



Scientia Agropecuaria

Web page: <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop>

Facultad de Ciencias
Agropecuarias

Universidad Nacional de
Trujillo



RESEARCH ARTICLE

Global studies of cadmium in relation to *Theobroma cacao*: A bibliometric analysis from Scopus (1996 -2020)

Estudios globales sobre el cadmio en relación con *Theobroma cacao*: Un análisis bibliométrico desde Scopus (1996 -2020)

Ligia García^{1,*} ; Fabio Angulo Castro¹ ; Angel David Hernández-Amasifuen^{1,2} ; Mike Anderson Corazon-Guivin⁴ ; Javier Alburquerque Vásquez^{1,5} ; Juan Carlos Guerrero-Abad⁶ ; Erick Arellanos³ ; Jaris Veneros^{7,3} ; Nilton B. Rojas B.³ ; Segundo Chavez Quintana^{1,3} ; Manuel Oliva³ 

¹ Instituto de Investigación, Innovación y Desarrollo para el Sector Agrario y Agroindustrial de la Región Amazonas (IIDAA). Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Chachapoyas 0100. Peru

² Departamento de Fitotecnia. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Agraria La Molina, La Molina. Av. La Molina s/n, Lima. Peru.

³ Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Calle Higos Urco N° 342-350-356, Calle Universitaria N° 304, Chachapoyas. Peru.

⁴ Laboratorio de Biología y Genética Molecular, Universidad Nacional de San Martín, Jr. Amarca N° 315, Morales. Peru.

⁵ Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Piura, Urb. Miraflores S/N, Castilla. Peru.

⁶ Centro Experimental La Molina, Dirección de Recursos Genéticos y Biotecnología, Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), Av. La Molina 1981, Lima. Peru.

⁷ Department of Ecology, Montana State University, P.O. Box 173460, Bozeman, MT 59717. United States.

* Corresponding author: ligia.garcia@untrm.edu.pe (L. García).

Received: 28 July 2021. Accepted: 21 November 2021. Published: 15 December 2021.

Abstract

The maximum cadmium tolerance standards were established by the European Union in 2014, for the importation of cocoa-based products, causing concern in the countries. Global studies on *Theobroma cacao* research related to cadmium activity in the atmosphere were analyzed. Bibliometric analyses in R and VOSviewer programs were used to examine 64 documents published in the Scopus database according to keywords. We identified 811 keywords in the co-occurrence of terms, 5 thematic groups in the bibliographic coupling, 20 institutions as most important affiliations, 20 countries of origin of corresponding authors, 112 institutions in co-authorship network of which 5 are in primary documents, and two groups in thematic similarity in co-citation of documents. The United States leads the scientific production with 11 papers, followed by Colombia (8) and Ecuador (7). In 1996, the first scientific article was registered for the network, with increases of up to 11 publications by 2020. In conclusion, the need to strengthen and create more research networks between countries, institutions, authors, and co-authors is evident. It is hoped that the results will allow a comprehensive unraveling of the cadmium-cocoa research trajectory, while at the same time yielding new prospective research.

Keywords: bibliometric analysis; cadmium; *Theobroma cacao*; co-occurrences; co-citations; historiography.

Resumen

En el año 2014, la Unión Europea impuso estándares máximos de tolerancia en cadmio, para la importación de productos a base de cacao, causando preocupación en los países. Se analizaron estudios globales referidos a investigaciones en *Theobroma cacao*, relacionados con la actividad del cadmio en la atmósfera. Se utilizaron análisis bibliométricos en los programas R y VOSviewer, para examinar 64 documentos publicados en la base de datos Scopus según palabras clave. Se identificaron 811 palabras clave en coocurrencias de términos, 5 grupos temáticos en acoplamiento bibliográfico, 20 instituciones como afiliaciones más importantes, 20 países de procedencia de autores correspondientes, 112 instituciones en red de coautoría de los cuales 5 están en documentos primarios, y dos grupos en similitud temática en co-citación de documentos. Estados Unidos lidera la producción científica con 11 documentos, seguido de Colombia (8) y Ecuador (7). En 1996 se registró el primer artículo científico para la red, con incrementos de hasta 11 publicaciones al 2020. En conclusión, se evidencia la necesidad de fortalecer y crear más redes de investigaciones entre países, instituciones, autores y coautores. Se espera que los resultados permitan desentrañar de manera integral la trayectoria de investigaciones cadmio-cacao, al tiempo que arrojen nuevas investigaciones prospectivas.

Palabras clave: Análisis bibliométrico; cadmio; *Theobroma cacao*; coocurrencias; co-citaciones; historiografía.

DOI: <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.065>

Cite this article:

García, L., Angulo Castro, F., Hernández-Amasifuen, A. D., Corazon-Guivi, M. A., Alburquerque Vásquez, J., et al. (2021). Estudios globales sobre el cadmio en relación con *Theobroma cacao*: Un análisis bibliométrico desde Scopus (1996 -2020). *Scientia Agropecuaria*, 12(4), 611-623.

1. Introducción

Aumentar las inversiones en investigación y desarrollo es una medida eficaz para promover el progreso económico y social (Wang & Zhang, 2020). Los resultados de estas investigaciones generalmente son medibles a través de cantidad y calidad de artículos científicos, y libros, indexados en alguna base de datos (Baas et al., 2020). A nivel global, la inversión total en investigación agrícola ha crecido considerablemente en las últimas décadas (Beintema & Echeverría, 2020). Financian investigaciones en agricultura, instituciones internacionales como las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, el CCAFS (asociación de los 15 centros del CGIAR con otros 27 socios estratégicos) (Nelson & Morton, 2020), los bancos multilaterales de desarrollo (BMD), dentro del cual constan el Banco Interamericano de Desarrollo y el Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA) (Nelson & Morton, 2020), así como institutos de investigación y universidades nacionales, entre otros. El sector privado está desempeñando un papel importante en el desarrollo de tecnologías para aumentar la productividad en la agricultura (Fuglie, 2016). Sin embargo, el creciente consenso indica que, es necesaria una mayor armonización de la financiación y la ejecución de la investigación para afrontar con mayor eficacia los retos de la investigación agrícola mundial (Beintema & Echeverría, 2020).

Theobroma cacao, es considerado de gran importancia económica (Bertoldi et al., 2016) debido a que sus semillas son el recurso para la elaboración de uno de los productos más consumidos a nivel global, el chocolate (Moore et al., 2020), así como sus derivados y subproductos (de Almeida et al., 2007). El cacao es una de las materias primas más estudiadas en todo el mundo (Lafargue-Molina, 2021), y al ser las regiones tropicales de África y América las mayores productoras de cacao (ICCO, 2021), los aspectos comerciales de este cultivo adquieren una importancia económica considerable con la Organización Mundial del Comercio (OMC) (Nair, 2021). En el mundo, dos tercios del cacao ingresan al comercio internacional, actualmente en expansión, puesto que el valor que representó en el 2015 fue de \$304 millones de dólares americanos (USD) lo que significó para los productores un incremento de \$100 a \$300 USD por tonelada (Molina et al., 2020). Las exportaciones mundiales de cacao en grano y elaborados han registrado un crecimiento importante alcanzando en el 2020 USD \$850 (millones), en comparación con el año 2019 que fueron de \$720 (Alcívar-Córdova et al., 2021). En el Perú, por ejemplo, las exportaciones de cacao en grano durante el 2020 fueron de USD 130.6 millones, convirtiéndose en una variante de desarrollo económico para aproximadamente 90 mil familias dependientes de su producción (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego – Perú). En el año 2014, la Unión Europea (UE), aduciendo que el cadmio (Cd) tiende a bioacumularse en granos de *Theobroma cacao*, y que su consumo es perjudicial para la salud humana (Rofner, 2021), aprobó el Reglamento N° 488/2014 (Unión Europea-UE, 2014), en lo que respecta a los niveles máximos de cadmio en los productos alimenticios, incluidos productos específicos de cacao y chocolate (Jiménez, 2015).

Las concentraciones de Cd en granos de cacao de diversas procedencias, particularmente de América Latina, superaron las nuevas regulaciones impuestas por la Unión Europea en 2019 (Engbersen et al., 2019a). Sin embargo, el reglamento no estipula límites máximos de cadmio en cacao sin procesar, lo cual da pie a una amplia diversidad de investigaciones que busquen mitigar esos límites máximos de tolerancia. Por los motivos expuestos, este trabajo exploró investigaciones en *Theobroma cacao*, que tienen alguna relación con la actividad del cadmio en la atmósfera.

Se usaron metodologías bibliométricas, para discernir la influencia relativa de publicaciones científicas indexadas en Scopus, que estuvieron relacionadas con cadmio y *Theobroma cacao*; y cómo esos documentos se agrupan en redes (Vogel et al., 2020). Se usaron documentos primarios, es decir, los identificados a partir de nuestra búsqueda de palabras clave que citan otros documentos (Martín & Lafuente, 2017). Se clasificó según, características bibliométricas respecto a palabras más relevantes, acoplamientos bibliográficos de documentos, instituciones, áreas temáticas más productivas, tendencias de publicaciones a través de los años, número de coautores, país de afiliación (Angulo-Bazán, 2020). Se pretende que este documento permita satisfacer las necesidades de información que demandan las actividades de investigación y desarrollo tecnológico de la comunidad científica y técnica (Boeris, 2010) relacionados con cadmio y *Theobroma cacao*. Se busca optimizar los recursos públicos y unificar esfuerzos de instituciones públicas y privadas, enlazando nuevas redes de investigaciones entre entidades interesadas en investigaciones comunes enfocadas en resolver los problemas de producción y comercialización de cacao, sus derivados, y nuevas tendencias de investigaciones en redes.

