

Contaminación de suelos por metales pesados en comunidades agrícolas

Soil contamination by heavy metals in agricultural communities

Contaminação do solo por metais pesados em comunidades agrícolas

Ana María Urbina Arana

urbinaaranaana73@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-1982-2237>

Yoseph Max Camac Núñez

76401608@continental.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0002-8058-9948>

Davey Luis Solís Egoavil

48558188@continental.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0002-0343-4766>

Steve Dann Camargo Hinostroza

scamargo@continental.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0001-6814-9918>

Escuela profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Continental, Huancayo, Perú

Artículo recibido en enero de 2023, arbitrado en marzo de 2023, aprobado en abril de 2023

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo comprender el fenómeno asociado a la contaminación de suelos por metales pesados en comunidades agrícolas. Por tal razón, se desarrolló una investigación de revisión sistemática que siguió los protocolos de la declaración PRISMA actualizada a 2020, empleando como fuente para la obtención de información, los motores de búsqueda de Scopus, Scielo y Google Académico, que dio como resultado un total de 208 documentos, los cuales fueron filtrados a través de criterios de inclusión, dentro de los que destacan: estudios empíricos, estudios desarrollados en el periodo 2015-2022, escritos en lengua castellana, trabajos en formato artículo científico, estudios que aborden directamente el tema de contaminación de suelos agrícolas., estudios en formato de acceso abierto, lo que permitió determinar un total de 20 artículos que fueron empleados para la revisión. Los resultados del estudio permiten comprender que, existen diversos efluentes que pueden generar esta polución.

Palabras clave: contaminación; suelos agrícolas; metales pesados; zonas rurales

ABSTRACT

The research aimed to understand the phenomenon associated with soil contamination by heavy metals in agricultural communities. For this reason, a systematic review research was developed that followed the protocols of the PRISMA declaration updated to 2020, using as a source for obtaining information, the search engines of Scopus, Scielo and Google Academic, which resulted in a total of 208 documents, which were filtered through inclusion criteria, among which stand out: empirical studies, studies developed in the period 2015-2022, written in Spanish, works in scientific article format, studies that directly address the issue of contamination of agricultural soils., studies in open access format, which allowed to determine a total of 20 articles that were used for the review. The results of the study allow us to understand that there are various effluents that can generate this pollution.

Keywords: *Pollution; agricultural soils; heavy metals; rural areas*

RESUMO

A pesquisa teve como objetivo compreender o fenômeno associado à contaminação do solo por metais pesados em comunidades agrícolas. Por esse motivo, foi desenvolvida uma pesquisa de revisão sistemática que seguiu os protocolos da declaração PRISMA atualizada para 2020, utilizando como fonte de obtenção de Informações, os buscadores da Scopus, Scielo e Google Acadêmico, o que resultou em um total de 208 documentos, que foram filtrados através de critérios de inclusão, dentre os quais se destacam: estudos empíricos, estudos desenvolvidos no período 2015-2022, escritos em espanhol, trabalhos em formato, estudos que abordam diretamente a questão da contaminação dos solos agrícolas., estudos em formato de acesso aberto, o que permitiu determinar um total de 20 artigos que foram utilizados para a revisão. Os resultados do estudo permitem entender que existem diversos efluentes que podem gerar essa poluição.

Palavras-chave: *Poluição; solos agrícolas; metais pesados; áreas rurais*

INTRODUCCIÓN

Los metales pesados son considerados, según la International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), como elementos químicos de alta densidad (mayor a 4 g/cm³), con masa y peso atómico por encima de 20 y son tóxicos en concentraciones bajas. Dentro de estos, se encuentran: Aluminio (Al), Berilio (Be), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Cadmio (Cd), Mercurio (Hg), Plomo (Pb), entre otros (Londoño, Londoño y Muñoz, 2016).

