégico para el desarrollo rural sostenible y la seguridad alimentaria en Colombia.

**Palabras clave:** cacao, OTA, micotoxinas, inocuidad alimentaria, BPA.

## Abstract

This paper analyzed the incidence of the mycotoxin Ochratoxin A (OTA) in cocoa (*Theobroma cacao*), with the aim of identifying its toxicological risks, the contamination factors present throughout the production chain, and the mitigation strategies applicable to the Colombian context. The research was based on an investigation review by a scientometric analysis of publications indexed in the Scopus database for the period 2015–2025. The research showed that national regulations with international safety standards, together with promoting applied scientific research and coordination between academia, trade associations, and producers, are key actions for reducing the presence of OTA in cocoa. Similarly, the economic, social, and cultural relevance of this crop was highlighted, as it is considered a strategic axis for sustainable rural development and food security in Colombia.

**Keywords:** cocoa, OTA, mycotoxins, food safety, BPA.

## Tabla de Contenido

Introducción .....	11
Justificación.....	14
Objetivos .....	16
Objetivo General.....	16
Objetivos Específicos .....	16
Antecedentes .....	17
Situación del cacao en el mundo.....	17
Situación del cacao en Colombia.....	19
Marco conceptual.....	22
Marco teórico .....	25
<i>Factores de Contaminación en Cacao</i> .....	25
<i>Impacto toxicológico de la OTA en humanos</i> .....	26
Marco normativo nacional e internacional sobre la OTA .....	26
<i>Estrategias de mitigación de OTA</i> .....	28
Materiales y métodos.....	29
Fuente de información.....	29
Procesamiento y análisis de la información .....	30
Variables de análisis.....	30

Investigaciones Relacionadas sobre OTA en Cacao .....	31
Factores Asociados .....	31
<i>Condiciones climáticas y estado fitosanitario del cacao</i> .....	33
<i>Prácticas de cosecha y tiempo de apertura de las vainas (fruto del cacao)</i> .....	34
<i>Fermentación: infraestructura, duración y manejo</i> .....	35
<i>Secado: plataforma, condiciones ambientales y velocidad</i> .....	36
<i>Almacenamiento y transporte</i> .....	37
<i>Procesamiento industrial y productos derivados</i> .....	38
<i>Microflora fúngica, competencia microbiana y biocontrol</i> .....	38
Factores socioeconómicos y gestión de calidad.....	39
Análisis cuantitativo de la incidencia de OTA en cacao .....	41
Distribución geográfica y colaboración internacional.....	41
Enfoques metodológicos predominantes.....	43
Estudios de vigilancia y monitoreo de OTA en grano.....	43
Ensayos sobre postcosecha, fermentación y secado .....	45
Meta-análisis global: niveles promedio y patrones de incidencia .....	48
Resultados de la investigación .....	50
Conclusiones.....	54
Recomendaciones .....	57
Referencias Bibliográficas .....	59

## Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> <i>Cacao infectado con OTA</i> .....	12
<b>Figura 2</b> <i>Principales productores e importadores de cacao</i> .....	18
<b>Figura 3</b> <i>Incremento de la producción de cacao a nivel nacional</i> .....	19
<b>Figura 4</b> <i>Cadena de Ocratoxina A</i> .....	23
<b>Figura 5</b> <i>Cacao con infección fúngica asociada a condiciones de alta humedad y manejo sanitario deficiente</i> .....	33
<b>Figura 6</b> <i>Estructura y composición de una mazorca de cacao</i> .....	34
<b>Figura 7</b> <i>Cacao en grano fermentado y fresco en la caja de madera.</i> .....	36
<b>Figura 8</b> <i>Proceso de secado del cacao.</i> .....	37
<b>Figura 9</b> <i>Prevalencia de muestras positivas a OTA en estudios sobre cacao</i> .....	42
<b>Figura 10</b> <i>Concentración media de OTA en cacao y derivados por región.</i> .....	43
<b>Figura 11</b> <i>Efecto del tiempo entre cosecha y apertura de la vaina sobre la concentración de OTA en cacao</i> .....	45
<b>Figura 12</b> <i>Concentración media de OTA en granos de cacao según el material utilizado para la fermentación</i> .....	46
<b>Figura 13</b> <i>Muestra de la nuez de cola antes de ser pulverizada.</i> .....	47
<b>Figura 14</b> <i>Reducción de la concentración de OTA en granos de cacao mediante tratamientos no invasivos.</i> .....	47
<b>Figura 15</b> <i>Evolución de la concentración media de OTA en cacao y productos derivados entre 2018 y 2022.</i> .....	48
<b>Figura 16</b> <i>Comparación de la concentración media de OTA en función del método analítico utilizado.</i> .....	49

**Lista de Tablas**

<b>Tabla 1</b> <i>Mayores productores de cacao.</i> .....	17
<b>Tabla 2</b> <i>Principales departamentos productores de cacao</i> .....	20
<b>Tabla 3</b> <i>Porcentaje de prevalencia de OTA.</i> .....	31
<b>Tabla 4</b> <i>Factores críticos de incidencia de OTA.</i> .....	32

**Apéndices**

<b>Apéndice A</b> <i>Caracterización de la cadena</i> .....	66
<b>Apéndice B</b> <i>Registro de producción</i> .....	67
<b>Apéndice C</b> <i>Resolución 4506 del 2013</i> .....	68
<b>Apéndice D</b> <i>Producción nacional</i> .....	69

## Introducción

El cacao (*Theobroma cacao*) a nivel mundial representa un renglón importante en la dinámica de la productividad de alimentos, tanto por su papel en la industria alimentaria (por ejemplo, en la producción de chocolate), como por su impacto social y económico en los países productores. De acuerdo con la Organización Internacional del Cacao (quién en adelante se denominará ICCO), más de 5 millones de familias en regiones tropicales dependen directamente de este cultivo para su sustento, siendo África Occidental el principal proveedor con alrededor del 70% de la producción global. Sin embargo, Voora et al., (2022) cita en su artículo que América Latina ocupa un papel fundamental por la calidad de sus granos finos de aroma, altamente valorados en los mercados internacionales.

En el contexto nacional, el cacao colombiano se ha consolidado como un producto estratégico dentro del sector agropecuario. Según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (quién en adelante se denominará DANE) y el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, este subsector aporta cerca del 0,6 % del PIB agropecuario y genera más de 167.000 empleos directos e indirectos, principalmente en zonas rurales (Ver el Apéndice A). Además, Colombia es reconocida internacionalmente por producir cacao de alta calidad, con más del 90% clasificado como fino de aroma, lo que representa una ventaja competitiva frente a otros países productores. (SIOC et al, n.d.)

No obstante, la inocuidad y la competitividad de este cultivo enfrentan múltiples desafíos. En Colombia, según Agronet, se registró una producción récord de 70.205 toneladas de grano seco en el año cacaotero 2020-2021, lo que supuso un crecimiento del 9,2 % respecto al año anterior (Ver el Apéndice B). Además, la Federación Nacional de Cacaoteros (quién se denominará en adelante FEDECACAO et al., (2024) estimó una cifra histórica de más de 73.000

toneladas incluyendo contrabando. Y en términos de familias productoras, según la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (quién se denominará en adelante UPRA) y el DANE, en 2020 había aproximadamente 65.341 familias cacaoteras en el país.

Dentro de los retos de cuidado y conservación, cabe destacar la contaminación por micotoxinas como la Ocratoxina A (quién se denominará en adelante OTA), producida por hongos de los géneros *Aspergillus* y *Penicillium*, que se pueden proliferar fácilmente en condiciones de humedad, secado deficiente y almacenamiento incorrecto (cómo se puede observar en la Figura 1), y generar problemas en humanos afectando directamente a los riñones, donde ejerce efectos citotóxicos y cancerígenos, generando nefropatía. En sus estudios, Bragulat et al., (2018) indica que, en el sistema nervioso, esta micotoxina causa lesiones crónicas, reportando también efectos neurotóxicos, inmunogénicos, carcinogénicos y teratogénicos.

### **Figura 1**

*Cacao infectado con OTA*



*Fuente.* (Nogales et al., 2022)

En ese contexto, la OTA se considera actualmente uno de los peligros químicos más relevantes en las cadenas agroalimentarias. En 2020, la Autoridad Europea de Seguridad

Alimentaria (quién en adelante se denominará EFSA) y bajo las investigaciones de Schrenk et al., (2020), se evaluó el riesgo sobre esta micotoxina, señalando su presencia en múltiples alimentos y la necesidad de mantener la exposición “tan baja como razonablemente posible” (as low as reasonably achievable, ALARA) en la población general y en grupos vulnerables.

Cabe destacar que, las investigaciones desarrolladas entre los años 2023 y 2024 por Burgon et al., (2024) confirman la detección frecuente de OTA en granos de cacao y productos derivados, con prevalencias y niveles variables según el origen, las prácticas poscosecha y las condiciones de procesamiento. Estos hallazgos evidencian la importancia de reforzar los controles en toda la cadena de valor del cacao para minimizar los riesgos de exposición.

En Colombia, aunque la base normativa nacional sobre micotoxinas se encuentra establecida en la Resolución 4506 de 2013, (Ver Apéndice C) las exigencias del mercado internacional requieren armonizar dichos estándares con lineamientos más recientes y guías técnicas sectoriales. Este panorama plantea la necesidad de analizar la incidencia de OTA en el cacao colombiano, identificando los factores que favorecen su aparición, y proponiendo estrategias de mitigación basadas en buenas prácticas agrícolas y de procesamiento (también denominadas BPA). Así, el presente estudio aporta a la comprensión de un riesgo que compromete tanto la competitividad del sector cacaotero como la salud pública, y establece un contexto para acciones de control y prevención.

## Justificación

La relevancia de este estudio radica en la importancia económica, social y cultural del cacao (*theobroma cacao*). A nivel nacional, este cultivo es reconocido por su calidad y por su papel fundamental en la generación de empleo, el fortalecimiento del sector agrícola y la dinamización de las economías locales. Su cadena productiva involucra a miles de familias campesinas que dependen de este cultivo para su sustento, siendo un pilar del desarrollo rural sostenible y una oportunidad de progreso para comunidades enteras.

En el ámbito económico, el cacao colombiano se ha consolidado como un renglón importante dentro de la economía agrícola, al contribuir significativamente al producto interno bruto agropecuario y a las exportaciones del país. Sin embargo, este potencial se ve amenazado por factores que comprometen la calidad del producto, entre ellos la presencia de la OTA, un contaminante que puede ocasionar pérdidas económicas y restricciones o incluso rechazos en mercados internacionales debido a sus efectos tóxicos en la salud humana y a las regulaciones cada vez más exigentes sobre contaminantes alimentarios. Por ello, identificar, prevenir y controlar la presencia de OTA en las distintas etapas de producción, poscosecha, almacenamiento y transporte resulta esencial para garantizar la seguridad alimentaria, proteger a los consumidores y preservar la reputación exportadora del cacao colombiano. Este esfuerzo no solo contribuye al cumplimiento de estándares internacionales de calidad, sino también a la sostenibilidad económica de productores que dependen de este cultivo como fuente principal de ingreso.

En el ámbito social, el cacao representa una alternativa sostenible que mejora las condiciones de vida de las familias campesinas, promueve la inclusión laboral en zonas rurales y fortalece el trabajo cooperativo. En este sentido, asociaciones como la Asociación de Cacaoteros del Norte del Tolima, la Asociación de Cacaoteros y Artesanos Chocolateros de Colombia

(ARCHOCOL) y la Red Cacaotera de Colombia, cumplen un papel fundamental, al brindar acompañamiento técnico, generar empleo y fomentar la adopción de prácticas agrícolas responsables. Para ellas, este tipo de investigaciones representa la posibilidad de acceder a información científica aplicada que les permita optimizar sus procesos productivos, reducir riesgos de contaminación y fortalecer su posición competitiva en el comercio nacional e internacional. De esta manera, se contribuye a que no se presenten pérdidas económicas derivadas de la presencia de contaminantes, garantizando un cacao más inocuo y de mayor valor agregado.

Desde el punto de vista cultural, el cacao es un símbolo de identidad nacional. Su siembra, cosecha y procesos, forman parte de una herencia ancestral transmitida de generación en generación, vinculada al territorio, a la historia y a la memoria de las comunidades que lo cultivan.

Con respecto a la academia, se prevé que tanto en universidades como en semilleros de investigación este estudio impulse la formación de nuevos proyectos, que integren conocimientos en campos como la toxicología y la ingeniería de alimentos. Dicho enfoque interdisciplinario es esencial para generar soluciones innovadoras que aporten no solo a la industria cacaotera, sino también a la educación.

En síntesis, este estudio se justifica por su aporte al fortalecimiento de la calidad, la inocuidad y la sostenibilidad del cacao colombiano, promoviendo su valor económico, social y cultural, y generando conocimiento que contribuya a la protección del consumidor, la competitividad internacional y el bienestar de las comunidades productoras del país.