2. Materiales y métodos

Se realizó un análisis bibliométrico sistemático, por ser una herramienta analítica útil para obtener una mejor comprensión de los patrones de investigación, las características de los campos de investigación (Wu et al., 2015), y el reconocimiento de temas emergentes (Small et al., 2014). La búsqueda bibliográfica fue mediante la base de datos Scopus (Aria & Cuccurullo, 2017), ya que abarca un amplio número de revistas a nivel mundial (Bakkalbasi et al., 2006; Bar-Ilan, 2010). Se registraron todos los artículos científicos, con la búsqueda en coincidencias exactas de las palabras clave: "cacao", "*Theobroma cacao*" y "cadmium". Se realizó la consulta involucrando los temas, los títulos, resúmenes y palabras clave. Obteniendo como resultado, 67 documentos, de los cuales se excluyeron para el análisis bibliométrico aquellos que no se encontraban en los idiomas inglés o español, reduciendo así el total de documentos procesados a 64. Del total, 59 fueron artículos científicos, 3 papers de conferencias, y 2 artículos de revisión. Empleamos cuatro enfoques bibliométricos: el acoplamiento bibliográfico (Kessler, 1963; Vogel et al., 2020), la historiografía (Garfield, 2004), la coocurrencia y co-citación de documentos (Hjørland, 2013; Small et al., 2014).

El procesamiento y análisis de la información se desarrolló empleando los programas VOSviewer y R (CRAN, The Comprehensive R Archive Network, <https://cran.r-project.org/>), que mediante el paquete Bibliometrix (Aria & Cuccurullo, 2017) nos permitió visualizar redes bibliométricas que incluyan revistas, publicaciones individuales y afiliación de autores (Merigó et al., 2018). Al ser el software R, un entorno de con enfoque estadístico programación (Febrero-Bande & Oviedo De La Fuente, 2012) pudimos hacer uso de la herramienta, BIBLIOMETRIX, de código abierto para la investigación en cienciometría y bibliometría (Ravikumar et al., 2015).

El procedimiento del análisis bibliométrico para determinar la cantidad y calidad de conocimiento científico, en relación con la palabra clave "cacao", "Theobroma cacao" y "cadmium", se procedió en 3 pasos principales: 1) Se eligió la base de datos Scopus y se designó los programas Bibliometrix en R y VOSviewer para desarrollar los análisis y el mapeo científico. Se exportaron todos los documentos (59 artículos, 3 conference paper y 2 reviews) en formato BibTeX y CSV, para poder analizarlos en cada programa respectivamente. 2) Se usó un análisis bibliométrico para obtener información de producción científica anual, producción científica por países, coocurrencias de palabras clave, fuentes de información más relevantes, autores más relevantes, afiliaciones más importantes y el agrupamiento bibliográfico por autores, documentos y países. 3). Se reportaron los resultados obtenidos en el

paso anterior, discutiendo los resultados encontrados con su respectiva trascendencia y correspondencias entre ellos.

3. Resultados y discusión

Coocurrencias de términos y acoplamiento bibliográfico de documentos

Por análisis de co-palabras se entiende el estudio de las coocurrencias, o apariciones conjuntas, de dos términos en un texto dado, con el propósito de identificar la estructura conceptual y temática de un dominio científico (Galvez, 2018). La Figura 1, muestra la red de conexión de términos, que se aplicaron con al menos 10 ocurrencias dentro de las palabras clave. Se identificaron un total de 811 palabras clave, que permitieron descubrir el hotspot en los documentos científicos analizados en esta investigación. Sin embargo, sólo 20 palabras cumplieron con el umbral determinado (10 ocurrencias). Las más frecuentes fueron: "cadmium" con 113 ocurrencias, "cacao" con 69, y "Theobroma cacao" con 46, siendo estos términos los de mayor importancia en el estudio. Las palabras como "soil", "article", "lead", "bioaccumulation" y "zinc", son términos de segundo orden ya que poseen menos de 40 ocurrencias. Las palabras mencionadas menos de 20 veces (chemistry, manganese, heavy metal, manganese, agriculture, Ecuador, priority journal.) resultan insignificantes al momento de determinar las palabras claves generales del estudio.

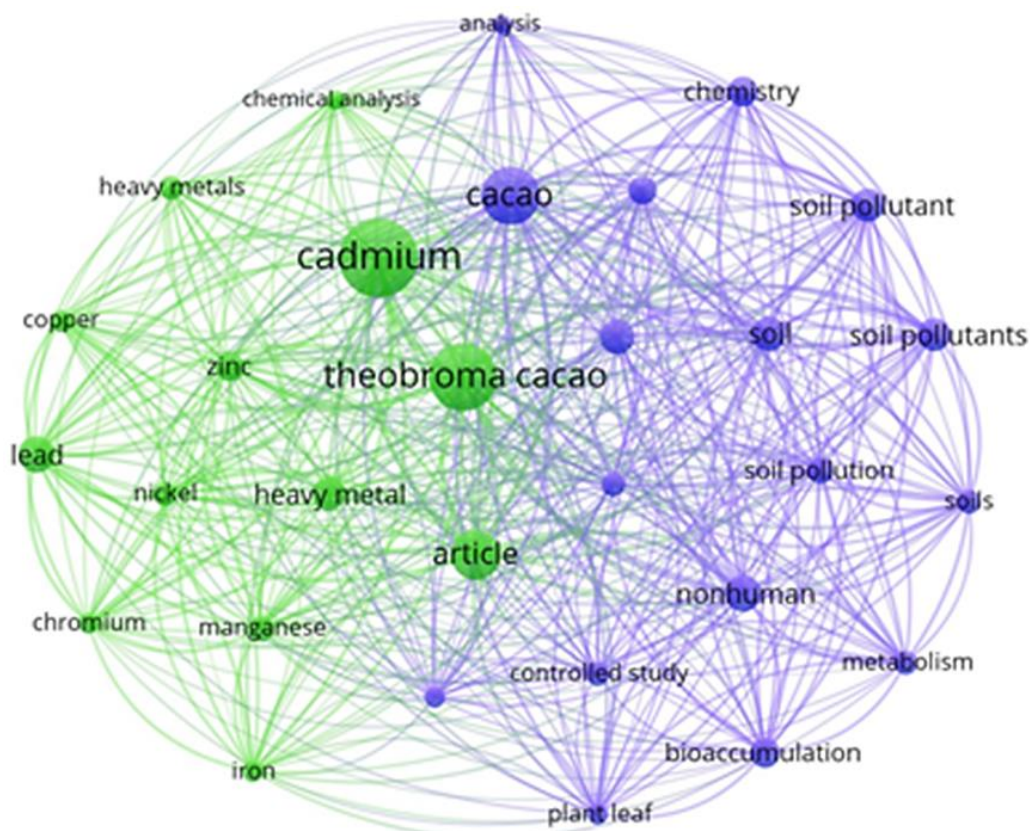


Figura 1. Coocurrencia de palabras clave usando la visualización de red VOSviewer.

Las medidas de similitud sirvieron como input para el análisis de agrupamiento (clustering) (Galvez, 2018), formándose 2 grupos, uno de cada color (Figura 1). Las palabras "cacao", "cadmium" y "*Theobroma cacao*" fueron las más representativas en función de las citas, asignadas en el grupo 1 (color verde). Así mismo, los términos "cacao" y "soil" fueron representativos para el grupo 2 (color lila). Cada grupo está conectado tangencialmente y representa la fuerza o la cercanía de esas interrelaciones de documentos (Donthu et al., 2021; Leung et al., 2017). Cada nodo de la red representa una palabra clave, y el tamaño del nodo indica la ocurrencia de la palabra clave. El lazo entre los nodos representa la coocurrencia entre las palabras clave. El grosor de la línea de enlace indica la ocurrencia o coocurrencias entre las palabras clave.

Acoplamiento Bibliográfico

Los grupos temáticos creados mediante el análisis de co-citas y el acoplamiento bibliográfico arrojan luz sobre los principales temas que sustentan la estructura intelectual y su desarrollo a lo largo del tiempo en el campo de la investigación (Mulet-Forteza et al., 2020). En la Figura 2, se observa la similaridad temática por acoplamiento bibliográfico, para estudios relacionados a la actividad del cadmio con *Theobroma cacao*. Se determinaron las relaciones que existen en los documentos científicos estudiados en esta investigación. El análisis investigó si dos documentos primarios tienen al menos una referencia (es decir, un documento secundario) en común (Kessler, 1963). En esta investigación, resultaron 5 los grupos de documentos "acoplados" (superpuestos), respecto a las bibliografías de los documentos primarios, basados en la aparición conjunta de las citas y referencias de los autores (Boeris, n.d.). La Figura 2 muestra cada grupo, con la respectiva red de temáticas que marcaron el siguiente acoplamiento: grupo 1: cadmium 500% cacao 300% forestry 200%, Grupo 2: Cadmium 241,7% cacao 147,1% soil 76.5%, Grupo 3: cadmium 190,9% cacao 63,6% bioaccumulation 100%; Grupo 4: cadmium 140% cacao 80% lead 72%, Grupo 5: adsorption 200% acidity 100% aluminum 100%.