Actualmente, uno de los mayores problemas ambientales de diversos países es la contaminación de las fuentes hídricas por metales pesados, debido a la toxicidad que

presentan al encontrarse en el agua de los ríos; se considera un serio inconveniente para los habitantes de las poblaciones que se abastecen de estos, en especial si el incremento en la concentración de estos metales en los cuerpos de agua procede de las diversas actividades antropogénicas, elevando así los efectos potencialmente nocivos y afectando también los diferentes sistemas ecológicos que se hallan en múltiples regiones del mundo, los cuales son el soporte de la vida humana. Asimismo, hay un impacto negativo a nivel económico, tanto en el contexto local como nacional, debido al aumento en los costos de los tratamientos médicos y una disminución en la productividad de los habitantes de la zona (Contreras Pérez, Mendoza Gómez y Gómez, 2004; Cartaya, Reynaldo y Peniche, 2008).

Dentro de los principales factores que afectan a los ecosistemas por contaminación de metales pesados, se encuentran las actividades humanas, destacando de forma mayoritaria las operaciones de tipo minero, de fundición, entre otras actividades de tipo industrial y urbana (Pedroso-Herrera, 2019); con la ejecución de ellas, la tasa de contaminación del agua puede rondar cerca de los 200 millones de metros cúbicos diarios (Reyes, Vergara, Torres, Díaz y González, 2016).

Sin embargo, el mayor efecto nocivo se hace visible cuando los metales pesados son depositados en los suelos, al ser transportados por las diversas fuentes hídricas. Este hecho conlleva a un gran número de problemas como los que repercuten, por ejemplo, en el desarrollo de las plantas, que dependen de los nutrientes extraídos por las raíces, causando una alteración en la fisiología vegetal que se puede ver reflejada en la disminución de su crecimiento o el amarillamiento de las hojas (clorosis) (Martínez-Alva, Gheno-Heredia, Vieyra-Reyes, Martínez-Campos, Castillo-Cadena, López-Arriaga, Manzur-Quiroga y Arteaga-Reyes., 2020).

A lo mencionado con anterioridad, se suman efectos negativos en la salud humana tales como erupciones cutáneas, malestar de estómago, úlceras, problemas respiratorios, debilitamiento del sistema inmune, daño en los riñones e hígado, cáncer de pulmón, afecciones cardíacas, óseas, testiculares y del sistema nervioso central y periférico, que pueden conllevar

a la muerte; todo ello originado, en gran parte, por el consumo de material vegetal con concentraciones altas de metales pesados (Nava-Ruíz y Méndez-Armenta, 2011).

Debido a esta problemática, ha sido importante para los investigadores encontrar diversos métodos para la retención y extracción de dichos metales de las fuentes hídricas, pero sobre todo de los suelos agrícolas contaminados, reduciendo la toxicidad latente para garantizar la preservación de los mismos y de la salud humana. Entre los diversos métodos existentes para el control de este tipo de metales, es posible encontrar algunos como: precipitación, óxido-reducción, intercambio iónico, filtración, tratamiento electroquímico, tecnologías de membrana y recuperación por evaporación, absorción y bioadsorción (Tejada-Tovar, Villabona-Ortiz, y Garcés-Jaraba, 2015). Dentro de los metales que se consideran como pesados, están el plomo, el estaño, el hierro, el cadmio, el mercurio, cromo, vanadio, entre otros (Gomez Rengifo, Velásquez Jiménez y Quintana Marín, 2013).

En consideración a la problemática antes descrita donde el mayor inconveniente recae en la contaminación de los suelos y su repercusión en los productos vegetales de consumo humano, se planteó como objetivo de investigación comprender el fenómeno asociado a la contaminación de estos por metales pesados en comunidades agrícolas.