## Objetivos

### Objetivo General

Analizar la incidencia de Ocratoxina A en el cacao (*theobroma cacao*), evaluando sus riesgos toxicológicos para la salud humana y proponiendo estrategias de mitigación basadas en buenas prácticas agrícolas y de procesamiento.

### Objetivos Específicos

Revisar sistemáticamente la literatura científica y técnica sobre la OTA en cacao, identificando los factores que favorecen su aparición en las diferentes etapas de la cadena productiva.

Evaluar mediante análisis cuantitativo los documentos científicos asociados a la presencia de Ocratoxina A en cacao; sus efectos en la salud humana, como también las implicaciones en la seguridad alimentaria y nutricional.

Compilar a partir de la investigación hermenéutica, las estrategias de prevención y mitigación de la Ocratoxina A, a nivel global con el fin de generar conocimiento útil y valioso para los stakeholders en relación con la toma de decisiones en la cadena del cacao; y su respectiva socialización y divulgación con la comunidad académica.

## Antecedentes

### Situación del cacao en el mundo

El cacao es cultivado principalmente en regiones tropicales, donde las condiciones de humedad y temperatura favorecen su desarrollo, pero estos son los principales factores implicados en la proliferación de hongos productores de micotoxinas. A nivel mundial, la producción ha mostrado un incremento permanente, (Ver la Tabla 1) alcanzando aproximadamente 4,95 millones de toneladas en 2023, siendo África occidental el principal productor, tal como lo afirma Banahene et al., (2023).

**Tabla 1**

*Mayores productores de cacao.*

País	Producción 2023 (toneladas)
Costa de Marfil	2.377.442
Ghana	653.700
Indonesia	641.741
Ecuador	375.719

*Fuente.* (Adaptado de Banahene et al., 2023c)

Cabe destacar que, en el año 2024, y según las estadísticas sobre la escasez de cacao presentadas en Statista por la investigadora Florencia et al., (2025), se dispararon los precios para los chocolateros y los consumidores europeos, la causa: una temporada de lluvias, un buen porcentaje de humedad y una enfermedad vírica del cacao que afectó gravemente a la cosecha en África Occidental. Sin embargo, según los expertos, la situación debería tener una mejora continua en lo que va del 2025. La Organización Internacional del Cacao (que en adelante se denominará ICCO) estima que la cosecha entre el año 2024 y en lo que va del año 2025 debería registrar un excedente, después de tres años consecutivos de déficit.

Como se observa en la Figura 2, el mercado mundial del cacao depende en gran medida de las plantaciones del Golfo de Guinea para su abastecimiento. Cerca del 65% del cacao mundial se cosecha en sólo cuatro países de África Occidental: Costa de Marfil (38%), Ghana (12%), Nigeria (7%) y Camerún (7%). América del Sur ocupa un distante segundo lugar en términos de volumen, siendo Ecuador y Brasil los principales países productores, con un 10% y un 4% de la producción mundial respectivamente.

## Figura 2

*Principales productores e importadores de cacao*



*Fuente.* (Statista, n.d.)

Considerando las estadísticas y problemáticas planteadas, se resalta la OTA como una de las micotoxinas más relevantes en la industria alimentaria. Su estabilidad térmica la hace persistente incluso tras los procesos de tostado o fermentación. Se ha evidenciado su presencia

en cacao de diferentes regiones, destacando la necesidad de medidas preventivas en países productores de Latinoamérica como Colombia.

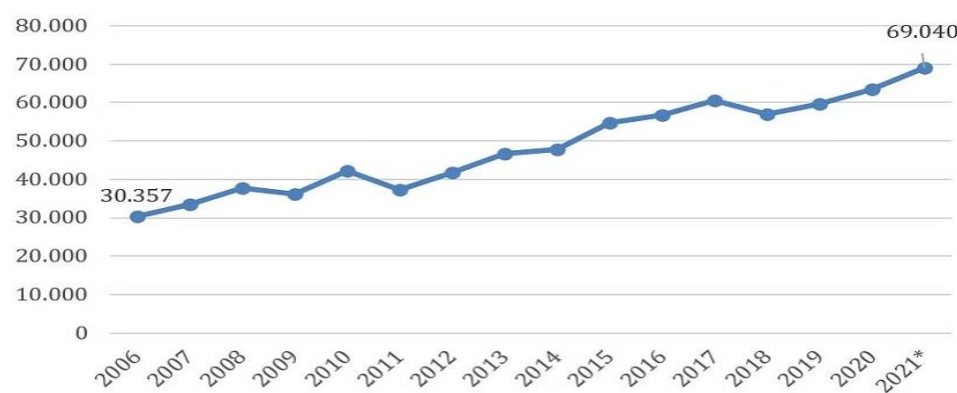
### Situación del cacao en Colombia

Según FEDECACAO et al., (2024), Colombia ocupa el décimo lugar mundial en producción de cacao, con cerca de 70.000 toneladas anuales y una superficie cultivada superior a 170.000 hectáreas. Las principales zonas productoras son Santander, Arauca, Huila y Tolima, regiones con clima húmedo tropical, lo que aumenta la susceptibilidad a la contaminación fúngica durante la fermentación y el secado.

Pese a que la pandemia golpeó especialmente al sector productivo nacional durante los años 2020 y 2021, el sector cacaotero mostró cifras de crecimiento en las dos vigencias (6,1% y 8,9%, respectivamente), lo que evidencia, el dinamismo del sector agro. Este crecimiento se puede ver representado en la siguiente gráfica de la producción nacional de cacao consolidada entre los años 2006 a 2021:

### Figura 3

*Incremento de la producción de cacao a nivel nacional*



Fuente. (FEDECACAO et al., 2022)

Según las cifras de producción registradas en el año 2021, los siguientes son los principales departamentos productores de grano, con su respectiva participación:

**Tabla 2**

*Principales departamentos productores de cacao*

Departamento	Producción (t) 2021	Participación nacional (%)
Santander	28.037	40,6%
Arauca	7.894	11,4%
Antioquia	6.661	9,6%
Tolima	4.027	5,80%
Huila	3.51	5,10%
Nariño	3.48	5,0%

*Fuente.* (FEDECACAO et al., 2022)

Durante los últimos años, el país ha venido fortaleciendo la cadena productiva del cacao con la participación de entidades públicas, privadas y asociaciones de productores.

Organizaciones como FEDECACAO, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, y diversas cooperativas regionales han impulsado programas orientados a mejorar la productividad, la calidad del grano y la sostenibilidad del cultivo. Estas iniciativas han permitido la incorporación de buenas prácticas agrícolas (BPA) y la capacitación técnica de los productores, lo cual ha contribuido a posicionar el cacao colombiano como un producto de alta calidad reconocido a nivel internacional.

Uno de los aspectos que distingue al cacao colombiano en el mercado a nivel mundial es su clasificación como cacao fino y de aroma, categoría otorgada por la Organización Internacional del Cacao (que se denominará en adelante ICCO) a los países que cumplen estándares superiores de sabor, aroma y textura. Este reconocimiento le otorga un valor agregado en la elaboración de chocolates premium y productos gourmet. Según ProColombia y

FEDECACAO, más del 90 % del cacao colombiano pertenece a esta categoría, lo que constituye una ventaja competitiva frente a otros países que producen cacao a granel

Sin embargo, esta distinción también exige un compromiso mayor con los estándares de calidad, trazabilidad e inocuidad establecidos por mercados como la Unión Europea y Norteamérica, donde las normativas sobre contaminantes microbiológicos, residuos químicos y micotoxinas son cada vez más estrictas.

A pesar de los avances en la producción y comercialización, la cadena cacaotera colombiana enfrenta aún diversos desafíos estructurales. Uno de los más relevantes establecidos por Abbott et al., (2019) está relacionado con las deficiencias en los procesos poscosecha, particularmente en las fases de fermentación, secado y almacenamiento. En muchas zonas productoras, estas etapas se realizan de manera artesanal y sin control adecuado de temperatura, ventilación o humedad. La falta de infraestructura apropiada y el desconocimiento técnico aumentan la probabilidad de contaminación con micotoxinas como la OTA, lo que afecta directamente la conservación del producto y puede generar restricciones en los mercados de exportación.

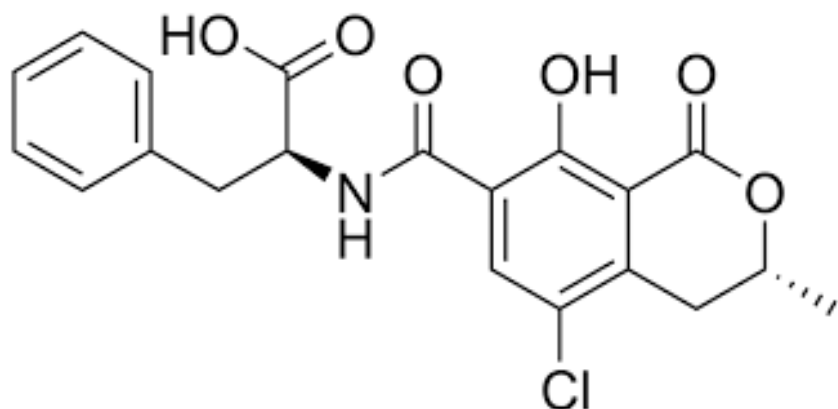
Ante esta situación, se hace indispensable la implementación de programas de control de calidad que garanticen la seguridad del cacao colombiano en toda su cadena productiva. Estos programas deben incluir la capacitación de productores, la estandarización de procesos poscosecha, la modernización de infraestructuras de secado y almacenamiento, y la adopción de sistemas que permitan identificar el origen de posibles contaminantes. El fortalecimiento institucional y la articulación entre productores, gremios y entidades de control se vuelven esenciales para consolidar una cadena más competitiva, segura y sostenible.

Por otra parte, la sostenibilidad ambiental del cultivo también representa un factor decisivo para el futuro del cacao en Colombia. Estudios realizados por el ICA et al., (2025), indican que las variaciones climáticas, el cambio en temperatura, y la degradación de los suelos podrían afectar la productividad y la calidad del grano en los próximos años. Frente a estos retos, se han promovido estrategias de adaptación basadas en sistemas agroforestales, diversificación productiva y conservación de la biodiversidad, buscando mantener un equilibrio entre la productividad económica y la preservación ambiental.

Finalmente, el país tiene el potencial para incrementar su participación en los mercados internacionales, siempre que logre fortalecer las capacidades técnicas, reducir la vulnerabilidad frente a contaminantes y asegurar la trazabilidad del producto desde el cultivo hasta la exportación. De esta forma, el cacao colombiano no solo se consolidará como un producto competitivo y sostenible, sino también como un símbolo de identidad, cultura y desarrollo para las comunidades que lo cultivan y transforman.

### **Marco conceptual**

En primer lugar, es necesario comprender la naturaleza química de la Ocratoxina A (OTA), ya que constituye la base para dimensionar sus implicaciones en la salud y en la industria alimentaria. La OTA (C<sub>20</sub> H<sub>18</sub> O<sub>6</sub> NCl) es una molécula compuesta por un anillo de 3,4-dihidro metil isocumarina unido, a través de un enlace tipo amida, a una molécula de fenilalanina (Ver la Figura 1). Se caracteriza por ser muy estable, incolora, soluble en disolventes orgánicos polares, poco soluble en agua y con propiedades ácidas débiles; además, emite fluorescencia cuando se expone a rayos ultravioleta.

**Figura 4***Cadena de Ocratoxina A**Fuente.* (ELIKA, n.d.)

Descubierta por primera vez en muestras de maíz africano, Ben Miri et al., (2024) considera dentro de sus investigaciones esta mitocoxina, un metabolito secundario producido por especies de hongos de los géneros *Penicillium* y *Aspergillus*, capaces de crecer en diversos sustratos orgánicos.

Ahora bien, debido a su estabilidad química, según Collaguazo et al., (2018) la OTA resulta difícil de eliminar durante el procesamiento de los alimentos, lo que explica su persistencia en productos agrícolas como el cacao. Esto convierte a esta micotoxina en un riesgo constante dentro de la cadena productiva, a diferencia de otros contaminantes que pueden degradarse o reducirse más fácilmente.

En consecuencia, la OTA ha sido reconocida como un problema prioritario de salud pública y de seguridad alimentaria, ya que puede contaminar alimentos de amplio consumo, tales como trigo, café y cacao. Comprender sus propiedades químicas y biológicas, sus fuentes de aparición, los riesgos toxicológicos que implica, así como los marcos regulatorios vigentes y las

estrategias de mitigación aplicadas, resulta esencial para dimensionar la magnitud de su importancia e impacto.

Con relación a la producción nacional, es importante destacar que el cacao tiene una buena referencia en la economía agrícola. En las investigaciones realizadas en el año 2018 por Camacho et al., (2021), se destacan los departamentos de Antioquia, Arauca, Huila, Nariño, Santander y Tolima ya que, produjeron en conjunto 44.907 toneladas de grano, equivalente al 79% del total nacional, siendo Santander el principal productor con un 42 % del total.