La centralidad es una métrica, referida al número de vínculos relacionales de investigación en una red (Donthu et al., 2021). Los vínculos encontrados, clasificados en temáticas, para una red de autorías se muestran en la Figura 2. En el grupo 1, la centralidad es de 3,37, es decir que, un autor de la red en este grupo ha trabajado con un promedio de 3,37 autores en común. Así mismo, en los grupos 2, 3, 4 y 5, se mostraron valores menores de centralidad, es decir que son valores correspondientes a un autor de la red de cada grupo, que ha trabajado con un promedio de 2,53; 1,33; 1,32 y 1,17 autores en común, respectivamente.

Estas medidas de centralidad proporcionan una visión actual (presente) de las investigaciones de cadmio relacionadas con cacao, puesto que los documentos primarios que incluyen citas son de facto, más recientes que los documentos secundarios citados (Vogel et al., 2020). Sin embargo, no presentan información sobre el papel que desempeña un componente de análisis en el campo de la investigación (Donthu et al., 2021). Por ello, en adelante se discute relaciones entre temáticas, prioridades de tendencias, e identificación de temas emergentes y posibles desarrollos futuros en la literatura (van Raan, 2005).

Grupo 1: cadmium-cacao-forestry

Existe un mecanismo de absorción por las raíces, para el transporte de cadmio hacia las partes superiores de la planta (Ganesan, 2008). Esto es debido a la presencia de una familia de proteínas transportadoras de metales/protones, Natural Resistance-Associated Macrophage Proteins (NRAMPs) (Moore et al., 2020). NRAMPs son responsables de la toma de cationes bivalentes vitales nutricionalmente como Fe²⁺, Mn²⁺, Zn²⁺ (Song et al., 2017). Aprovechando la similitud entre estos iones, el cadmio ingresa a la planta haciendo uso de los mismos transportadores no específicos (Sasaki et al., 2014). La actividad de los NRAMPs causa graves efectos negativos en el crecimiento y desarrollo de la planta (DalCorso et al., 2008; Ullah et al., 2018).

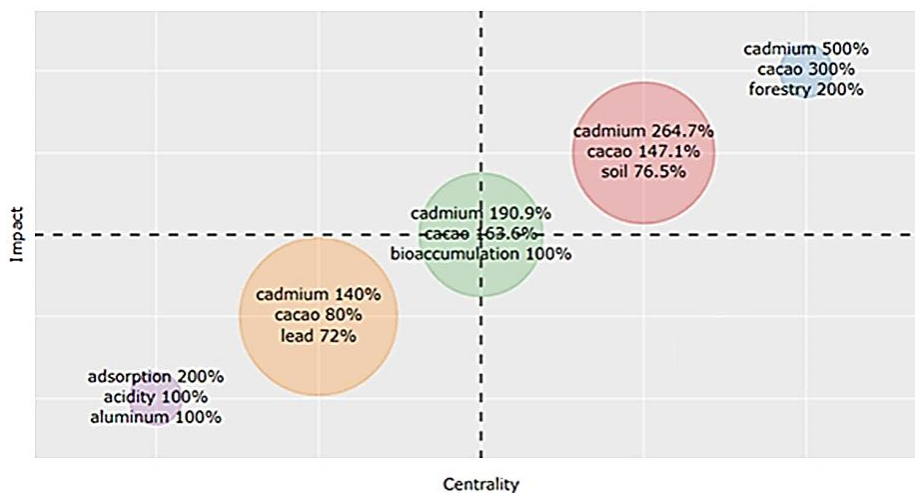


Figura 2. Acoplamiento bibliográfico. Donde: Cluster 1: cadmium 500% cacao 300% forestry 200% Cluster 2: Cadmiun 241.7% cacao 147.1% soil 76.5% Cluster 3: cadmium 190.9% cacao 63.6% bioaccumulation 100% Cluster 4: cadmium 140% cacao 80% lead 72% Cluster 5: adsorption 200% acidity 100% aluminum 100%.

En este sentido, la similaridad temática por acoplamiento bibliográfico, muestra una relación entre 17 investigaciones. Las temáticas están referidas principalmente a propiedades del suelo (Araujo-Abad et al., 2020; Argüello et al., 2019, 2020; Barraza et al., 2018; Barraza et al., 2021; Bravo & Benavides-Erazo, 2020; Casteblanco, 2018; Ramtahal et al., 2019; Romero-Estévez et al., 2019; Scott et al., 2019), diferencias de absorción en cultivares y aspectos genéticos (Engbersen et al., 2019b; Moore et al., 2020; Ullah et al., 2018), factores agronómicos (Argüello et al., 2019) y desafíos y perspectivas de la investigación del Cd-cacao (Maddela et al., 2020), y estudios referidos a poscosecha y agroindustria (Kataoka et al., 2018).

Grupo 2: Cadmium-cacao-soil

La contaminación de suelos agrícolas con metales pesados como el cadmio es perjudicial por su alta toxicidad, su capacidad acumulativa, y su persistencia en el ambiente (Bansah & Addo, 2016; Zhu et al., 2018), comprometiendo la calidad y productividad del suelo (García et al., 2001; Zarcinas et al., 2004).

Para el segundo grupo del acoplamiento bibliográfico, se determinó una similaridad temática en 11 artículos científicos. Las investigaciones se enfocan en la mitigación de respuestas fisiológicas en plantas de cacao, frente al cadmio del suelo (Adeyeye et al., 2005; Arévalo-Gardini et al., 2017; Castro et al., 2015; dos Santos et al., 2020; Lewis et al., 2018, 2021; Odoemelam et al., 2011; Oliveira et al., 2020; Pereira de Araújo et al., 2017; Pérez et al., 2019; Pisco et al., 2018).

Grupo 3: Cadmium-Cacao-Bioaccumulation

La eficiente transferencia de Cd del suelo a la planta (bioacumulación) (Lugon-Moulin et al., 2004), significa que los alimentos representan alrededor del 90% de la exposición al Cd para los humanos (Clemens & Ma, 2016; Lewis et al., 2018). Las plantas absorben cadmio como catión divalente (Cd^{2+}), el cual es de gran movilidad (Nguyen et al., 2016). A pesar de que el cadmio no posee una función biológica en particular, puede acumularse en las raíces, brotes y partes comestibles de las plantas (Rascio & Navari-Izzo, 2011; Zarcinas et al., 2004), como por ejemplo en las hojas y granos de cacao (Hirzel et al., 2017). *Theobroma cacao* puede acumular cadmio sin la necesidad de encontrarse en suelos altamente contaminados (Argüello et al., 2019).

Este grupo de acoplamiento bibliográfico mostró similaridad temática entre sólo 2 artículos científicos. La bioacumulación de cadmio en plantas de cacao según las características del sistema de producción fue la temática que los agrupó (Gramlich et al., 2018).

Grupo 4: Cadmium-Cacao-Lead y Grupo 5: Adsorption-Acidity-Aluminum

Metales pesados como el cadmio, aluminio y plomo, han sido ampliamente reconocidos como una gran amenaza para la salud humana (Järup et al., 1998; Louekari et al., 2008). El cadmio, por ejemplo, es uno de los elementos más tóxicos en el medio ambiente (Kaya et al., 2019). Estudios le catalogan como un compuesto carcinógeno del Grupo 1 por la International Agency for Research on

Cancer (Nordberg, 2009). Los metales pesados, pueden poner en riesgo la salud humana (produciendo disfunción renal, osteoporosis, varios tipos de cáncer, etc.) si llegan a introducirse en la cadena alimentaria (Chen et al., 2007; Nawrot et al., 2006; Nawrot et al., 2010).

Los grupos 4 y 5 presentan acoplamiento bibliográfico con similaridad temática de 25 y 2 artículos científicos, respectivamente. El nivel de centralidad de 1.32 y 1.17 (para los grupos 4 y 5 respectivamente), concuerdan con un alejamiento de la temática central, enfocada en los esfuerzos de líneas de investigaciones que ayuden a mitigar los niveles de cadmio en el cacao de exportación a la Unión Europea.

Tendencias de publicaciones a través de los años

La producción de documentos por año, relacionados con los términos "cacao", "cadmium" y "*Theobroma cacao*" en la base de datos SCOPUS, se muestra en la Figura 3. En el año 2014, la Unión Europea-UE (2014), modificó el Reglamento CE nº 1881/2006, en lo que respecta al contenido máximo de cadmio en los productos alimentarios. Desde ese año, es notorio un aumento de investigaciones, con un promedio de producción científica para el periodo 2015 - 2021 de 6,7 artículos por año. Los valores superan ampliamente a los 1,6 artículos por año como promedio para el periodo 1996 - 2013. Sin embargo, consideramos que aún es necesario, que se expongan más investigaciones, que enmarquen estrategias más concretas a nivel de sistemas de producción, para poder cumplir con las Regulaciones Europeas.

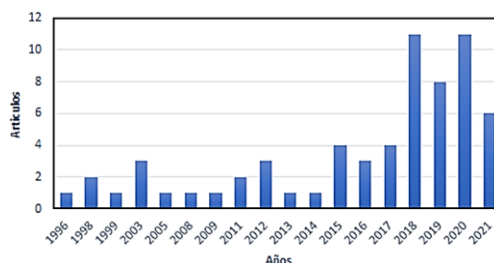


Figura 3. Producción científica anual.

Producción científica por país, y países más citados

La mayor diversidad genética del cacao se ubica en los bosques húmedos de los afluentes del alto Amazonas (Sur de Ecuador y norte de Perú), de donde se sugiere su centro de origen (Zarrillo et al., 2018), y fue domesticado por primera vez en Mesoamérica (Powis et al., 2002). Respecto a niveles de producción agrícola, Costa de Marfil se perfila como el primero a nivel global, en tanto que, Brasil y Ecuador ocupan los primeros puestos en el continente americano (ICCO, 2021). Cabría esperar que alguno de los países mencionados, destaquen en frecuencias de producción científica o en número de citas por publicación, para las palabras clave: Cadmium-*Theobroma cacao*, sin embargo, esa no es la tendencia. Las figuras 4a y 4b, muestran la frecuencia de producción científica por país, y número de citas por publicación, según países, respectivamente. Se registraron 24 países con al menos una publicación científica, relacionada con la temática de estudio.

Durante los últimos años, el Centro apoyó la elaboración de 127 proyectos financiados por el Banco Mundial con una inversión total de USD 21 mil millones. Así mismo, el Centro colaboró con 32 proyectos de la Fundación Internacional para el Desarrollo de la Agricultura (IFAD) valorados en USD 5,7 mil millones para el año 2019 (FAO, 2020). Juegan un rol importante también, los Bancos Regionales de Desarrollo como el Banco de Desarrollo Africano, Banco de Desarrollo Interamericano, Banco de Desarrollo del Caribe, Banco Centroamericano de Integración Económica, Unión Europea, Programa Mundial de Agricultura y Seguridad Alimentaria (Alekseevna Bunich et al., 2019).

En la **Figura 6a** tenemos a las afiliaciones más relevantes en nuestro estudio, referidas a la organización / institución a la que se asocian los autores (por ejemplo, donde un autor realiza su investigación principal), y que estos citan en su artículo en el momento de la publicación (Cafedo et al., 2010). La Universidad de Florida (Estados Unidos) se encuentra en primer lugar con un total de 9 artículos, seguida por The University of the West Indies (Jamaica)

con 8 artículos. En tanto que, la **figura 6b** se muestra los países de procedencia de los autores corresponsales, liderando Colombia con 9 artículos en total. En segundo lugar, Nigeria con 6 documentos, realizados sin redes, pues únicamente se ha realizado en ese país. Ecuador, Turquía, Malasia y España, son países donde los documentos fueron realizados sin redes. Países como Bélgica, Francia, Suiza, Estados Unidos, Reino Unido, Australia, Chile y Alemania, se perfilan porque todas sus publicaciones cuentan con participación de otros países. En cuanto a generación de documentos científicos, no sólo existe la participación de instituciones públicas, el sector privado en la investigación agrícola mundial aumentó del 23% al 26% en los últimos años (Beintema & Echeverría, 2020). Sin embargo, la **Figura 5** muestra que, el camino en la conformación de una red de esfuerzos para tratar temas relacionados a cadmio-cacao es mínima aún. Al ser el cacao un alimento muy consumido a nivel mundial, y que está siendo regulado con estándares máximos de tolerancia en cuanto a cantidad de cadmio se refiere, merece especial atención tanto de los países productores, así como de los países consumidores.

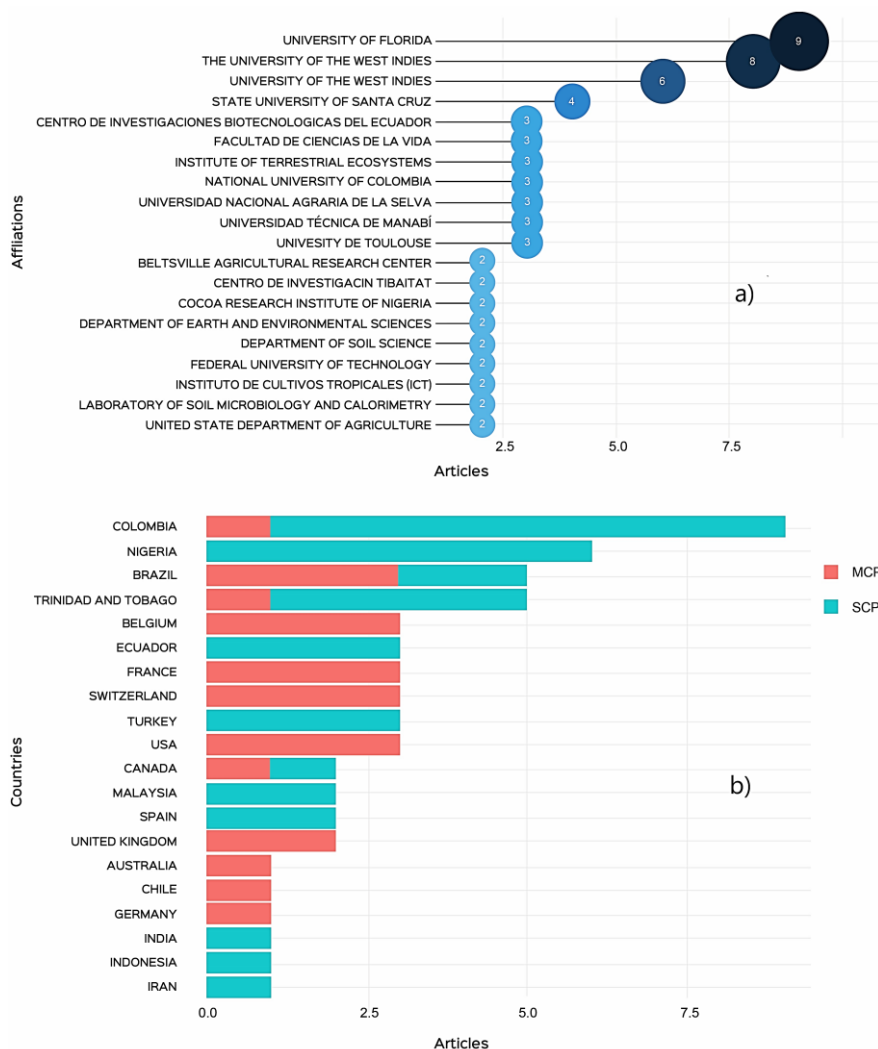


Figura 6. a) afiliaciones más importantes, b) países de procedencia de los autores corresponsales, donde SCP: single country publications; MCP: multiple country publications.

Citaciones, documentos

La historiografía traza la cronología de los documentos primarios que citan a otros documentos primarios (Garfield et al., 2003). Esto nos permite mostrar las ideas de las ideas a través del tiempo, de un documento a otro (Singh et al., 2021). En esta investigación se encontró a la investigación de Onianwa, y colaboradores como primer documento primario para la red de investigaciones relacionadas con cadmio-cacao, publicada en el año 1999 (Figura 7). Este primer documento registra 156 citas hasta ahora (con un promedio de 6.78 citas por año), y analizó el contenido de metales pesados (incluido cadmio), de varias bebidas y alimentos disponibles en el mercado de Nigeria. Determinaron que los niveles de los distintos metales eran en general bajos, y estaban dentro de los límites legales de seguridad, incluso, demostraron que, los niveles eran comparables a los registrados en bebidas similares de otras partes del mundo (Onianwa et al., 1999). Para el año 2003, Meunier y colaboradores, fueron los primeros en demostrar que, las cáscaras de cacao pueden ser usadas para la eliminación de metales pesados de soluciones ácidas (Meunier et al., 2003). Mostraron también que, la capacidad de fijación de metales pesados por las cáscaras de cacao siguió un orden específico (Pb > Cr > Cd = Cu = Fe > Zn = Co > Mn = Ni = Al); y que, la eliminación de metales provocó una disminución en la concentración de protones de la solución (aumento del pH) así como la liberación de calcio, magnesio, potasio y sodio de las cáscaras del cacao. Fue tan relevante este documento primario, que hasta la actualidad es citado 201 veces, con un promedio de 10.57 veces citas por año (Figura 7).

La historiografía de la Figura 7, muestra que, las investigaciones de Meunier et al., 2003; Onianwa et al., 1999, son los documentos primarios, que son base de nuevos documentos primarios, para la red de investigaciones cadmio-cacao. Así, para el 2015 (luego de las regulaciones de la Unión Europea), Chávez y su equipo de investigadores, publicaron un documento que determinaba niveles de concentración de cadmio en granos de cacao, cáscara y hojas; así como su relación con el cadmio en cuatro rangos de profundidades del suelo, en el sur de Ecuador. Esta investigación es citada 72 veces hasta el momento, con un promedio de 10.28 citas por año (Figura 7).