Estas regiones cacaoteras resaltan el papel estratégico en la producción nacional y, al mismo tiempo, la necesidad de fortalecer sus cadenas productivas hacia modelos más sostenibles.

Desde el punto de vista toxicológico, en las investigaciones realizadas por Yovany et al., (2020), se ha evidenciado que el consumo de alimentos contaminados con OTA puede ocasionar efectos secundarios a largo plazo, entre los que destacan el daño renal crónico y un mayor riesgo de cáncer. En respuesta a ello, las normativas internacionales han establecido límites máximos permitidos de esta micotoxina en productos alimenticios, exigiendo un control riguroso de su presencia en toda la cadena de producción.

De igual modo, resulta pertinente destacar la importancia de las Buenas Prácticas Agrícolas (que en adelante se denominarán BPA) y de procesamiento, cómo lo hace dentro de sus textos Díaz et al., (2018), siendo un conjunto de medidas preventivas y correctivas que abarcan desde la producción y cosecha hasta el almacenamiento y transformación del cacao. Su implementación es esencial no solo para minimizar la contaminación con OTA, sino también

para garantizar el cuidado, la calidad y la competitividad de los productos de cacao, destinados a los mercados nacionales e internacionales.

## **Marco teórico**

### ***Factores de Contaminación en Cacao***

La contaminación con OTA, como lo describe Vallejo et al., (2025), puede presentarse en distintas fases de la cadena de producción, como lo son el cultivo, la cosecha, el almacenamiento y el transporte, e incluso repetirse en varias de estas etapas. Sin embargo, resulta fundamental reconocer que, en la fase de cultivo, factores como el exceso de humedad, la falta de ventilación y la acumulación de residuos contribuyen de manera decisiva al desarrollo fúngico; estas condiciones suelen generarse por un riego inadecuado, lluvias prolongadas o deficiencias en el drenaje, y además los residuos de cosechas anteriores mal incorporados al suelo actúan como reservorios de esporas. A ello se suma el manejo deficiente de plagas y malezas, que se convierten en vectores o como lo menciona Ruiz et al., (2024): *hospederos alternativos para los hongos*, lo que aumenta la probabilidad de contaminación.

Asimismo, en las etapas de precosecha y poscosecha, las condiciones inadecuadas de secado y almacenamiento, particularmente la presencia de altas temperaturas y humedad relativa, elevan significativamente el riesgo, ya que facilitan la proliferación de hongos. En este escenario, Sánchez et al., (2024) determina que, el control de plagas adquiere un papel clave, dado que insectos y otros organismos pueden dañar los frutos y abrir vías que favorecen el crecimiento fúngico, convirtiéndose en un factor determinante para la contaminación del cacao.

Por otra parte, en las investigaciones realizadas por Aguilar et al., (n.d.) se determina que el transporte constituye otro punto crítico que no debe subestimarse, dado que el uso de recipientes húmedos o contaminados puede ser parte del problema. Dada esta situación, resulta

indispensable garantizar condiciones adecuadas de limpieza y mantener la temperatura controlada durante el traslado con el fin de prevenir el deterioro y la aparición de microorganismos.

En consecuencia, si bien las características agroecológicas de regiones productoras de cacao en Colombia son favorables para el desarrollo del cultivo, estas mismas condiciones pueden tornarse riesgosas cuando no se implementan prácticas apropiadas de manejo, lo que aumenta la necesidad de fortalecer los sistemas de control en todas las etapas de la cadena productiva para velar por la calidad y la inocuidad del producto.

### ***Impacto toxicológico de la OTA en humanos***

Los estudios de Ben Miri et al., (2024) han demostrado que la exposición de OTA, incluso en pequeñas cantidades, puede acumularse en el organismo y causar daño a largo plazo, afectando principalmente los riñones y el sistema inmunológico. La Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer clasifica a la OTA como un posible carcinógeno humano. Estas evidencias reflejan la necesidad de controlar rigurosamente los niveles de OTA en los alimentos destinados al consumo humano.

### **Marco normativo nacional e internacional sobre la OTA**

La alerta por la OTA ha motivado la creación de normativas que buscan proteger la salud pública y garantizar la calidad y procesamiento de los alimentos. En el ámbito internacional, tomando como referente las investigaciones de De et al., (2024) y de organismos como la Unión Europea, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y la Organización Mundial de la Salud, han establecido límites máximos de OTA en productos como el cacao destinado al consumo humano, con el fin de proteger a los consumidores y mantener la calidad de los mercados internacionales.

En efecto, la regulación de esta micotoxina se considera esencial debido a su toxicidad y al riesgo de contaminación generalizada en alimentos, razón por la cual se han definido pautas de manejo y límites de tolerancia que varían de acuerdo con la región y las políticas específicas de cada país. Un ejemplo de ello es el Codex Alimentarius, establecido por la FAO y la OMS, que ofrece recomendaciones para garantizar la seguridad alimentaria y promover un comercio justo como se enuncia en De et al., (2024); además se promueve la implementación de Buenas Prácticas Agrícolas, el adecuado manejo poscosecha y la correcta eliminación de contaminantes.

Por ejemplo, en Estados Unidos la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) no ha establecido límites específicos para la OTA, aunque aplica regulaciones generales sobre micotoxinas bajo el concepto de “nivel de acción”, lo que implica que los productos contaminados pueden ser rechazados o retirados del mercado si representan un riesgo para la salud pública, a la vez que se fomenta la implementación de Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) como medida preventiva.

En Colombia se han adoptado regulaciones específicas para mitigar los riesgos asociados a la OTA; sin embargo, la normativa nacional con respecto a la producción en cacao es limitada. En este contexto, el Reglamento (UE) 2022/1370, vigente desde el 1 de enero del año 2023, establece un límite máximo de 3,0 µg/kg para el cacao en polvo (cocoa powder). Esta normativa no solo busca proteger la salud pública, sino también reforzar el compromiso del país con los acuerdos internacionales relacionados con la seguridad alimentaria, como lo evidencia la inclusión de la OTA dentro de la lista de contaminantes alimentarios.

La Organización Mundial del Comercio (quién en adelante se denominará OMC et al., (n.d.)) a través del Acuerdo sobre la aplicación de medidas sanitarias y fitosanitarias, respalda las normativas internacionales relacionadas con esta micotoxina y promueve estándares que buscan

proteger la salud pública sin generar barreras en la economía. De esta manera, se muestra que hay un esfuerzo amplio para garantizar alimentos más seguros, proteger la salud de los consumidores y fortalecer la competitividad de los países productores de cacao en el mercado internacional.

### ***Estrategias de mitigación de OTA***

Dentro de las estrategias planteadas por FEDECACAO., (n.d.), las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) ocupan un lugar central, dado que actúan como medidas preventivas desde el inicio de la producción. En efecto, prácticas como el manejo adecuado del riego para evitar el exceso de humedad y el monitoreo constante de las condiciones del campo resultan esenciales para disminuir los riesgos. A lo anterior se suma la rotación de cultivos, que reduce la acumulación de patógenos en el suelo, así como la optimización de los procesos de secado y almacenamiento mediante instalaciones que limiten la proliferación de micotoxinas.

## **Materiales y métodos**

Para la presente monografía se realizó una revisión sistemática basada en un análisis cuantitativo, con el propósito de identificar, clasificar y examinar las tendencias de investigación científica relacionadas con la OTA en el cacao y su cadena productiva a nivel mundial. Este enfoque permitió establecer el estado del conocimiento en torno a la conservación del cacao, los factores de contaminación y las estrategias de control, contribuyendo a sus estudios en el contexto colombiano.

El análisis cuantitativo se centró en el uso de indicadores cuantitativos de producción científica, basados en publicaciones indexadas en bases de datos académicas internacionales. Esta metodología es adecuada para caracterizar la evolución temporal, la distribución geográfica, las instituciones y los autores que más aportes han realizado en un área específica del conocimiento.

### **Fuente de información**

La información fue recopilada a partir de la base de datos Scopus, seleccionada por ser una de las fuentes más completas de documentación científica a nivel internacional. Scopus integra artículos de revistas, conferencias, libros y capítulos revisados, lo que garantiza la validez y calidad de los registros obtenidos. La búsqueda se realizó utilizando la ecuación de búsqueda (query):

*TITLE-ABS-KEY (cocoa supply chain) OR TITLE-ABS-KEY (ochratoxin a)*

La búsqueda se limitó al período 2015–2025, con el objetivo de analizar la producción científica más reciente y relevante. Se aplicaron filtros adicionales para considerar únicamente documentos publicados en inglés o español, y de tipo artículo científico, revisión o conferencia

indexada. Como resultado, se identificaron 45 registros relacionados con la OTA en cacao y su cadena de suministro. Estos registros constituyeron la base de datos para su respectivo análisis.

### **Procesamiento y análisis de la información**

Los registros bibliográficos exportados desde Scopus fueron almacenados en formato CSV, lo que permitió su procesamiento mediante herramientas de análisis y otras como Mendeley.

### **Variables de análisis**

Para el análisis se consideraron las siguientes variables:

- Año de publicación: permitió observar la evolución temporal de los estudios entre 2015 y 2025.
- Autores y coautores: identificó los investigadores más productivos y las redes de colaboración científica.
- Instituciones y países: mostró la distribución geográfica y los centros de investigación con mayor participación.
- Revistas y editoriales: permitió determinar los canales más utilizados para la difusión de los resultados científicos.
- Palabras clave: evidenció las temáticas más recurrentes, las tendencias conceptuales y los enfoques predominantes.

## Investigaciones Relacionadas sobre OTA en Cacao

### Factores Asociados

En este apartado, se analizan las investigaciones más relevantes sobre la incidencia de la OTA en cacao y productos derivados en los últimos años, con el objetivo de identificar patrones de prevalencia, concentración y factores asociados en diferentes regiones productoras.

Los estudios de Banahene et al., (2023) muestran que la presencia de OTA en cacao es generalizada, aunque los niveles varían considerablemente entre regiones y etapas del proceso. En Ghana, en los estudios realizados por Martínez et al., (2021) se evidencian algunas muestras con concentraciones relativamente bajas; en México se observan casos de alta contaminación durante almacenamiento; y en otros estudios se confirman que las fracciones residuales del cacao presentan mayores concentraciones. Estos resultados demuestran la influencia del manejo poscosecha en la inocuidad del cacao como se muestra a continuación:

**Tabla 3**

*Porcentaje de prevalencia de OTA.*

Estudio (Año)	País / Región	Matriz / Tipo de muestra	Muestras analizadas	Prevalencia OTA	Rangos o concentración reportada
2023	Ghana	Granos de cacao	520	21,7% (113 positivas)	<0,01 – 12,36 µg/kg
2019-2022	México	Granos secado / Almacenamiento	—	78,4% en secado, 70,3% en almacenamiento	hasta 304,6 µg/kg
Inferior al 2022	Varios orígenes	Productos de cacao y chocolate	170	Variable	0,1 – 23,1 µg/kg; promedio 0,45 µg/kg

*Fuente.* (Adaptado de Banahene et al., 2023d)

Los factores críticos más frecuentes incluyen un alto porcentaje de humedad, deficiente ventilación y el almacenamiento prolongado. La evidencia (Ver la Tabla 3), demuestra que estas condiciones facilitan la proliferación de hongos del género *Aspergillus*, principales responsables de la generación de OTA. El control de la humedad y la aplicación de buenas prácticas de secado son estrategias clave para mitigar la contaminación.

**Tabla 4**

*Factores críticos de incidencia de OTA.*

Factor observado	Evidencia del estudio
Humedad y condiciones de secado	Regiones húmedas con mayor positividad (Ghana)
Condiciones de almacenamiento	Alta frecuencia de hongos toxigénicos en México (70,3%)
Tipo de cepas fúngicas	<i>A. carbonarius</i> produce hasta 14.307,5 µg/kg en cultivo
Fracciones residuales	Cáscara y 'cake' con mayores niveles (hasta 23,1 µg/kg)

*Fuente.* (Adaptado de Banahene et al., 2023a)

Nota: Es importante aclarar que los estudios difieren en métodos analíticos y unidades, lo que dificulta la comparación directa. Además, existe poca representación latinoamericana, particularmente en Colombia, y pocos estudios que evalúen la evolución de OTA entre temporadas.

Los factores que influyen en la producción de OTA incluyen la humedad relativa (>70%), la temperatura ambiente (25–35 °C) y el almacenamiento prolongado sin ventilación. La

combinación de estos factores genera microambientes propicios para el crecimiento de *Aspergillus* y *Penicillium*, especialmente en granos mal secos o contaminados.

A continuación, se categorizan los principales factores que se ven involucrados en la incidencia de OTA en cacao:

### ***Condiciones climáticas y estado fitosanitario del cacao***

Las investigaciones coinciden en que la contaminación por OTA en cacao se asocia principalmente a condiciones que favorecen el desarrollo de hongos sobre el fruto y, posteriormente, sobre los granos de cacao. El estado sanitario como lo menciona Kedjebo et al., (2016) previo a las etapas de beneficio resulta determinante: lotes con daños físicos, presencia de insectos o signos de deterioro presentan una mayor probabilidad de presencia fúngica, lo que crea un escenario de riesgo para las fases de fermentación y secado.