Así mismo, las investigaciones de Mounicou et al. (2003); Pereira de Araújo et al. (2017), son documentos primarios que presentan 53 citas cada uno, con un promedio anual de 10.76 y 2.78 citas respectivamente. Mounicou et al. (2003), determinó concentraciones y biodisponibilidad de cadmio (Cd) y plomo (Pb) en cacao en polvo y productos afines (frijoles, licor, mantequilla) de diferentes orígenes geográficos. Prácticamente, todo el Cd y la mayor parte del Pb se encontraron en el cacao en polvo después del prensado del licor. En tanto que, Pereira de Araújo et al. (2017), evaluaron en Brasil, el genotipo de plantas jóvenes de cacao CCN51, encontrando que el aumento de la concentración de Cd en el suelo alteró la absorción de nutrientes minerales por competencia o sinergismo, modificó la actividad y el daño a la maquinaria fotosintética. Adicionalmente, se evidenciaron alteraciones ultraestructurales en raíces y hojas con el aumento de la concentración de Cd en el suelo. Desde estos documentos, se espera que el impacto académico de los investigadores y las instituciones aumente, a medida que aumenta el número de publicaciones, y más si son de acceso abierto (Maddi, 2020). Este análisis bibliométrico, permitió profundizar en un tema de investigación (Tang et al., 2020), asimismo, la historiografía de la Figura 7, muestra el desarrollo del campo de investigaciones en cadmio-cacao, a lo largo del tiempo, y una ordenación cronológica de sus documentos más importantes, junto con sus relaciones de citación (Garfield, 2004; van Eck & Waltman, 2014).

Redes de coautorías en citas, organizaciones y países

La colaboración científica entre los investigadores (coautorías), es uno de los aspectos más importantes en la evolución de la ciencia, que presupone un aumento en la calidad de los estudios que se realizan Corrales-Reyes (2017). Por ello, la importancia de estudiar a) la visualización de citas de coautoría, b) redes de organizaciones/instituciones en coautoría, y, c) redes de países en coautoría, en estudios de cadmio-cacao (Figuras 8a, 8b y 8c respectivamente). El número y grosor de las líneas indican los vínculos entre los elementos, la distancia entre los elementos muestra su relación y los diferentes colores indican grupos (respecto a coautores en 8a, redes de instituciones en 8b y redes de países en coautoría en 8c).

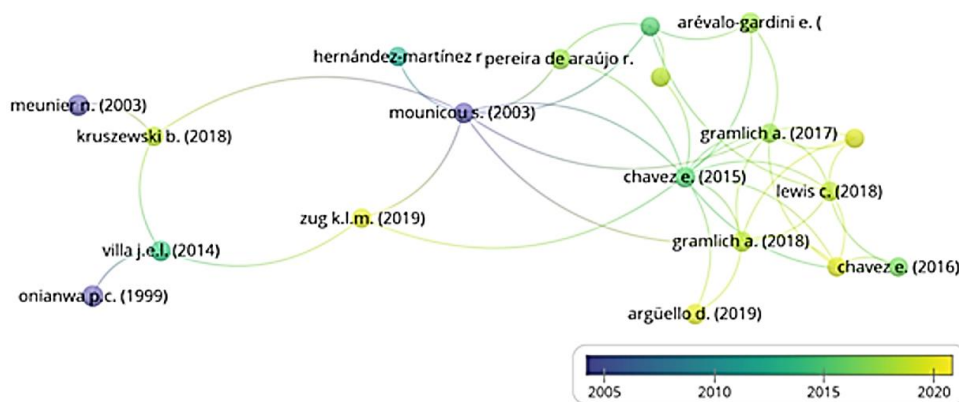


Figura 7. Historiografía de los documentos más citados a nivel mundial. Nos proporciona una red de visualización usando VOSviewer de los documentos más citados.

Así, la **Figura 8a** muestra una visualización de 17 coautores más relevantes durante el periodo comprendido entre los años 2016 y 2020, así como las ocurrencias y los vínculos entre los diferentes autores. El coautor más relevante de la red fue Virupax Baligar con un total de 7 publicaciones y 42 citaciones, relacionados con temas cadmio-cacao. Su afiliación es el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos/Servicio de Investigación Agrícola, Beltsville Agricultural. Eduardo Chávez, presenta un total de 6 publicaciones en coautoría, y pertenece a la Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Facultad de Ciencias de la Vida en Ecuador. Una red de 112 instituciones están identificadas en coautoría cuando se tratan temas de cadmio relacionados a *Theobroma cacao* (según palabras clave). Solamente 5 de estas organizaciones en coautoría son primarias, y se

registran a través de los años, a partir de 2017 al 2020 (**Figura 8b**). El departamento de Química, el centro de investigación de cacao, y El departamento de producción de alimentos, los tres, institutos de University of West Indies, así como, el Instituto de Cultivos Tropicales del Perú, y la Facultad de Ciencias de la Vida de la ESPOL, lideran la lista.

En este mismo sentido, la **Figura 8c**, muestra los países en coautoría, referidas a esta investigación, resultando redes entre los años 2016 a 2020. Hasta el momento, se muestran 8 países con coautoría de documentos relacionados a actividades de cadmio en *Theobroma cacao*. Brasil lidera la lista, seguida de Estados Unidos, Ecuador, Perú, Trinidad y Tobago, Francia, Suiza y Colombia.

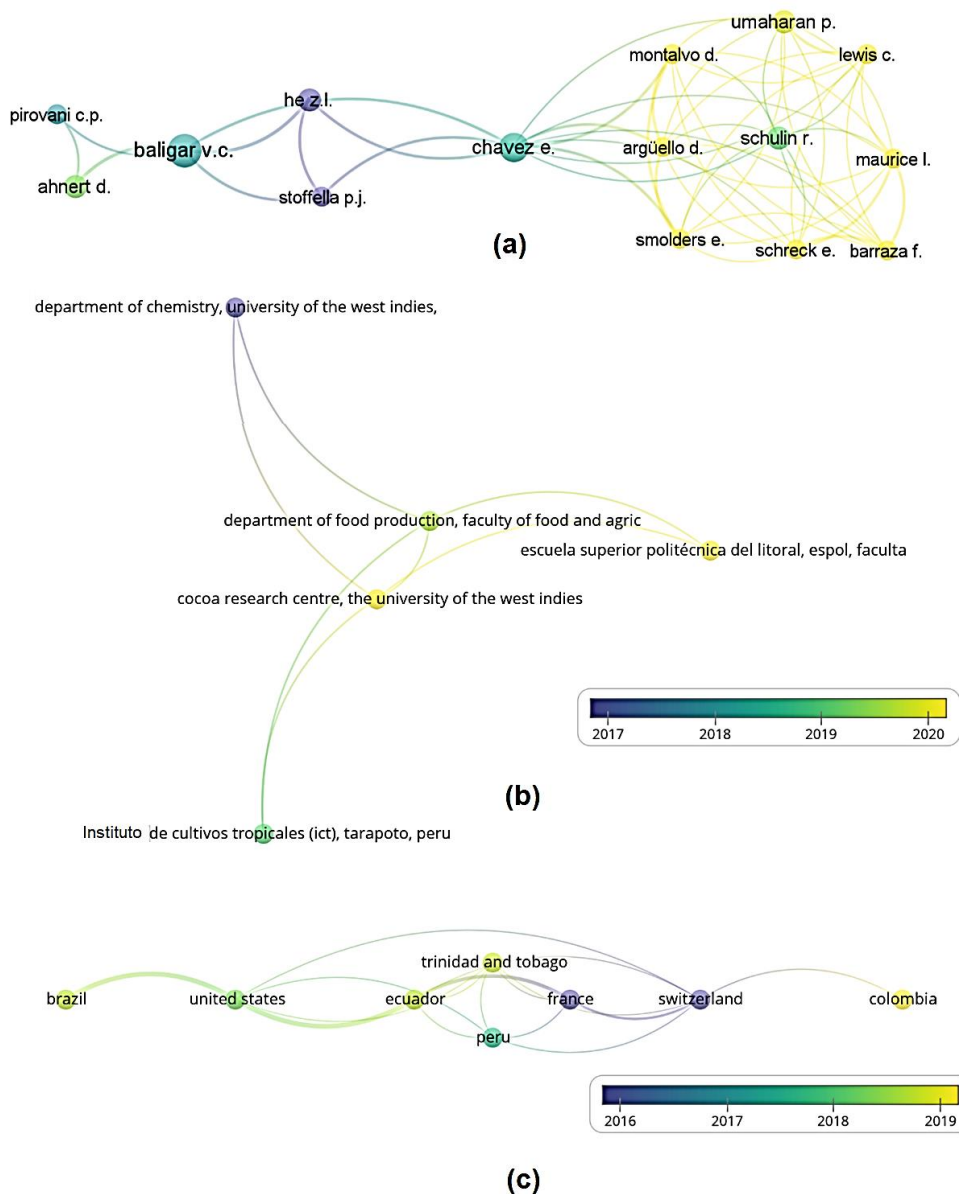


Figura 8. (a) Visualización de citas de coautoría, (b) redes de organizaciones/instituciones en coautoría, y, (c) redes de países en coautoría, en estudios de cadmio-cacao.