### **Figura 5**

*Cacao con infección fúngica asociada a condiciones de alta humedad y manejo sanitario deficiente*



*Fuente.* (Fact Sheet., n.d.)

En regiones tropicales húmedas, las lluvias frecuentes y la limitada ventilación en los cultivos prolongan el tiempo en que el cacao permanece húmedo, favoreciendo la presencia de hongos del género *Aspergillus* en su superficie. De este modo y como se muestran en los estudios de Khammar et al. (2025), la combinación de clima húmedo y un manejo inadecuado de la sanidad del cultivo incrementa la probabilidad de que, más adelante, se forme OTA en los granos.

### ***Prácticas de cosecha y tiempo de apertura de las vainas (fruto del cacao)***

Primero, es importante entender qué el fruto del árbol del cacao, también llamado vaina, contiene semillas cubiertas de pulpa blanca que, tras fermentarse y procesarse, esas semillas dan origen al chocolate cómo se puede observar en la Figura. Teniendo esto claro, uno de los factores mejor documentados es el tiempo que transcurre entre la cosecha y su apertura para extraer los granos.

### **Figura 6**

#### *Estructura y composición de una mazorca de cacao*



*Fuente.* (Chico et al., 2022)

Cuando los frutos del cacao se dejan varios días acumuladas antes de abrirlas, especialmente si están dañadas o enfermas, se genera un ambiente muy favorable para la proliferación de hongos ocratoxigénicos.

Los estudios realizados por Kedjebo et al., (2016) en sistemas productivos de África Occidental muestran que los lotes de cacao que permanecen más tiempo almacenados del recomendado, presentan niveles de OTA significativamente más altos que aquellos que se procesan de manera oportuna y organizada. El tiempo de demora permite que los hongos se multipliquen y comiencen a colonizar la pulpa y el grano, incrementando la probabilidad de síntesis de la toxina durante la fermentación y el secado.

#### ***Fermentación: infraestructura, duración y manejo***

La fermentación es una etapa indispensable para el desarrollo del aroma y sabor del cacao, pero también se ha identificado como un momento crítico en la formación de OTA. Los estudios de Dano et al., (2013) señalan que el tipo de infraestructura utilizada (cajas de madera, cajas plásticas, montones sobre el suelo), la duración del proceso, la frecuencia de volteo y las condiciones de higiene influyen en la dinámica microbiana y, en consecuencia, en el riesgo de aparición de la micotoxina.

En la siguiente Figura, se puede ver, por ejemplo, una muestra de cacao en proceso de fermentación en un espacio controlado y en una base de madera fija:

**Figura 7**

*Cacao en grano fermentado y fresco en la caja de madera.*



*Fuente. (Vecteezy, n.d.)*

El uso de cajas plásticas o recipientes improvisados y con poca oxigenación, se ha asociado con mayores niveles de humedad, donde pueden proliferar hongos del género *Aspergillus* citados en las investigaciones de Dano et al., (2013). Adicionalmente, fermentaciones demasiado cortas o excesivamente largas, y la ausencia de volteos periódicos, originan microambientes con temperaturas y niveles de oxígeno óptimos dentro de la cantidad de granos, lo que convierte esta etapa en un punto crítico de control.

***Secado: plataforma, condiciones ambientales y velocidad***

El secado del cacao constituye otro punto clave asociado a la presencia de OTA. La combinación de alta humedad, secado lento y oscilaciones de temperatura genera un ambiente propicio para el desarrollo de hongos en la superficie del grano. Las investigaciones de Li et al., (2022) señalan que el tipo de plataforma de secado (patios de cemento, bandejas, secado sobre el

suelo), la protección frente a la lluvia y la velocidad del proceso influyen directamente en el riesgo de contaminación. El secado sobre plataformas elevadas y protegidas, que permiten un flujo de aire constante y evitan el contacto directo con el suelo, suele asociarse a menores niveles de OTA, mientras que el secado improvisado, sin protección frente a la lluvia, favorece ciclos repetidos de humedecimiento que facilitan el desarrollo de mohos.

### **Figura 8**

*Proceso de secado del cacao.*



*Fuente.* (Vecteezy, n.d.)

Lo ideal, según Li et al., (2022), es lograr un secado progresivo hasta alcanzar contenidos de humedad cercanos al 7 u 8 %, reduciendo al mínimo el tiempo en que los granos se encuentran en un rango de humedad favorable para el crecimiento fúngico.

### ***Almacenamiento y transporte***

Una vez fermentado y seco, el grano de cacao puede rehumedecerse si las condiciones de almacenamiento no son adecuadas. Según Banahene et al., (2024), la humedad relativa elevada, la falta de ventilación en bodegas, el uso de sacos reutilizados contaminados, el contacto directo

de los sacos con paredes y suelos húmedos y los periodos prolongados de almacenamiento sin rotación incrementan el riesgo de proliferación de hongos y la formación de OTA. Durante el transporte, problemas como filtraciones de agua o condensación en contenedores también se han asociado con incrementos en la actividad fúngica cuando el cacao ya presenta una contaminación inicial.

### ***Procesamiento industrial y productos derivados***

Las investigaciones de Burgon et al., (2024) han mostrado que la OTA es relativamente estable al calor, por lo que los procesos térmicos habituales del tostado del cacao no la eliminan por completo. En estudios sobre chocolates industriales y artesanales, la presencia de OTA en el producto final se relaciona estrechamente con los niveles presentes en el grano de entrada: cuando el cacao llega con concentraciones bajas, los productos derivados tienden a mantenerse dentro de límites seguros; en cambio, si el grano ya presenta una carga elevada de OTA, el procesamiento no suele ser suficiente para reducirla.

### ***Microflora fúngica, competencia microbiana y biocontrol***

Un aspecto clave dentro de las investigaciones de Kyei-Baffour et al., (2021) sobre OTA en cacao, es el papel de la microflora fúngica y bacteriana en la dinámica de la micotoxina. Las comunidades microbianas que se desarrollan durante la fermentación y el secado pueden competir con los hongos ocratoxigénicos y limitar su crecimiento. A partir de esta observación, se han comenzado a explorar estrategias de biocontrol, como el uso de extractos vegetales con efecto antifúngico, que permitan reducir la presencia de *Aspergillus* productor de OTA sin afectar la fermentación deseable del cacao. Aunque esta línea aún es incipiente, representa una tendencia prometedora hacia soluciones más sostenibles e integradas.

## **Factores socioeconómicos y gestión de calidad**

Diversas investigaciones como las de Banahene et al., (2023) o de Li et al., (2022) coinciden en que los factores técnicos asociados a la presencia de OTA en cacao no pueden analizarse de forma aislada del contexto socioeconómico en el que operan los productores. En la base de la cadena se encuentran, en su mayoría, pequeños productores con recursos limitados, que dependen del cacao como principal fuente de ingreso y que muchas veces carecen de infraestructura adecuada, asistencia técnica continua y mecanismos de financiamiento para invertir en mejoras de calidad. Esta situación se refleja en prácticas irregulares de postcosecha, secado y almacenamiento que incrementan el riesgo de OTA en los granos de cacao

En el caso de Ghana y otros países de África Occidental, el autor Akwetey et al., (2020) ha documentado que parte de los lotes que superan los límites recomendados de OTA provienen de sistemas donde el secado se realiza en patios improvisados, sobre el suelo o en superficies sin protección frente a la lluvia, y donde las bodegas presentan problemas de humedad y ventilación. Estos patrones se relacionan con baja capacidad de inversión y ausencia de infraestructura colectiva (por ejemplo, centros comunitarios de fermentación y secado)

En otros casos que señalan las investigaciones de Kwadzo et al., (2017), cuando los productores se encuentran en condiciones irregulares o complejas, la prioridad inmediata suele ser el volumen de cacao vendido y no necesariamente el cumplimiento estricto de parámetros de calidad e inocuidad, lo que puede favorecer demoras en la cosecha, secados incompletos y almacenamientos prolongados en condiciones no óptimas.

Sin embargo, los estudios de Banahene et al., (2024) sobre Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) y Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) aplicadas al cacao muestran que la capacitación, asistencia técnica y herramientas prácticas mejora de forma significativa el manejo

postcosecha y reduce los riesgos de contaminación por OTA. Evaluaciones de programas de BPA en cadenas de cacao han resaltado que una fermentación adecuada, secado en plataformas elevadas, control de humedad y limpieza de instalaciones, reducen peligros microbiológicos como *Salmonella* spp., y contribuyen también al control de OTA como peligro químico.

Manuales técnicos y códigos de práctica desarrollados por organizaciones internacionales, federaciones de cacao y organismos de normalización insisten en que la adopción de estas prácticas requiere no solo conocimientos técnicos, sino también tiempo, mano de obra y recursos, lo que vuelve a conectar el problema con las condiciones socioeconómicas de las familias productoras.

Otro elemento clave es la articulación con esquemas de certificación y trazabilidad como lo enuncia Libreros et al., (2025) en sus textos. En varias regiones productoras se ha observado que la participación en programas de certificación (orgánica, comercio justo u otros estándares de sostenibilidad) suele ir acompañada de exigencias más estrictas en términos de fermentación, secado, almacenamiento y registro de prácticas, lo que favorece una gestión más sistemática de la calidad y la inocuidad. Estos programas, sin embargo, también implican costos de auditoría y adaptación organizacional que no todos los pequeños productores pueden afrontar, especialmente cuando los incentivos económicos (precios diferenciados, bonificaciones) no son percibidos como suficientes o estables en el tiempo.

## Análisis cuantitativo de la incidencia de OTA en cacao

### Distribución geográfica y colaboración internacional

Desde una perspectiva cuantitativa, las investigaciones sobre OTA en cacao (Khammar et al., 2025) se concentran principalmente en:

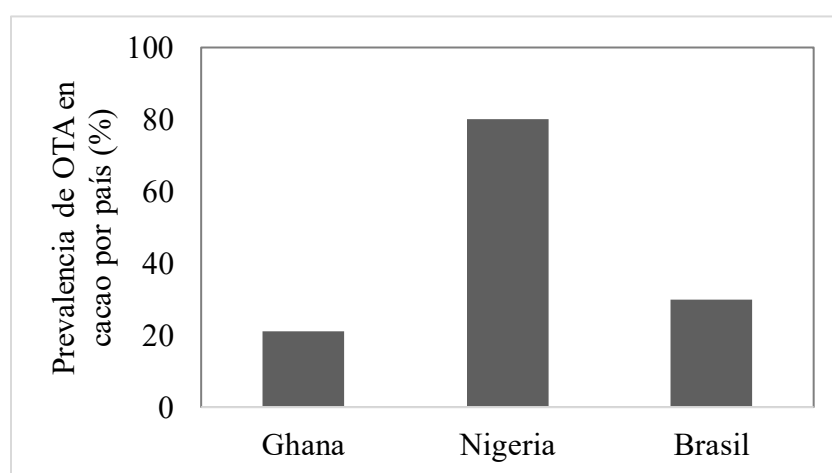
- África Occidental: Ghana, Nigeria y Costa de Marfil concentran buena parte de los estudios de incidencia de OTA en granos de cacao a nivel de finca y de centros de acopio.
- América Latina: Brasil aporta estudios relevantes sobre la ocurrencia de OTA en granos de cacao y en chocolates artesanales.
- Europa y otros mercados importadores: Aunque la producción de cacao no es restringida, existe un conjunto de estudios europeos que evalúan OTA en productos finales (cacao en polvo, chocolate industrial) en mercados como Italia o España, y que suelen reportar niveles inferiores a los límites máximos, pero suficientes para contribuir a la exposición dietaria total.

En la siguiente figura se presenta la prevalencia de muestras positivas a OTA en estudios realizados en los tres mayores productores de cacao mencionados anteriormente: Ghana, Nigeria y Brasil. Se observa que Nigeria muestra la proporción más elevada de muestras contaminadas, con valores superiores al 80 %, lo que sugiere problemas críticos en el almacenamiento prolongado y en el control de la humedad de los granos como lo describe en sus investigaciones Kolawole et al., (2020). Adicionalmente en los textos de Banahene et al., (2023d), Ghana registra un 21,7 % de muestras positivas, con un rango de concentraciones entre 0,01 y 12,36  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , y solo una fracción limitada por encima de los límites máximos establecidos para cacao por la Unión Europea y autoridades sanitarias de otros países.

En Brasil, el estudio de Burgon et al., (2024c) en cacao y chocolates muestra que el 30 % de los granos analizados tienen presencia de OTA, aunque en concentraciones generalmente inferiores a 1,2  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , situadas por debajo de los límites vigentes y que no llegan a ser nocivas para el consumo humano.

### Figura 9

*Prevalencia de muestras positivas a OTA en estudios sobre cacao*

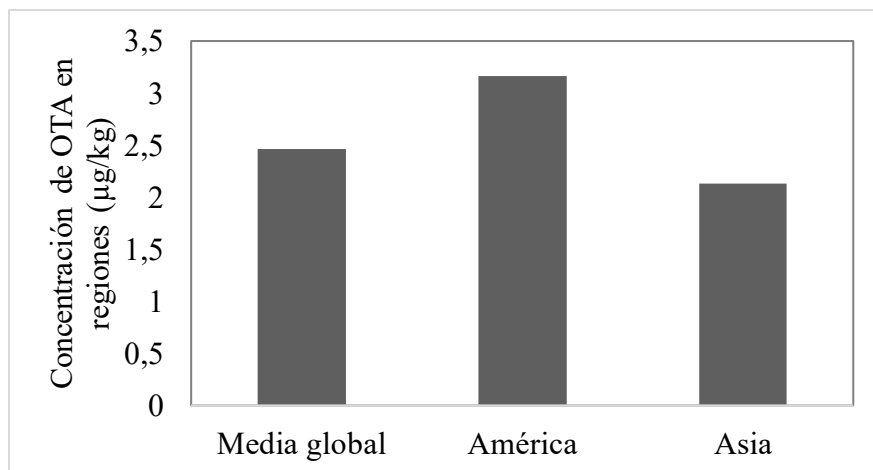


*Fuente.* (Adaptado de Kolawole et al., 2020, Banahene et al., 2023b, Burgon et al., 2024a)

Con respecto a las concentraciones de OTA entre regiones, y teniendo en cuenta los datos descritos en las investigaciones de Khammar et al., (2025), en la figura que se muestra a continuación, la media global se sitúa en torno a 2,461  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ; sin embargo, América presenta el valor medio más elevado (3,16  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ), por encima de regiones como Asia, donde la media estimada es de 2,13  $\mu\text{g}/\text{kg}$ . Esta diferencia sugiere que, además de los factores climáticos, existe una gran diferencia en las prácticas de fermentación, secado y almacenamiento entre regiones, lo que coincide con las observaciones de Li et al., (2021) sobre la influencia de las condiciones tecnológicas y socioeconómicas en la ocurrencia de micotoxinas.

**Figura 10**

*Concentración media de OTA en cacao y derivados por región.*



*Fuente.* (Adaptado de Khammar et al., 2025)

## **Enfoques metodológicos predominantes**

### **Estudios de vigilancia y monitoreo de OTA en grano**

Una parte importante de los trabajos realizados entre 2015 y 2025 corresponde a estudios de vigilancia que cuantifican los niveles de OTA en granos de cacao en diferentes puntos de la cadena: finca, centros de acopio, plantas de beneficio y almacenamiento.

Por ejemplo, en las investigaciones de Banahene et al., (2023c), se emplea un método basado en cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas en tándem (LC-MS/MS), que en pocas palabras es una técnica muy sensible y específica para detectar OTA incluso en cantidades muy pequeñas.

Antes del análisis, las muestras de cacao pasan por una etapa de limpieza mediante columnas que contienen anticuerpos específicos que “atrapan” la OTA y permiten separar la toxina de otras sustancias presentes en el grano.

Gracias a esta combinación (limpieza con inmunoafinidad + LC-MS/MS), el método alcanza límites de detección cercanos a 0,01 µg/kg, lo que permite identificar niveles muy bajos de OTA.

Pero no es el único estudio que plantea un método significativo, en el desarrollo investigativo de Burgon et al., (2024c), se efectúa y valida un método de cromatografía líquida de alta resolución con detección por fluorescencia (HPLC-FLD) para cuantificar OTA en granos de cacao y chocolates bean-to-bar.

Las muestras se someten primero a extracción y limpieza, y luego se analizan en el HPLC-FLD, donde la OTA se detecta gracias a su capacidad de emitir fluorescencia bajo ciertas condiciones. El método presenta recuperaciones entre 84 % y 97 %, lo que indica que la mayor parte de la OTA presente en la muestra se logra extraer y medir correctamente. Además, el límite de detección es de 0,04 µg/kg, adecuado para evaluar el cumplimiento de los límites regulatorios.

Este procedimiento permite determinar la presencia de OTA tanto en el grano como en los chocolates terminados, y evaluar el impacto de las prácticas de procesamiento artesanal (bean-to-bar) sobre los niveles finales de la micotoxina.

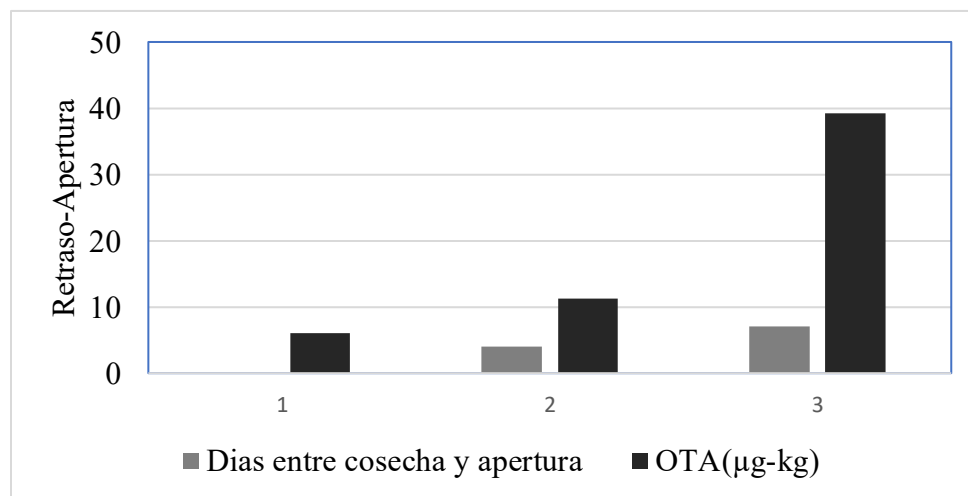
Estos estudios convergen en mostrar que, aunque muchas muestras se sitúan por debajo de los límites máximos, existe una fracción no despreciable de lotes con niveles elevados, especialmente cuando se incluyen granos dañados, almacenamiento prolongado o prácticas de secado inadecuadas.

### Ensayos sobre postcosecha, fermentación y secado

Los textos de Kedjebo et al., (2015) muestran que el retraso en la apertura de los frutos del cacao (recordando que se hace referencia a la vaina del cacao) es un factor clave: al comparar aperturas a 0, 4 y 7 días después de la cosecha, las concentraciones de OTA aumentan desde aproximadamente 6,1 hasta 39,2  $\mu\text{g}/\text{kg}$  en lotes provenientes del fruto del cacao en mal estado, demostrando que el daño y la espera prolongada favorecen fuertemente la producción de OTA como se muestra a continuación:

**Figura 11**

*Efecto del tiempo entre cosecha y apertura de la vaina sobre la concentración de OTA en cacao*



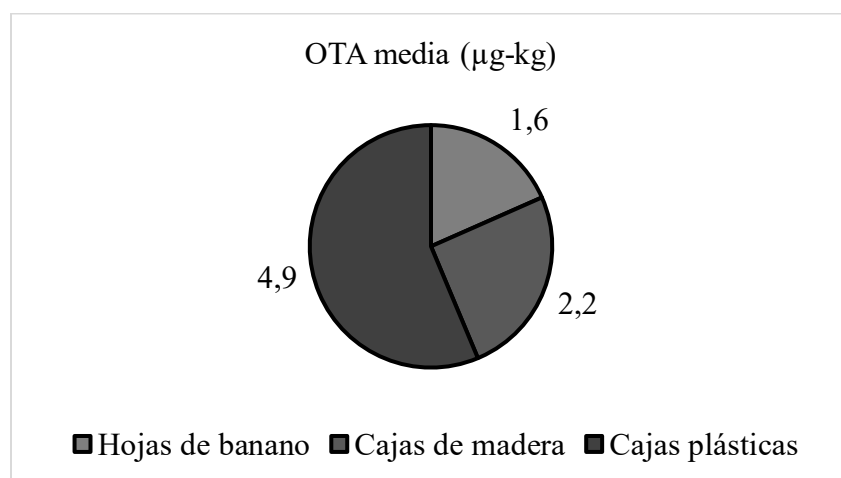
*Fuente.* (Adaptado de Kedjebo et al., 2015)

El mismo estudio evalúa diferentes materiales de fermentación (hojas de banano, cajas de madera, cajas plásticas), encontrando que la fermentación en cajas plásticas se asocia con mayores niveles promedio de OTA ( $\sim 4,9 \mu\text{g}/\text{kg}$ ), en comparación con hojas de banano ( $\sim 1,6 \mu\text{g}/\text{kg}$ ) y cajas de madera ( $\sim 2,2 \mu\text{g}/\text{kg}$ ), probablemente por diferencias en aireación, humedad y dinámica microbiana.

Otras investigaciones sobre materiales de fermentación y secado en Costa de Marfil, analizadas en Manda et al., (2016), ya habían mostrado que la OTA se incrementa a lo largo de las etapas de fermentación, secado y almacenamiento, incluso cuando los niveles iniciales en el interior de la vaina son mínimos, así como se ve a continuación:

### Figura 12

*Concentración media de OTA en granos de cacao según el material utilizado para la fermentación.*



*Fuente.* (Adaptado de Manda et al., 2016)

Más recientemente, Kyei-Baffour et al., (2021b) incorpora la evaluación del efecto de extractos y polvo de nuez de cola (Ver Figura) como estrategia para reducir los niveles de micotoxinas en granos fermentados y secados, observando disminuciones significativas de OTA junto con otras micotoxinas cuando se aplican concentraciones adecuadas de estos extractos, lo que abre un campo de investigación en estrategias de mitigación basadas en compuestos vegetales. Cabe resaltar que, la nuez de cola, en forma de polvo, es un material rico en cafeína y compuestos fenólicos con potencial actividad antioxidante y antifúngica, por lo que se ha

evaluado como ingrediente natural para limitar el crecimiento de hongos y favorecer la disminución de micotoxinas, incluida la OTA, en granos de cacao fermentados y secados.

Figura 13

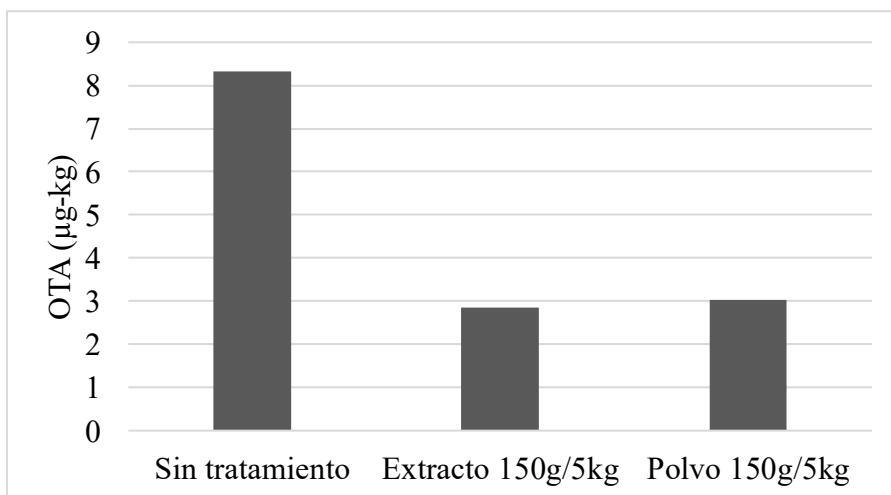
Muestra de la nuez de cola antes de ser pulverizada.



Fuente. (Freepik, n.d.)

Figura 14

Reducción de la concentración de OTA en granos de cacao mediante tratamientos no invasivos.