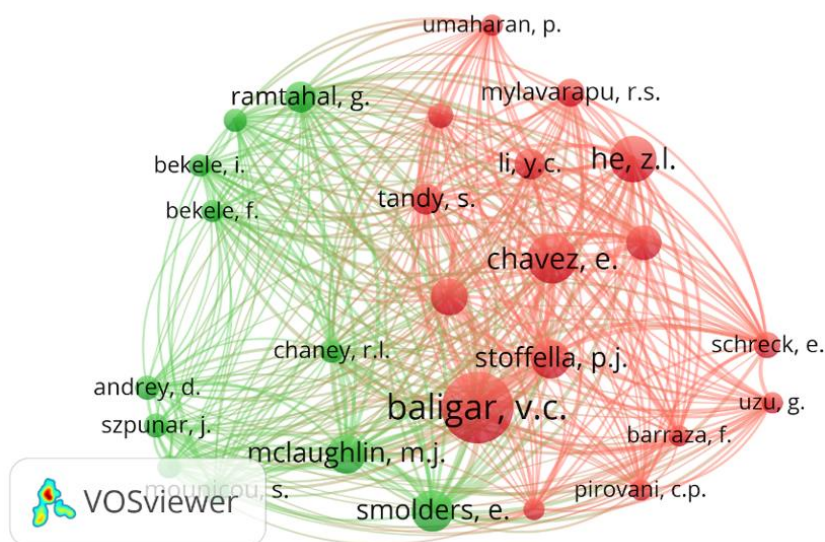


Figura 9. Cocitación de documentos.

Co-Citaciones

La co-citación de documentos se centra en cómo los documentos primarios citan juntos a pares de documentos secundarios, indicando similitud semántica (Vogel et al., 2020). Para esta investigación, la Figura 9 muestra el grado de fuerza de la cocitación para documentos secundarios que son co-citados (es decir, referidos en el mismo documento primario), mostrando que comparten similitudes de contenido (Small et al., 2014). Los dos grupos de conocimientos formados (diferentes colores) muestran los documentos secundarios co-citados (Vogel et al., 2020).

Cabe recordar que, la co-citación de documentos es una medida dinámica que cambia a través del tiempo, a medida que los documentos más antiguos acumulan más citas (Batistič et al., 2017). De darse esta dinámica, significará noticias positivas en el desarrollo de la temática cadmio-cacao planteada en esta investigación.

4. Conclusiones

Se analizaron investigaciones en *Theobroma cacao*, que tienen alguna relación con la actividad del cadmio en la atmósfera. Las metodologías bibliométricas, permitieron discernir la influencia relativa de 64 publicaciones científicas indexadas en Scopus, y cómo esos documentos se agrupan en redes. Se concluye en la necesidad de crear más redes de investigaciones entre países, instituciones, autores y coautores, para unir esfuerzos que permitan a los países exportadores de cacao y sus derivados, cumplir con los estándares máximos de tolerancia en cantidad de cadmio, para el ingreso de la producción a la Unión Europea.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los miembros del equipo técnico de los Proyectos: 1) "Disminución de la absorción del cadmio en el cacao peruano mediante la edición genética de sus transportadores empleando la tecnología CRISPR – CAS9" (CONTRATO N°26-2018-FONDECYT-BM-IADT-AV); y 2) "Innovación biotecnológica para la producción masiva de embriones somáticos de cacao

(*Theobroma cacao* L.) fino de aroma en la Región Amazonas" (CONTRATO N° 033-2018-FONDECYT-BM-IADT-AV). Así como al Fondo Nacional de Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación Tecnológica del Perú, patrocinadores de la presente investigación. Se agradece también a los miembros de todos los proyectos que investigan los sistemas en *Theobroma cacao*, y que pertenecen a la UNTRM y UNSM.

ORCID

- L. García [ID](https://orcid.org/0000-0001-7508-7516) <https://orcid.org/0000-0001-7508-7516>
 F. Angulo Castro [ID](https://orcid.org/0000-0003-0648-9479) <https://orcid.org/0000-0003-0648-9479>
 A. D. Hernández-Amasifuen [ID](https://orcid.org/0000-0001-8267-409X) <https://orcid.org/0000-0001-8267-409X>
 M. A. Corazon-Guivin [ID](https://orcid.org/0000-0001-6027-4255) <https://orcid.org/0000-0001-6027-4255>
 J. Albuquerque Vásquez [ID](https://orcid.org/0000-0002-2396-9557) <https://orcid.org/0000-0002-2396-9557>
 J. Guerrero-Abad [ID](https://orcid.org/0000-0002-7285-9506) <https://orcid.org/0000-0002-7285-9506>
 E. Arellanos [ID](https://orcid.org/0000-0003-4665-7262) <https://orcid.org/0000-0003-4665-7262>
 J. Veneros [ID](https://orcid.org/0000-0001-6981-4078) <https://orcid.org/0000-0001-6981-4078>
 N. B. Rojas B. [ID](https://orcid.org/0000-0002-5352-6140) <https://orcid.org/0000-0002-5352-6140>
 S. Chavez Quintana [ID](https://orcid.org/0000-0002-0946-3445) <https://orcid.org/0000-0002-0946-3445>
 M. Oliva [ID](https://orcid.org/0000-0002-9670-0970) <https://orcid.org/0000-0002-9670-0970>

Referencias bibliográficas

- Adeyeye, E. I., Ajibade, P. A., & Temola, A. F. (2005). Metal concentration in cocoa seeds shell ash, liquid effluent, soil sediments and associated plants in a cocoa processing industry in Nigeria. *International Journal of Environmental Studies*, 62(2), 171–180.
- Alcívar-Córdova, K. S., Quezada-Campoverde, J. M., Barrezueta-Unda, S., Garzón-Montealegre, V. J., & Carvaja-Romero, H. (2021). Análisis económico de la exportación del cacao en el Ecuador durante el periodo 2014–2019. *Polo del Conocimiento*, 6(3), 2430–2444.
- Alekseevna Bunich, G., Aleksandrovich Rovenskiy, Y., Tambieva Akhvediani, J., Yuriev-ich Rusanov, Y., & Alekseevna Bunich, G., et al. (2019). Regional Development Banks: Theory And Practice 1 Bancos Regionales De Desarrollo: Teoría Y Práctica. *Especial*, 35, 2861–2871.
- Angulo-Bazán, Y. (2020). Bibliometric indicators of peruvian scientific output on medicinal plants. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 37(3), 495–503.
- Araujo-Abad, S., Tapia, W., & Villamarín-Ortiz, A. (2020). Verification of the atomic absorption spectroscopy with graphite furnace analytical method for the quantification of cadmium in cocoa almonds (*Theobroma cacao*). *Granja*, 31(1), 59–73.