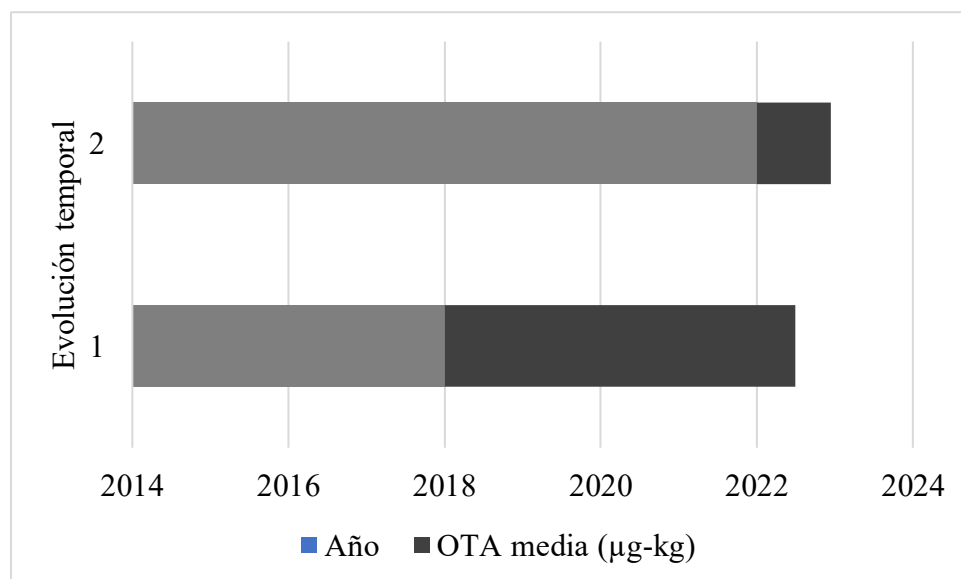
Fuente. (Adaptado de Kyei-Baffour et al., 2021b)

### Meta-análisis global: niveles promedio y patrones de incidencia

Desde una perspectiva cuantitativa, este meta-análisis conecta los resultados dispersos en múltiples países y matrices (grano, cacao en polvo, chocolate y otros), proporcionando una visión global de la situación de OTA en cacao y una base útil para comparaciones futuras, y se representa a través de la siguiente figura:

**Figura 15**

*Evolución de la concentración media de OTA en cacao y productos derivados entre 2018 y 2022.*

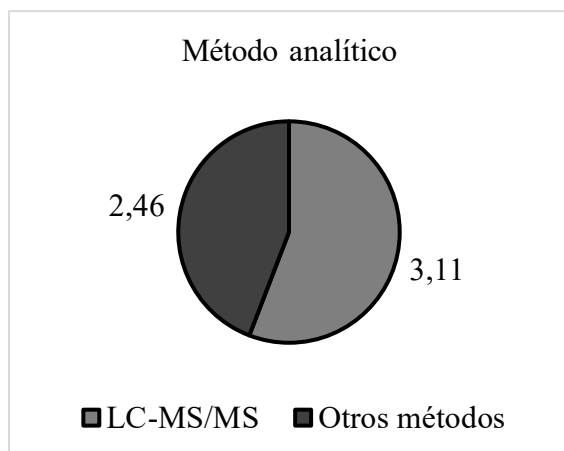


*Fuente.* (Adaptado de Khammar et al., 2025)

En la anterior figura, se observa una disminución marcada de la concentración media de OTA entre 2018 (4,50 µg/kg) y 2022 (0,95 µg/kg), lo que indica una posible mejora en la implementación de buenas prácticas agrícolas y de manufactura.

**Figura 16**

*Comparación de la concentración media de OTA en función del método analítico utilizado.*



*Fuente.* (Adaptado de Khammar et al., 2025)

En cuanto a la figura de método analítico, se evidencia que los estudios que emplean LC-MS/MS reportan, en promedio, concentraciones más altas de OTA que los obtenidos con otros métodos, lo que sugiere que las técnicas más sensibles detectan contaminaciones que podrían pasar inadvertidas con metodologías menos sensibles.

## Resultados de la investigación

En primer lugar, desde la perspectiva de la salud pública, se confirma que la OTA en exposición incluso a bajas dosis puede generar con el tiempo daños en el organismo. Esto refuerza la necesidad de considerar al cacao y sus derivados no solo como productos de alto valor económico y cultural, sino también como posibles contribuyentes a la ingesta total de OTA, especialmente en poblaciones con alto consumo de chocolate y bebidas a base de cacao.

En relación con la incidencia de la OTA en cacao, los resultados evidencian un alto cambio en contaminación entre las principales regiones productoras analizadas. Nigeria presenta la prevalencia más elevada, con valores superiores al 80 % de muestras positivas, lo que sugiere problemas críticos en el almacenamiento prolongado y el control de la humedad de los granos (Kolawole et al., 2020). Ghana registra un 21,7 % de muestras positivas (113 de 520 analizadas), con un rango de concentraciones entre 0,01 y 12,36  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , en su mayoría por debajo de los límites máximos establecidos por la Unión Europea (Banahene et al., 2023b). En México se reporta un 78,4 % de positividad en grano secado y un 70,3 % en almacenamiento, con concentraciones de hasta 304,6  $\mu\text{g}/\text{kg}$ . En Brasil, el 30 % de los granos analizados presenta OTA, aunque en concentraciones generalmente inferiores a 1,2  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , por debajo de los límites vigentes (Burgon et al., 2024c). A nivel global, la concentración media de OTA en cacao y sus derivados se sitúa en 2,461  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , siendo América la región con el valor medio más elevado (3,16  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ), por encima de Asia (2,13  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) (Khammar et al., 2025). Asimismo, se identificó una disminución marcada de la concentración media entre 2018 (4,50  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) y 2022 (0,95  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ), lo que sugiere una mejora progresiva en la implementación de buenas prácticas agrícolas y de manufactura a nivel internacional.

Con respecto a las estrategias de mitigación, los resultados respaldan las intervenciones agronómicas y de poscosecha, dado que es en estas etapas y no en el cultivo, donde se concentra la mayor parte de la contaminación; esto incluye la cosecha oportuna, la fermentación en infraestructura adecuada, el secado controlado hasta humedades cercanas al 7-8 %, y el almacenamiento en condiciones de baja humedad y buena ventilación.

El análisis cuantitativo de la base de datos Scopus, realizado para el período 2015-2025, identificó 45 documentos relacionados directamente con la presencia de OTA en cacao y su cadena de suministro. Esta cifra, por sí misma, evidencia que la producción científica sobre el tema sigue siendo limitada a pesar de su relevancia para la seguridad alimentaria.

En términos de distribución geográfica, las investigaciones se concentran principalmente en tres focos: África Occidental, donde Ghana, Nigeria y Costa de Marfil reúnen buena parte de los estudios de incidencia de OTA en granos de cacao a nivel de finca y de centros de acopio; América Latina, donde Brasil aporta estudios relevantes sobre la ocurrencia de OTA tanto en granos de cacao como en chocolates artesanales; y Europa y otros mercados importadores, donde existe un conjunto de estudios que evalúan la OTA en productos finales, por ejemplo de: cacao en polvo y chocolate industrial.

En la etapa de cosecha, el factor más documentado es el tiempo transcurrido entre la recolección del fruto y su apertura: al comparar aperturas realizadas a los 0, 4 y 7 días después de la cosecha, las concentraciones de OTA aumentan de aproximadamente 6,1 a 39,2  $\mu\text{g}/\text{kg}$  en lotes provenientes de frutos en mal estado (Kedjebo et al., 2015), lo que confirma que la cosecha oportuna constituye una primera línea de prevención.

En la etapa de fermentación, el tipo de infraestructura utilizada resulta determinante: la fermentación en cajas plásticas se asocia con niveles promedio de OTA de aproximadamente 4,9  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , frente a 2,2  $\mu\text{g}/\text{kg}$  en cajas de madera y 1,6  $\mu\text{g}/\text{kg}$  en hojas de banano, diferencias atribuibles a la aireación, la humedad y la dinámica microbiana propia de cada material. De manera consistente, la duración del proceso, la frecuencia de volteo y las condiciones de higiene de la infraestructura empleada influyen directamente en el riesgo de formación de la micotoxina (Dano et al., 2013).

En la etapa de secado, la estrategia más efectiva consiste en lograr un secado progresivo hasta alcanzar contenidos de humedad cercanos al 7 u 8 %, reduciendo al mínimo el tiempo en que el grano permanece en un rango de humedad favorable para el desarrollo fúngico, preferiblemente sobre plataformas elevadas y protegidas de la lluvia (Li et al., 2022).

En la etapa de almacenamiento y transporte, se identifican como factores de riesgo la humedad relativa elevada, la falta de ventilación en bodegas, el uso de sacos reutilizados contaminados, el contacto directo de los sacos con paredes y suelos húmedos, y los periodos prolongados de almacenamiento sin rotación (Banahene et al., 2023b); en consecuencia, las estrategias de mitigación en esta etapa se orientan al uso de bodegas limpias y ventiladas, la separación de los sacos del piso y las paredes, y la renovación periódica de los empaques de almacenamiento.

En la etapa de procesamiento industrial, dado que la OTA es relativamente estable al calor, los procesos térmicos habituales del tostado no la eliminan por completo (Burgon et al., 2024c), por lo que la estrategia más efectiva en esta fase consiste en el control de calidad del grano de entrada, antes de su transformación, más que en intervenciones correctivas durante el proceso.

Como estrategia emergente y complementaria, se ha explorado el uso de extractos y polvo de nuez de cola como tratamiento no invasivo, observándose disminuciones significativas de OTA en granos fermentados y secados cuando se aplican concentraciones adecuadas de este compuesto, así como el aprovechamiento de la competencia de la microflora fúngica y bacteriana desarrollada durante la fermentación como vía de biocontrol natural frente a los hongos ocratoxigénicos (Kyei-Baffour et al., 2021b).

Finalmente, en la etapa de comercialización, la articulación con esquemas de certificación y trazabilidad, el comercio justo u otros estándares de sostenibilidad, favorece una gestión más sistemática de la calidad y la inocuidad, al exigir registros más estrictos de fermentación, secado y almacenamiento (Libreros & Maya, 2025); esta estrategia se complementa con la necesidad de armonizar la normatividad nacional con los límites internacionales, como el de 3,0  $\mu\text{g}/\text{kg}$  establecido por el Reglamento (UE) 2022/1370 para cacao en polvo.

## Conclusiones

La OTA en cacao es un riesgo de salud pública que no puede ignorarse. Se confirmó que la OTA en cacao constituye un riesgo de salud pública: los niveles reportados en la literatura, alcanzan hasta 304,6  $\mu\text{g}/\text{kg}$  en grano almacenado en México y hasta 12,36  $\mu\text{g}/\text{kg}$  en Ghana, valores que en una proporción relevante de los casos superan el límite máximo de 3,0  $\mu\text{g}/\text{kg}$  establecido por el Reglamento (UE) 2022/1370 para cacao en polvo. Esto confirma que proteger la salud del consumidor exige reconocer este riesgo y gestionarlo de manera preventiva a lo largo de toda la cadena, y no únicamente en el producto terminado.

Se evidenció que la mayor parte de la contaminación se origina en la poscosecha y no en el cultivo: retrasar la apertura de la vaina de 0 a 7 días después de la cosecha incrementa la concentración de OTA de aproximadamente 6,1 a 39,2  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , es decir, más de seis veces (Kedjebo et al., 2015). De manera similar, el material empleado para la fermentación influye de forma directa en los niveles finales de la toxina: el uso de cajas plásticas se asocia con concentraciones promedio de 4,9  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , frente a 2,2  $\mu\text{g}/\text{kg}$  en cajas de madera y 1,6  $\mu\text{g}/\text{kg}$  en hojas de banano, hasta tres veces menos contaminación cuando se emplean materiales y tiempos adecuados. Estos datos confirman que la fermentación, el secado y el almacenamiento son las etapas donde se concentran los principales factores de riesgo de la cadena.

Con respecto al análisis cuantitativo de la base de datos Scopus (2015–2025), se identificaron únicamente 45 documentos relacionados con la OTA en cacao y su cadena de suministro a nivel mundial, cifra que por sí misma evidencia una producción científica limitada frente a la relevancia sanitaria. De este conjunto, la mayoría corresponde a estudios desarrollados en África Occidental (Ghana, Nigeria y Costa de Marfil) y, en menor medida, en Brasil, demostrando que los trabajos centrados específicamente en cacao colombiano siguen siendo muy

pocos. Esta brecha resulta crítica si se considera que los departamentos de Santander, Arauca, Antioquia, Tolima, Huila y Nariño concentran al rededor del 79 % de la producción nacional (Camacho et al., 2021), con Santander aportando el 42 % de ese total, pero no cuentan con estudios propios que permitan conocer los niveles reales de contaminación por OTA en sus condiciones particulares de manejo poscosecha.

También se evidenciaron diferencias significativas en la prevalencia y en la concentración de OTA entre las regiones productoras analizadas: Nigeria presentó la proporción más alta de muestras positivas, superior al 80 % (Kolawole et al., 2020), seguida de México, con 78,4 % en grano secado y 70,3 % en almacenamiento (concentraciones de hasta 304,6  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ), mientras que Ghana (21,7 %, equivalente a 113 de 520 muestras analizadas, con concentraciones de 0,01 a 12,36  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) y Brasil (30 %, con niveles generalmente inferiores a 1,2  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) registraron prevalencias e intensidades de contaminación considerablemente menores. A nivel global, la concentración media de OTA en cacao se sitúa en 2,461  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , siendo América la región con el valor medio más alto (3,16  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) frente a Asia (2,13  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) (Khammar et al., 2025).

Adicionalmente, se identificó una tendencia decreciente en los niveles globales de la toxina, que pasaron de una concentración media de 4,50  $\mu\text{g}/\text{kg}$  en 2018 a 0,95  $\mu\text{g}/\text{kg}$  en 2022, una reducción cercana al 79 % en cuatro años, lo que sugiere avances progresivos en la adopción de buenas prácticas a nivel internacional, mejora que el país no puede verificar para su propio cacao ante la ausencia de datos nacionales equivalentes.

Es necesario reconocer que muchos pequeños productores carecen de infraestructura (cajas de fermentación adecuadas, bodegas ventiladas), de acceso a capacitación continua y de recursos para invertir en mejoras. Este patrón coincide con lo documentado en África Occidental (Akwetey, 2020), donde se asocian los lotes que superan los límites recomendados de OTA con

sistemas de secado en patios improvisados, sobre el suelo y sin protección frente a la lluvia, así como con bodegas que presentan problemas de humedad y ventilación derivados de la baja capacidad de inversión.

Se confirmó que los procesos industriales (tostado, refinado, conchado) tienen una capacidad limitada para reducir la OTA debido a la estabilidad térmica de esta micotoxina; de hecho, los métodos analíticos validados para cuantificarla en chocolates terminados bean-to-bar reportan recuperaciones de entre el 84 % y el 97 % de la toxina (Burgon et al., 2024c), lo que demuestra que esta persiste en proporciones significativas a lo largo de toda la cadena de transformación. Por ello, las intervenciones más efectivas continúan ubicándose en las etapas de producción y poscosecha: cosecha oportuna, apertura temprana de los frutos del cacao, fermentación controlada en infraestructura adecuada, secado rápido y homogéneo hasta humedades cercanas al 7–8 %, y almacenamiento en condiciones de baja humedad y buena ventilación. En este sentido, las BPA y BPM no son solo requisitos normativos, sino herramientas concretas, respaldadas por evidencia cuantitativa, para disminuir la exposición del consumidor y proteger la reputación del cacao colombiano.

Se requieren políticas públicas, programas de extensión rural, certificación y mecanismos de financiamiento que permitan a los productores adoptar cambios reales, así como el desarrollo de investigación propia sobre OTA en cacao colombiano que permita cerrar la brecha de los 45 documentos identificados a nivel mundial, en su mayoría ajenos al contexto nacional, y sustentar con datos locales las decisiones de manejo, normatividad y competitividad del sector cacaotero del país.

## Recomendaciones

Fortalecer las prácticas de cosecha y poscosecha.

Cosechar las vainas en su punto óptimo de madurez y evitar acumularlas durante varios días antes de abrirlas.

Implementar fermentaciones organizadas en cajas de madera bien diseñadas, con drenaje y ventilación, evitando recipientes improvisados o plásticos cerrados.

Asegurar que el grano alcance contenidos de humedad cercanos al 7–8 % antes de ser empacado.

Utilizar bodegas limpias, ventiladas y protegidas de la humedad, manteniendo los sacos separados del piso y las paredes.

Renovar o higienizar periódicamente los sacos de almacenamiento para reducir la presencia de hongos y esporas.

Vincularse a programas de Buenas Prácticas Agrícolas y de Manufactura ofrecidos por FEDECACAO, el Ministerio de Agricultura u otras entidades.

Diseñar e implementar un programa nacional de monitoreo de OTA en cacao.

Establecer muestreos periódicos en fincas, centros de acopio y plantas de transformación para conocer los niveles reales de OTA en las principales regiones productoras.

Revisar la normatividad vigente sobre micotoxinas para incluir de manera explícita límites máximos de OTA en cacao y productos derivados, tomando como referencia las regulaciones de la Unión Europea y el Codex Alimentarius.

Realizar investigaciones que cubran toda la cadena, desde la finca hasta el producto final, integrando análisis de niveles de OTA, prácticas de manejo y condiciones climáticas.

Desarrollar modelos predictivos que permitan estimar el riesgo de OTA en función de variables como clima, tiempos de fermentación y secado, tipo de infraestructura y humedad en almacenamiento.

## Referencias Bibliográficas

- Aguilar, H., Lima, L., Septiembre De, C. A., & Suiza, C. (n.d.). *Guía de Buenas Prácticas de Poscosecha de Cacao HELVETAS Swiss Intercooperation HONDURAS FUNDACIÓN HELVETAS HONDURAS Schweizerische Eidgenossenschaft Confédération suisse Confederazione Svizzera Confederaziun svizra*.
- Akwetey, G. A. (2020). *Prevalence of Mycotoxigenic Fungi and Mycotoxins (Ochratoxin A) in Dried Cocoa Beans*. <http://ugspace.ug.edu.gh/handle/123456789/36824>
- Banahene, J. C. M., Ofosu, I. W., & Odai, B. T. (2023a). *Surveillance of ochratoxin A in cocoa beans from cocoa-growing regions of Ghana*. *Heliyon*, 9(7), e18206. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2023.E18206>
- Banahene, J. C. M., Ofosu, I. W., Odai, B. T., Lutterrodt, H. E., Agyemang, P. A., & Ellis, W. O. (2024a). *Ochratoxin A in food commodities: A review of occurrence, toxicity, and management strategies*. *Heliyon*, 10(20). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39313>
- Ben Miri, Y., Benabdallah, A., Chentir, I., Djenane, D., Luvisi, A., & De Bellis, L. (2024). *Comprehensive Insights into Ochratoxin A: Occurrence, Analysis, and Control Strategies*. *Foods*, 13(8), 1184. <https://doi.org/10.3390/FOODS13081184/S>
- Bragulat, M. R., Martínez, E., Castellá, G., & Cabañes, F. J. (2008). *Ochratoxin A and citrinin producing species of the genus Penicillium from feedstuffs*. *International Journal of Food Microbiology*, 126(1–2), 43–48. <https://doi.org/10.1016/J.IJFOODMICRO.2008.04.034>
- Burgon, V. H., da Silva, A. R. P., Milani, R. F., Taniwaki, M. H., Iamanaka, B. T., & Morgano, M. A. (2024a). *Occurrence of ochratoxin A in cocoa beans and bean-to-*

*bar chocolates*. Brazilian Journal of Microbiology 55(4), 3487–3494.

<https://doi.org/10.1007/S42770-024-01451-6>

*Cacao, derivados y chocolate* | Invierta en Colombia. (n.d.). Retrieved November 5, 2025

<https://investincolombia.com.co/es/sectores/agroindustria-y-produccion-de-alimentos/cacao-derivados-y-chocolate>

*CACAO EN COLOMBIA Este informe fue preparado para revisión por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional y el Financiado por Producido por*. (n.d.).

*cacao en grano fermentado y fresco en la caja de madera 2923582* Foto de stock en

Vecteezy. (n.d.). Retrieved November 23, 2025

<https://es.vecteezy.com/foto/2923582-granos-de-cacao-fermentados-y-frescos-que-yacen-en-la-caja-de-madera>

Champion-Martínez, E. I., González-Ríos, O., Noël, D., Meile, J.-C., Fernández, F. J., Alter, P., Montet, D., & Suarez-Quiroz, M. L. (2021). *Occurrence and distribution of ochratoxin A-producing fungi during post-harvest process of cocoa (Theobroma cacao L.)*. <https://doi.org/10.21203/RS.3.RS-359498/V1>

Charry Camacho, A., & Vélez Betancourt, A. F. (2021). *Cadenas sostenibles ante un clima cambiante*. El cacao en Colombia. *GIZ*, 1–108.

Chico, M. F. (2022). *Valorization of Cocoa by Products: Applications and Perspectives in the Food Industry*. *Alimentos Ciencia e Ingeniería*, 29(2), 57–101.

<https://doi.org/10.31243/ACI.V29I2.1857>

- Colombia reportó en 2024 producción histórica de cacao.* (n.d.-a). Retrieved November 5, 2025, <https://www.fedecacao.com.co/post/colombia-report%C3%B3-en-2024-producci%C3%B3n-hist%C3%B3rica-de-cacao>
- Dano, S. D., Manda, P., Dembélé, A., Abla, A. M. J. K., Bibaud, J. H., Gouet, J. Z., & Sika, C. B. Z. M. (2013). *Influence of Fermentation and Drying Materials on the Contamination of Cocoa Beans by Ochratoxin A.* *Toxins* 2013, Vol. 5, Pages 2310-2323, 5(12), 2310–2323. <https://doi.org/10.3390/TOXINS5122310>
- De, E., Latina, A., El, Y., Para, C., Análisis, E. L., Cadmio, D. E., El, E. N., Escrito, C., Lewis, C., Bravo, D., Carrillo, M., Ramtahal, G., Peña, K., & Tames, M. (2024). *Manual de procedimiento operativo estándar en América Latina y el Caribe para el análisis de cadmio en el cacao.* Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). <https://hdl.handle.net/11324/22949>
- De, V., & Agropecuarios, A. (n.d.). *Ministerio de agricultura y desarrollo rural estrategia de ordenamiento de la producción cadena productiva del cacao y su industria. Diagnóstico de la producción y comercialización de los productores de cacao asociados a la federación nacional de cacaoteros (FEDECACAO) en el municipio de Lebrija Santander.* (n.d.). Retrieved September 2, 2025 <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/18600>
- Díaz Rodríguez, A., Marcial, ;, Jaimes, I. S., Carlos, J., Romero, D., & Silva, M. (2018). *Relación entre las buenas prácticas de higiene y la ocurrencia de ocratoxina A en café (Coffea arabica L.) orgánico de las principales zonas cafetaleras del Perú.* *Scientia Agropecuaria*, 9(2), 177–187. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.02.02>

ELIKA Seguridad Alimentaria | *Ocratoxina A - ELIKA Seguridad Alimentaria*. (n.d.).

Retrieved November 4, 2025 <https://seguridadalimentaria.elika.eus/fichas-de-peligros/ocratoxina-a/>

Fact sheet - *Cocoa black pod (006)*. (n.d.). Retrieved November 23, 2025

[https://apps.lucidcentral.org/ppp\\_v9/text/web\\_full/entities/cocoa\\_black\\_pod\\_006.htm](https://apps.lucidcentral.org/ppp_v9/text/web_full/entities/cocoa_black_pod_006.htm)

Figura: *El mercado mundial del cacao* | *Statista*. (n.d.). Retrieved November 5, 2025

<https://es.statista.com/grafico/34319/principales-productores-e-importadores-de-cacao-en-grano-a-nivel-mundial/>

Guamán Collaguazo, C., Peraile Muñoz, I., Fernández Martínez, C., Cabria Ramos, J., Gil

García, M., Guamán Collaguazo, C., Peraile Muñoz, I., Fernández Martínez, C.,

Cabria Ramos, J., & Gil García, M. (2018). *Desarrollo de un método de detección*

*de Ocratoxina a (OTA) mediante Cromatografía Líquida de Alta Resolución con*

*Detector de Masas en Tiempo de Vuelo*. *Sanidad Militar*, 74(4), 230–233.

<https://doi.org/10.4321/S1887-85712018000400003>

Imagen de fondo de *polvo de nuez de cola* | Foto Premium. (n.d.). Retrieved November 25,

2025 [https://www.freepik.es/fotos-premium/imagen-fondo-polvo-nuez-cola\\_43672695.htm](https://www.freepik.es/fotos-premium/imagen-fondo-polvo-nuez-cola_43672695.htm)

Instituto Colombiano Agropecuario - *ICA*. (n.d.). Retrieved November 5, 2025

<https://www.ica.gov.co/noticias/capacitacion-bpa-cacao-arauca>

Kedjebo, K. B. D., Guéhi, T. S., Kouakou, B., Durand, N., Aguilar, P., Fontana, A., &

Montet, D. (2015). Effect of post-harvest treatments on the occurrence of ochratoxin

a in raw cocoa beans. *Food Additives and Contaminants - Part A*, 33(1), 157–166.

<https://doi.org/10.1080/19440049.2015.1112038>

Khammar, M., Sadighara, P., Jahed-khaniki, G., & Molaee-aghaee, E. (2025). *Prevalence and concentration of Ochratoxin A in cocoa and its products: a systematic review and meta-analysis*. *Iranian Journal of Health and Environment*, 18(2), 375–390.

<http://ijhe.tums.ac.ir/article-1-6970-en.html>

Kolawole, O. O., Salawu, A. R., Okunade, A. F., & Aroyeun, S. O. (2020). *Ochratoxin A: A Persistent Menace in Nigerian Stored Cocoa Beans*. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 39(17), 86–92.

<https://doi.org/10.9734/cjast/2020/v39i1730756>

Kwadzo, M. (2017). *The Impact of Postharvest Practices on the Poverty Status of Smallholder Cocoa Farmers. The Case of Ellembelle District in the Western Region of Ghana*. *Journal of Economics and Sustainable Development*, 8(24), 229–236.

<https://www.iiste.org/Journals/index.php/JEDS/article/view/40385>

Kyei-Baffour, V. O., Kongor, J. E., Anyebuno, G., Budu, A. S., Firibu, S. K., & Afoakwa, E. O. (2021a). *A validated HPLC – FLD method for the determination of mycotoxin levels in sun dried fermented cocoa beans: Effect of cola nut extract and powder*.

*LWT*, 148, 111790. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111790>

La producción cacaotera nacional sigue creciendo: en 2021 logra un nuevo récord histórico.