- Arévalo-Gardini, E., Arévalo-Hernández, C. O., Baligar, V. C., & He, Z. L. (2017). Heavy metal accumulation in leaves and beans of cacao (*Theobroma cacao* L.) in major cacao growing regions in Peru. *Science of the Total Environment*, 605–606, 792–800.
- Argüello, D., Chavez, E., Laurysen, F., Vanderschueren, R., Smolders, E., & Montalvo, D. (2019). Soil properties and agronomic factors affecting cadmium concentrations in cacao beans: A nationwide survey in Ecuador. *Science of the Total Environment*, 649, 120–127.
- Argüello, D., Montalvo, D., Blommaert, H., Chavez, E., & Smolders, E. (2020). Surface soil liming reduces cadmium uptake in cacao seedlings but subsurface uptake is enhanced. *Journal of Environmental Quality*, 49(5), 1359–1369.
- Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959–975.
- Baas, J., Schotten, M., Plume, A., Côté, G., & Karimi, R. (2020). Scopus as a curated, high-quality bibliometric data source for academic research in quantitative science studies. *Quantitative Science Studies*, 1(1), 377–386.
- Bakkalbasi, N., Bauer, K., Glover, J., & Wang, L. (2006). Three options for citation tracking: Google Scholar, Scopus and Web of Science. *Biomedical Digital Libraries*, 3.
- Bansah, K. J., & Addo, W. K. (2016). Phytoremediation Potential of Plants Grown on Reclaimed Spoil Lands. *Ghana Mining Journal*, 16(1), 68.
- Bar-Ilan, J. (2010). Citations to the "Introduction to informetrics" indexed by WOS, Scopus and Google Scholar. *Scientometrics*, 82(3), 495–506.
- Barraza, F., Schreck, E., Uzu, G., Lévêque, T., Zouiten, C., Boidot, M., & Maurice, L. (2021). Beyond cadmium accumulation: Distribution of other trace elements in soils and cacao beans in Ecuador. *Environmental Research*, 192, 110241.
- Barraza, F., Maurice, L., Uzu, G., Becerra, S., López, F., et al. (2018). Distribution, contents and health risk assessment of metal(loid)s in small-scale farms in the Ecuadorian Amazon: An insight into impacts of oil activities. *Science of the Total Environment*, 622–623, 106–120.
- Batistič, S., Černe, M., & Vogel, B. (2017). Just how multi-level is leadership research? A document co-citation analysis 1980–2013 on leadership constructs and outcomes. *The Leadership Quarterly*, 28(1), 86–103.
- Beintema, N. M., & Echeverría, R. G. (2020). Evolution of cgjar funding. Disponible en: <https://ebrary.ifpri.org/digital/collection/p15738coll2/id/134011>
- Bertoldi, D., Barbero, A., Camin, F., Caligiani, A., & Larcher, R. (2016). Multielemental fingerprinting and geographic traceability of *Theobroma cacao* beans and cocoa products. *Food Control*, 65, 46–53.
- Boeris, C. E. (2010). *Aplicación de métodos bibliométricos a la evaluación de colecciones: El caso de la Biblioteca del Instituto Argentino de Radioastronomía*. Tesis presentada para la obtención del grado de Licenciada en Bibliotecología y Ciencia de la Información. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. Universidad Nacional de La Plata. Argentina.
- Bravo, D., & Benavides-Erazo, J. (2020). The use of a two-dimensional electrical resistivity tomography (2D-ERT) as a technique for cadmium determination in Cacao crop soils. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(12), 4149.
- Cañedo, R., Celorrio, I., Coello, D., & Hidalgo, R. (2010). Contribuciones en Pubmed entre 2010 y 2014, de autores afiliados a instituciones de salud de Holguín, Cuba. *Correo científico médico de Holguín*, 19(2), 385–390.
- Castebianco, J. A. (2018). Heavy metals remediation with potential application in cocoa cultivation. *Graña*, 27(1), 21–35.
- Castro, A. v., de Almeida, A. A. F., Pirovani, C. P., Reis, G. S. M., Almeida, N. M., & Mangabeira, P. A. O. (2015). Morphological, biochemical, molecular and ultrastructural changes induced by Cd toxicity in seedlings of *Theobroma cacao* L. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 115, 174–186.
- Chen, W., Chang, A. C., & Wu, L. (2007). Assessing long-term environmental risks of trace elements in phosphate fertilizers. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 67(1), 48–58.
- Clemens, S., & Ma, J. F. (2016). Toxic Heavy Metal and Metalloid Accumulation in Crop Plants and Foods. *Annual Review of Plant Biology*, 67, 489–512.
- Corrales-Reyes, I. E. (2017). Coautoría y redes de colaboración científica en Medwave. *Medwave*, 17(9), e7103.
- DalCorso, G., Farinati, S., Maistri, S., & Furini, A. (2008). How plants cope with cadmium: Staking all on metabolism and gene expression. In *Journal of Integrative Plant Biology*, 50(10), 1268–1280.
- de Almeida, A.-A. F., Valle, R. R., Almeida, A.-A. F., & Valle, R. R. (2007). Ecophysiology of the cacao tree. *Braz. J. Plant Physiol*, 19(4), 425–448.
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133, 285–296.
- dos Santos, M. L. S., de Almeida, A. A. F., da Silva, N. M., Oliveira, B. R. M., Silva, J. V. S., Junior, J. O. S., Ahnert, D., & Baligar, V. C. (2020). Mitigation of cadmium toxicity by zinc in juvenile cacao: Physiological, biochemical, molecular and micromorphological responses. *Environmental and Experimental Botany*, 179, 104201.
- Engbersen, N., Gramlich, A., Lopez, M., Schwarz, G., Hattendorf, B., Gutierrez, O., & Schulin, R. (2019a). Cadmium accumulation and allocation in different cacao cultivars. *Science of the Total Environment*, 678, 660–670.
- Engbersen, N., Gramlich, A., Lopez, M., Schwarz, G., Hattendorf, B., Gutierrez, O., & Schulin, R. (2019b). Cadmium accumulation and allocation in different cacao cultivars. *Science of the Total Environment*, 678, 660–670.
- FAO. (2020). *Investment Centre Annual Review 2019*. Food Administration Organization (FAO). Italia. 60p.
- Febrero-Bande, M., & Oviedo De La Fuente, M. (2012). Statistical Computing in Functional Data Analysis: The R Package *fda.usc*. In *JSS Journal of Statistical Software* (Vol. 51). <http://www.jstatsoft.org/>
- Fuglie, K. (2016). The growing role of the private sector in agricultural research and development world-wide. *Global Food Security*, 10, 29–38.
- Galvez, C. (2018). Co-word analysis applied to highly cited papers in Library and Information Science (2007–2017). *Transinformacao* 30(3), 277–286.
- Ganesan, V. (2008). Rhizoremediation of cadmium soil using a cadmium-resistant plant growth-promoting rhizopseudomonad. *Current Microbiology*, 56(4), 403–407.
- García, M. J. M., Moreno-Grau, S., Martínez García, J. J., Moreno, J., Bayo, J., Pérez, J. J. G., & Moreno-Clavel, J. (2001). Distribution of the metals lead, cadmium, copper, and zinc in the top soil of Cartagena, Spain. *Water, Air, and Soil Pollution*, 131, 329–347.
- Garfield, E. (2004). Historiographic mapping of knowledge domains literature. *Journal of Information Science*, 30(2), 119–145.
- Garfield, E., Pudovkin, A. I., & Istomin, V. S. (2003). Why Do We Need Algorithmic Historiography? *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 54(5), 400–412.
- Gramlich, A., Tandy, S., Gauggel, C., López, M., Perla, D., Gonzalez, V., & Schulin, R. (2018). Soil cadmium uptake by cocoa in Honduras. *Science of the Total Environment*, 612, 370–378.
- Hirzel, J., Retamal-Salgado, J., Walter, I., & Matus, I. (2017). Cadmium accumulation and distribution in plants of three durum wheat cultivars under different agricultural environments in Chile. *Journal of Soil and Water Conservation*, 72(1), 77–88.