(n.d.). Retrieved November 5, 2025 [https://www.fedecacao.com.co/post/la-](https://www.fedecacao.com.co/post/la-produccion-cacaotera-nacional-sigue-creciendo-en-2021-logra-un-nuevo-r%C3%A9cord-hist%C3%B3rico)

[produccion-cacaotera-nacional-sigue-creciendo-en-2021-logra-un-nuevo-](https://www.fedecacao.com.co/post/la-produccion-cacaotera-nacional-sigue-creciendo-en-2021-logra-un-nuevo-r%C3%A9cord-hist%C3%B3rico)

[r%C3%A9cord-hist%C3%B3rico](https://www.fedecacao.com.co/post/la-produccion-cacaotera-nacional-sigue-creciendo-en-2021-logra-un-nuevo-r%C3%A9cord-hist%C3%B3rico)

- Li, X., Ma, W., Ma, Z., Zhang, Q., & Li, H. (2021). *The Occurrence and Contamination Level of Ochratoxin A in Plant and Animal-Derived Food Commodities*. *Molecules* 2021, Vol. 26, Page 6928, 26(22), 6928.  
<https://doi.org/10.3390/MOLECULES26226928>
- Li, X., Ma, W., Ma, Z., Zhang, Q., & Li, H. (2022). *Recent progress in determination of ochratoxin a in foods by chromatographic and mass spectrometry methods*. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(20), 5444–5461.  
<https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1885340>
- Libreros, M. M. O., & Maya, C. M. M. (2025). *Prácticas sostenibles en la cadena de valor del cacao: una revisión sistemática de literatura*. *Tendencias*, 26(1), 191–215.  
<https://doi.org/10.22267/RTEND.252601.270>
- Manda, P., Adanou, K. M., Ardjouma, D., Adépo, A. J. B., & Dano, D. S. (2016). Occurrence of ochratoxin A in spices commercialized in Abidjan (CIV). *Mycotoxin Research*, 32(3), 137–143. <https://doi.org/10.1007/s12550-016-0248-8>
- Ocratoxina “A” en cacao y sus derivados. - *Poscosecha Cacao*. (n.d.). Retrieved November 5, 2025 <https://poscosechacacao.com/2022/02/ocratoxina-a-en-cacao-y-sus-derivados/>
- OMC | *Acuerdo sobre la Aplicación de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias (Acuerdo MSF)*. (n.d.). Retrieved September 2, 2025  
[https://www.wto.org/spanish/tratop\\_s/sps\\_s/spsagr\\_s.htm](https://www.wto.org/spanish/tratop_s/sps_s/spsagr_s.htm)
- Prevalence and concentration of Ochratoxin A in cocoa and its products: *a systematic review and meta-analysis*. (n.d.). Retrieved November 23, 2025  
[https://www.researchgate.net/publication/395688945\\_Prevalence\\_and\\_concentration](https://www.researchgate.net/publication/395688945_Prevalence_and_concentration)

[of Ochratoxin A in cocoa and its products a systematic review and meta-analysis](#)

Ruiz Soliz, L. E. (2024). *Fermentación de cacao y su efecto en la concentración de metales pesados*. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/17147>

Sánchez Arroyo, A. (2024). *Identificación y caracterización de enzimas bacterianas con capacidad para transformar ocratoxina A*.

<https://hdl.handle.net/20.500.14352/111864>

Schrenk, D., Bodin, L., Chipman, J. K., del Mazo, J., Grasl-Kraupp, B., Hogstrand, C., Hoogenboom, L., Leblanc, J. C., Nebbia, C. S., Nielsen, E., Ntzani, E., Petersen, A., Sand, S., Schwerdtle, T., Vleminckx, C., Wallace, H., Alexander, J., Dall'Asta, C., Mally, A., ... Bignami, M. (2020). *Risk assessment of ochratoxin A in food*. EFSA Journal, 18(5), e06113. <https://doi.org/10.2903/J.EFSA.2020.6113>

Vallejo-López, A. B., Flores-Murillo, C. R., & Moran-Mosquera, D. (2025). *Micotoxinas en la cadena alimenticia y su impacto en la salud*. MQRInvestigar, 9(1), e158.

<https://doi.org/10.56048/MQR20225.9.1.2025.e158>

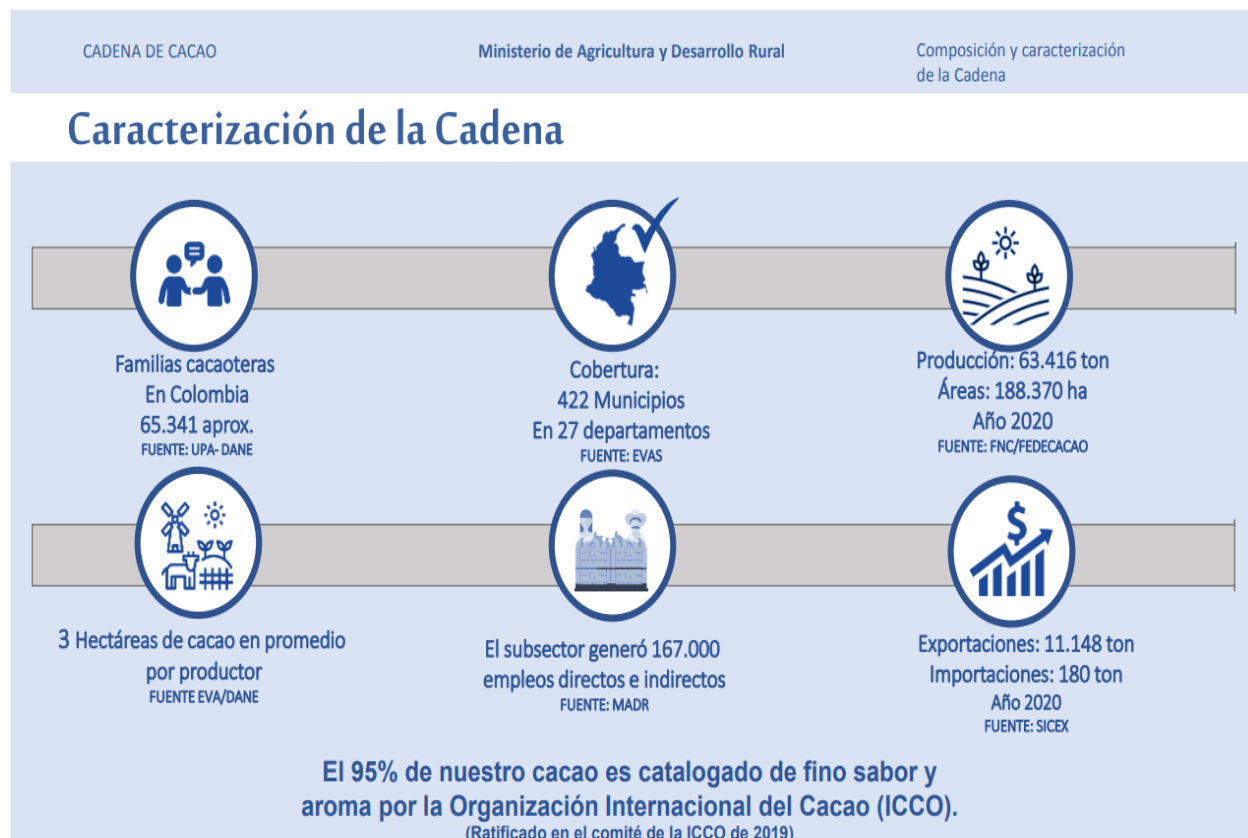
Vivek Voora, S. B. L. (2022). *Global Market Report: Cocoa*. IISD. <https://iisd.org/ssi/>

Yovany, E., Sandoval, A., José, P., Merchán, A., Fernanda, A., Rodríguez, B., Díaz, E. P., Antonio, P., & Cely, S. (2020). *Estado actual de la cacaocultura: una revisión de sus principales limitantes*. Revista Ciencia y Agricultura, ISSN 0122-8420, ISSN-e 2539-0899, Vol. 17, N° 2, 2020 (Ejemplar Dedicado a: Mayo-Agosto 2020), Págs. 1-11, 17(2), 1–11. <https://doi.org/10.19053/01228420.v17.n2.2020.10729>

## Apéndices

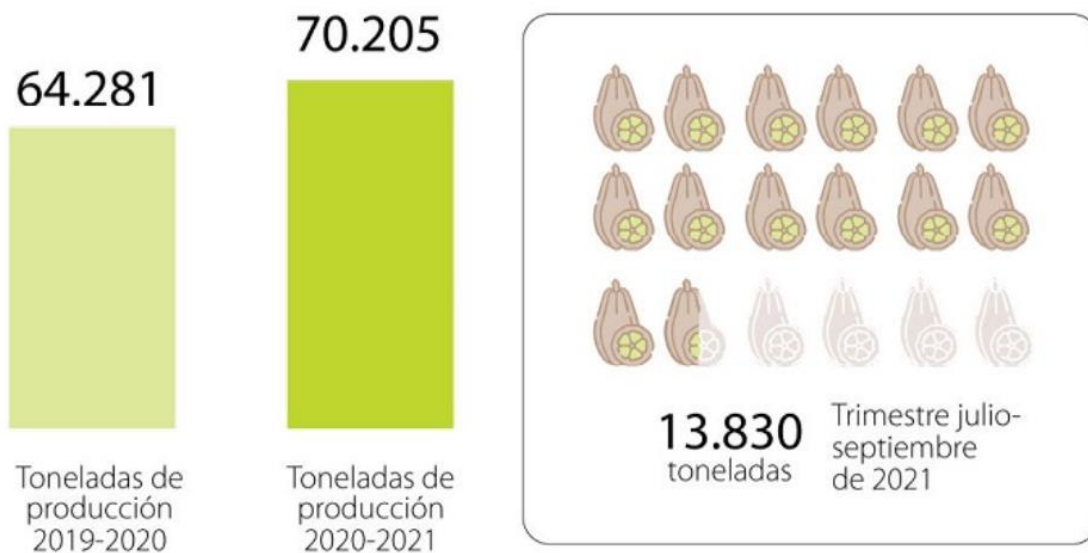
### Apéndice A

#### Caracterización de la cadena



## Apéndice B

### Registro de producción



Trimestre julio-septiembre de 2021 registró una producción de 13.830 toneladas frente a 10.743 en el mismo ejercicio de 2020 con crecimiento 29%

## Apéndice C

Resolución 4506 del 2013

RESOLUCIÓN NÚMERO 004506 DE 2013 30 OCT. 2013 HOJA No 3 de 10

Continuación de la resolución "Por la cual se establecen los niveles máximos de contaminantes en los alimentos destinados al consumo humano y se dictan otras disposiciones"

**Aflatoxina:** Son micotoxinas que pueden ser producidas por tres tipos de mohos de la especie *Aspergillus*: *A. flavus*, *A. parasiticus* y *A. nomius*, que contaminan las plantas y productos vegetales. Existen cuatro aflatoxinas importantes: B1, B2, G1, G2. Adicionalmente, las aflatoxinas M1 y M2 son los metabolitos hidroxilados de las aflatoxinas B1 y B2.

**Contaminante:** Es cualquier sustancia no añadida intencionalmente y que se encuentre presente como resultado de la producción (incluidas las operaciones realizadas en agricultura, zootecnia y medicina veterinaria), fabricación, elaboración, preparación, tratamiento, envasado, empaçado, transporte o almacenamiento del alimento, o como resultado de la contaminación ambiental. El término no abarca fragmentos de insectos, pelos y otras materias extrañas.

Se exceptúan de la presente definición los siguientes contaminantes:

- Los contaminantes presentes en los alimentos que afecten la buena calidad del producto, sin afectar la inocuidad del mismo.
- Los residuos de plaguicidas.
- Los residuos de medicamentos veterinarios.
- Las toxinas microbianas diferentes a las micotoxinas.
- Los residuos de coadyuvantes de elaboración.

**Deoxinivalenol (DON, vomitoxina):** Es una micotoxina que pertenece a la familia de los tricotecenos producidos en su mayoría por hongos del género *Fusarium* principalmente *Fusarium graminearum* (*Gibberella zeae*) y *F. culmorum*.

**Estaño inorgánico:** Se encuentra en los alimentos en los estados de oxidación +2 y +4; puede ocurrir en forma catiónica (componentes estañosos y estánnicos) o como aniones (estanitos o estanatos).

**Fumonisinina:** Son micotoxinas producidas por hongos del género *Fusarium*. Las únicas especies que producen cantidades significativas de fumonisinas son *Fusarium verticillioides* y *F. proliferatum*. La fumonisina B1 es la más importante.

**Nivel Máximo (NM):** Es la máxima concentración de una determinada sustancia en un alimento que es permitida legalmente.

**Ocratoxina:** Son micotoxinas producidas por varias especies de hongos del género *Aspergillus* y *Penicillium*. Estos hongos son ubicuos y la posibilidad de contaminación de los productos alimenticios y alimentos para animales está muy extendida. Existen varias ocratoxinas siendo la Ocratoxina A la más importante y es producida por *Aspergillus ochraceus* y *Penicillium verrucosum*.

**Patulina:** Es una micotoxina producida por algunas especies de los géneros *Aspergillus* y *Penicillium*, incluyendo *A. clavatus*, *P. expansum*, *P. patulum*, *P. Aspergillus* y *Byssochlamys P.*

**Zearalenona:** Es una micotoxina estrogénica no esteroidea producida por varios *Fusarium spp.*

## Apéndice D

### Producción nacional