- Hjørland, B. (2013). Facet analysis: The logical approach to knowledge organization. *Information Processing and Management*, 49(2), 545–557.
- Järup, L., Berglund, M., Elinder, C. G., Nordberg, G., Vahter, M. (1998). Health effects of cadmium exposure--a review of the literature and a risk estimate. *Scand J Work Environ Health*, 24(Suppl 1), 1-51.
- Kataoka, Y., Watanabe, T., Hayashi, K., & Akiyama, H. (2018). Surveillance of Cadmium Concentration in Chocolate and Cocoa Powder Products Distributed in Japan. *Food Hygiene and Safety Science*, 59(6), 269-274.
- Kaya, C., Okant, M., Ugurlar, F., Alyemeni, M. N., Ashraf, M., & Ahmad, P. (2019). Melatonin-mediated nitric oxide improves tolerance to cadmium toxicity by reducing oxidative stress in wheat plants. *Chemosphere*, 225, 627–638.
- Kessler, M. M. (1963). Bibliographic coupling between scientific papers. *American documentation*, 14(1), 10-25.
- Lafargue-Molina, P. (2021). *Marker development for the traceability of certified sustainably produced cacao (Theobroma cacao) in the chocolate industry*. (Thesis). Faculty of Health and Applied Sciences, Centre for Research in Biosciences. University of the West of England. 225p.
- Leung, X. Y., Sun, J., & Bai, B. (2017). Bibliometrics of social media research: A co-citation and co-word analysis. *International Journal of Hospitality Management*, 66, 35–45.
- Lewis, C., Lennon, A. M., Eudoxie, G., Sivapatham, P., & Umaharan, P. (2021). Plant metal concentrations in Theobroma cacao as affected by soil metal availability in different soil types. *Chemosphere*, 262, 127749.
- Lewis, C., Lennon, A. M., Eudoxie, G., & Umaharan, P. (2018). Genetic variation in bioaccumulation and partitioning of cadmium in Theobroma cacao L. *Science of the Total Environment*, 640–641, 696–703.
- Louekari, K., Mäkelä-Kurtto, R., & Jousilahti, P. (2008). Health risks associated with predicted increase of cadmium in cultivated soils and in the diet. *Environmental Modeling and Assessment*, 13(4), 517–525.
- Lugon-Moulin, N., Zhang, M., Gadani, F., Rossi, L., Koller, D., Krauss, M., & Wagner, G. J. (2004). Critical Review of the Science and Options for Reducing Cadmium in Tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) and Other Plants. *Advances in Agronomy*, 83, 111–180.
- Maddela, N. R., Kakarla, D., García, L. C., Chakraborty, S., Venkateswarlu, K., & Megharaj, M. (2020). Cocoa-laden cadmium threatens human health and cacao economy: A critical view. *Science of the Total Environment*, 720, 137645.
- Maddi, A. (2020). Measuring open access publications: a novel normalized open access indicator. *Scientometrics*, 124(1), 379–398.
- Martín, S. G., & Lafuente, V. (2017). Referencias bibliográficas: indicadores para su evaluación en trabajos científicos. *Investigación bibliotecológica*, 31(71), 151-180.
- Powis, T. G., Valdez, F., Hester, T. R., Hurst, W. J., & Tarka, S. M. (2002). Spouted vessels and cacao use among the preclassic Maya. *Latin American Antiquity*, 13(1), 85-106.
- Merigó, J. M., Pedrycz, W., Weber, R., & de la Sotta, C. (2018). Fifty years of Information Sciences: A bibliometric overview. *Information Sciences*, 432, 245–268.
- Meunier, N., Laroulandie, J., Blais, J. F., & Tyagi, R. D. (2003). Cocoa shells for heavy metal removal from acidic solutions. *Bioresource Technology*, 90(3), 255–263.
- Molina, R., Ramos Martínez, M. F. (2020). Variables que impiden incrementar las exportaciones de cacao en grano del estado de Tabasco. *Revista Cimexus*, 15(2), 63-81.
- Moore, R. E. T., Ullah, I., de Oliveira, V. H., Hammond, S. J., Strekopytov, S., Tibbett, M., Dunwell, J. M., & Rehkämper, M. (2020). Cadmium isotope fractionation reveals genetic variation in Cd uptake and translocation by Theobroma cacao and role of natural resistance-associated macrophage protein 5 and heavy metal ATPase-family transporters. *Horticulture Research*, 7(1), 71.
- Mounicou, S., Szpunar, J., Andrey, D., Blake, C., & Lobinski, R. (2003). Concentrations and bioavailability of cadmium and lead in cocoa powder and related products. *Food Additives and Contaminants*, 20(4), 343–352.
- Mulet-Forteza, C., Socias Salvá, A., Monserrat, S., & Amores, A. (2020). 80th Anniversary of Pure and Applied Geophysics: A Bibliometric Overview. *Pure and Applied Geophysics*, 177(2), 531–570.
- Nair, K. P. (2021). *Tree Crops*. Springer International Publishing. 536p.
- Nawrot, T., Plusquin, M., Hogervorst, J., Roels, H. A., Celis, H., Thijs, L., ... & Staessen, J. A. (2006). Environmental exposure to cadmium and risk of cancer: a prospective population-based study. *The lancet oncology*, 7(2), 119-126.
- Nawrot, T. S., Staessen, J. A., Roels, H. A., Munters, E., Cuypers, A., Richart, T., Ruttens, A., Smeets, K., Clijsters, H., & Vangronsveld, J. (2010). Cadmium exposure in the population: From health risks to strategies of prevention. *BioMetals*, 23(5), 769–782.
- Nelson, V., & Morton, J. (2020). *CGIAR Research Program 2020 Reviews: Climate Change, Agriculture and Food Security*. <https://cas.cgiar.org/>
- Nguyen, A. H., Hoying, C. R., Urbina, T. M., & Drennan, P. (2016). Effects of cadmium on growth, short-term photosynthetic acclimation and metal accumulation in radish plants (*Raphanus sativus* L.). *Int. J. Environmental Technology and Management*, 20(1/2), 78–86.
- Nordberg, G. F. (2009). Historical perspectives on cadmium toxicology. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 238(3), 192–200.
- Odoemelam, S. A., Iroh, C. U., & Igwe, J. C. (2011). Copper (II), cadmium (II) and lead (II) adsorption kinetics from aqueous metal solutions using chemically modified and unmodified cocoa pod husk (*Theobroma cacao*) waste biomass. *Research Journal of Applied Sciences*, 6(1), 44–52.
- Oliveira, B. R. M., de Almeida, A. A. F., Pirovani, C. P., Barroso, J. P., Carlos, C. H., Santos, N. A., Ahnert, D., Baligar, V. C., & Mangabeira, P. A. O. (2020). Mitigation of Cd toxicity by Mn in young plants of cacao, evaluated by the proteomic profiles of leaves and roots. *Ecotoxicology*, 29(3), 340–358.
- Onianwa, P. C., Adetola, I. G., Iwegbue, C. M. A., Ojo, M. F., & Tella, O. O. (1999). Trace heavy metals composition of some Nigerian beverages and food drinks. *Food Chemistry*, 66(3), 275-279.
- Pereira de Araújo, R., Furtado de Almeida, A. A., Silva Pereira, L., Mangabeira, P. A. O., Olímpio Souza, J., Pirovani, C. P., Ahnert, D., & Baligar, V. C. (2017). Photosynthetic, antioxidative, molecular and ultrastructural responses of young cacao plants to Cd toxicity in the soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 144, 148–157.
- Pérez, U. A., Gómez, M. R., Serralde, D. P., Peñaranda Rolón, A. M., Wilches Ortiz, W. A., Ramírez, L., & Rengifo Estrada, G. A. (2019). Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) as a strategy to reduce the absorption of cadmium in cocoa (*Theobroma cacao*) plants. *Terra Latinoamericana*, 37(2), 121–130.
- Pisco, R. R., Jiménez, D. G., & Cruz, D. B. (2018). Cadmium phytoextraction with mulberry grass (*Solanum nigrum* L.) in soils grown with cocoa (*Theobroma cacao* L.). *Acta Agronómica*, 67(3), 420–424.
- Ramtahal, G., Umaharan, P., Hanuman, A., Davis, C., & Ali, L. (2019). The effectiveness of soil amendments, biochar and lime, in mitigating cadmium bioaccumulation in *Theobroma cacao* L. *Science of the Total Environment*, 693, 133563.
- Rascio, N., & Navari-Izzo, F. (2011). Heavy metal hyperaccumulating plants: How and why do they do it? And what makes them so interesting? *Plant Science*, 180(2), 169–181.

- Ravikumar, S., Agrahari, A., & Singh, S. N. (2015). Mapping the intellectual structure of scientometrics: A co-word analysis of the journal scientometrics (2005–2010). *Scientometrics*, 102(1), 929–955.
- Rofner, (2021) N. F. Revisión sobre límites máximos de cadmio en cacao (*Theobroma cacao* L.). *LA GRANJA: Revista de Ciencias de la Vida*, 34(2), 117-130.
- Romero-Estévez, D., Yáñez-Jácome, G. S., Simbaña-Farinango, K., & Navarrete, H. (2019). Content and the relationship between cadmium, nickel, and lead concentrations in Ecuadorian cocoa beans from nine provinces. *Food Control*, 106, 106750.
- Sasaki, A., Yamaji, N., & Ma, J. F. (2014). Overexpression of OsHMA3 enhances Cd tolerance and expression of Zn transporter genes in rice. *Journal of Experimental Botany*, 65(20), 6013–6021.
- Scott, S. R., Smith, K. E., Dahman, C., Gorski, P. R., Adams, S. v., & Shafer, M. M. (2019). Cd isotope fractionation during tobacco combustion produces isotopic variation outside the range measured in dietary sources. *Science of the Total Environment*, 688, 600–608.
- Singh, R., Sibi, P. S., Sharma, P., Tamang, M., & Singh, A. K. (2021). Twenty Years of Journal of Quality Assurance in Hospitality & Tourism: A Bibliometric Assessment. *Journal of Quality Assurance in Hospitality and Tourism (In press)*.
- Small, H., Boyack, K. W., & Klavans, R. (2014). Identifying emerging topics in science and technology. *Research Policy*, 43(8), 1450–1467.
- Song, Y., Jin, L., & Wang, X. (2017). Cadmium absorption and transportation pathways in plants. *International Journal of Phytoremediation*, 19(2), 133–141.
- Jiménez, C. S. (2015). Estado legal mundial del cadmio en cacao (*Theobroma cacao*): fantasía o realidad. *Producción + Limpia*, 10(1), 89-104.
- Tang, Y., Ren, Z., Kong, W., & Jiang, H. (2020). Compiler testing: a systematic literature analysis. *Frontiers of Computer Science*, 14(1).
- ICCO - The International Cocoa Organization (2021). <https://www.icco.org/>
- Ullah, I., Wang, Y., Eide, D. J., & Dunwell, J. M. (2018). Evolution, and functional analysis of Natural Resistance-Associated Macrophage Proteins (NRAMPs) from *Theobroma cacao* and their role in cadmium accumulation. *Scientific Reports*, 8(1), 14412.
- van Eck, N. J., & Waltman, L. (2014). Visualizing Bibliometric Networks. In *Measuring Scholarly Impact* (pp. 285–320). Springer International Publishing.
- van Raan, A. F. J. (2005). For Your Citations Only? Hot Topics in Bibliometric Analysis. *Measurement: Interdisciplinary Research & Perspective*, 3(1), 50–62.
- Vogel, B., Reichard, R. J., Batistič, S., & Černe, M. (2020). A bibliometric review of the leadership development field: How we got here, where we are, and where we are headed. *The Leadership Quarterly*, 32(5), 101381.
- Wang, Q., & Zhang, F. (2020). Does increasing investment in research and development promote economic growth decoupling from carbon emission growth? An empirical analysis of BRICS countries. *Journal of Cleaner Production*, 252, 119853.
- Wu, X., Chen, X., Zhan, F. B., & Hong, S. (2015). Global research trends in landslides during 1991–2014: a bibliometric analysis. *Landslides*, 12(6), 1215–1226.
- Zarcinas, B. A., Fauziah Ishak, C., Mclaughlin, M. J., & Cozens, G. (2004). Heavy metals in soils and crops in southeast Asia. 1. Peninsular Malaysia. *Environmental Geochemistry and Health*, 26, 343–357.
- Zarrillo, S., Gaikwad, N., Lanaud, C., Powis, T., Viot, C., et al. (2018). The use and domestication of *Theobroma cacao* during the mid-Holocene in the upper Amazon. *Nature Ecology and Evolution*, 2(12), 1879–1888.
- Zhu, D., Wei, Y., Zhao, Y., Wang, Q., & Han, J. (2018). Heavy Metal Pollution and Ecological Risk Assessment of the Agriculture Soil in Xunyang Mining Area, Shaanxi Province, Northwestern China. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 101(2), 178–184.