MÉTODO

El presente estudio partió de la revisión y análisis de la literatura existente desde una perspectiva amplia e integradora (Cué Brugueras, Díaz Alonso, Díaz Martínez y Valdés Abreu, 2008), por lo que se hizo uso de la tipología de revisión sistemática, en la cual se puede verificar el estado del arte y tendencias investigativas asociadas a una materia o disciplina (Linares-Espinós, Hernández, Domínguez-Escrig, Fernández-Pello, Hevia, Mayor, Padilla-Fernández y Ribal, 2018). De allí que autores como Rosales-Veítia y Marcano-Montilla (2023) expliquen que, este tipo de estudios ayudan a realizar un análisis crítico de las investigaciones desarrolladas previamente. Para el desarrollo de la investigación se seleccionó el protocolo de la declaración PRISMA actualizada al 2020 (Page McKenzie, Bossuyt, Boutron, Hoffmann, Mulrow, Shamseer, Tetzlaff, Akl, Brennan, Chou, Glanville, Grimshaw, Hróbjartsson, Lalu, Li,

Loder, Mayo-Wilson, McDonald y Alonso-Fernández., 2021), que permitió seguir una serie de procedimientos para la recuperación, selección y análisis de la información, los cuales se presentan a continuación:

Procedimiento

Estrategias para la recuperación y selección de documentos

Para la recuperación de documentos, se procedió a identificar los motores de búsqueda idóneos para el desarrollo de la investigación, es por ello que se consideraron las bases de datos Scopus, Scielo y Google Académico, debido al prestigio y a la facilidad de acceso por parte de los autores, revisores y lectores a nivel mundial.

La búsqueda principal fue orientada por las ecuaciones de búsqueda (Moreno, Muñoz, Cuellar, Domancic y Villanueva, 2018), las cuales son el resultado de combinar las palabras clave (Granda Orive, García Río y Callol Sánchez, 2003) con los términos booleanos (Avelar-Rodríguez y Toro-Monjaraz, 2018).

En la revisión, se empleó un total de tres (3) ecuaciones de búsqueda, conformadas por un total de siete (7) palabras clave y tres (3) términos booleanos, agrupados en función de una única categoría de estudio, siendo esta, la contaminación de suelos agrícolas por metales pesados; estas ecuaciones de búsqueda se presentan en el cuadro 1.

Cuadro 1. Ecuaciones de búsqueda empleadas para la recuperación de información

Contaminación de suelos agrícolas por metales pesados
1. Contaminación AND suelos agrícolas + metales pesados OR “Contaminación de suelos por metales pesados”
2. Polución AND suelos agrícolas AND plomo OR “Contaminación por plomo en suelos agrícolas”
3. Contaminación + agrícola + metales pesados “Contaminación agrícola por metales pesados”

Una vez realizada la búsqueda, se organizaron y sistematizaron los documentos para proceder a la selección, en la cual se emplearon criterios para la inclusión y exclusión de los mismos, los cuales, como explica (Codina, 2020), permiten establecer una cierta uniformidad en los documentos revisados para poder realizar un análisis crítico y de calidad, el cual permita identificar semejanzas, diferencias y aportes de los mismos; estos criterios se presentan en el cuadro 2.

Cuadro 2. Criterios de inclusión y exclusión

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Estudios desarrollados en el periodo 2015-2022	Estudios de revisión
Estudios empíricos	Documentos desarrollados fuera del periodo de estudio
Escritos en lengua castellana	Estudios bajo modalidad cualitativa
Trabajos en formato artículo científico	
Estudios que aborden directamente el tema de contaminación de suelos agrícolas.	
Estudios en formato de acceso abierto	

Los criterios de inclusión y exclusión permitieron identificar aquellos documentos a ser empleados para la revisión, por lo que se siguió un proceso complejo que se presenta en el gráfico 1 y que se refiere a los resultados de la búsqueda principal y como se fue refinando la selección de documentos hasta alcanzar los empleados en el estudio.

Según se puede apreciar en el gráfico 1, la búsqueda principal arrojó un total de doscientos ocho ($n= 208$) documentos, a los cuales se les aplicó una exclusión a aquellos documentos que eran anteriores al año 2015 (b-1), permitiendo verificar la existencia de un total de ciento cuatro textos ($n= 104$), de los cuales, se excluyeron aquellos que eran revisiones bibliográficas, tesis y memorias de congresos (b-2). De esta manera se obtuvo un total de veintiséis artículos ($N= 23$), de los cuales finalmente se excluyeron aquellos estudios cualitativos y que se encontraban en formato no abierto, permitiendo identificar un total de veinte ($n= 20$) documentos que se emplearon para la revisión.

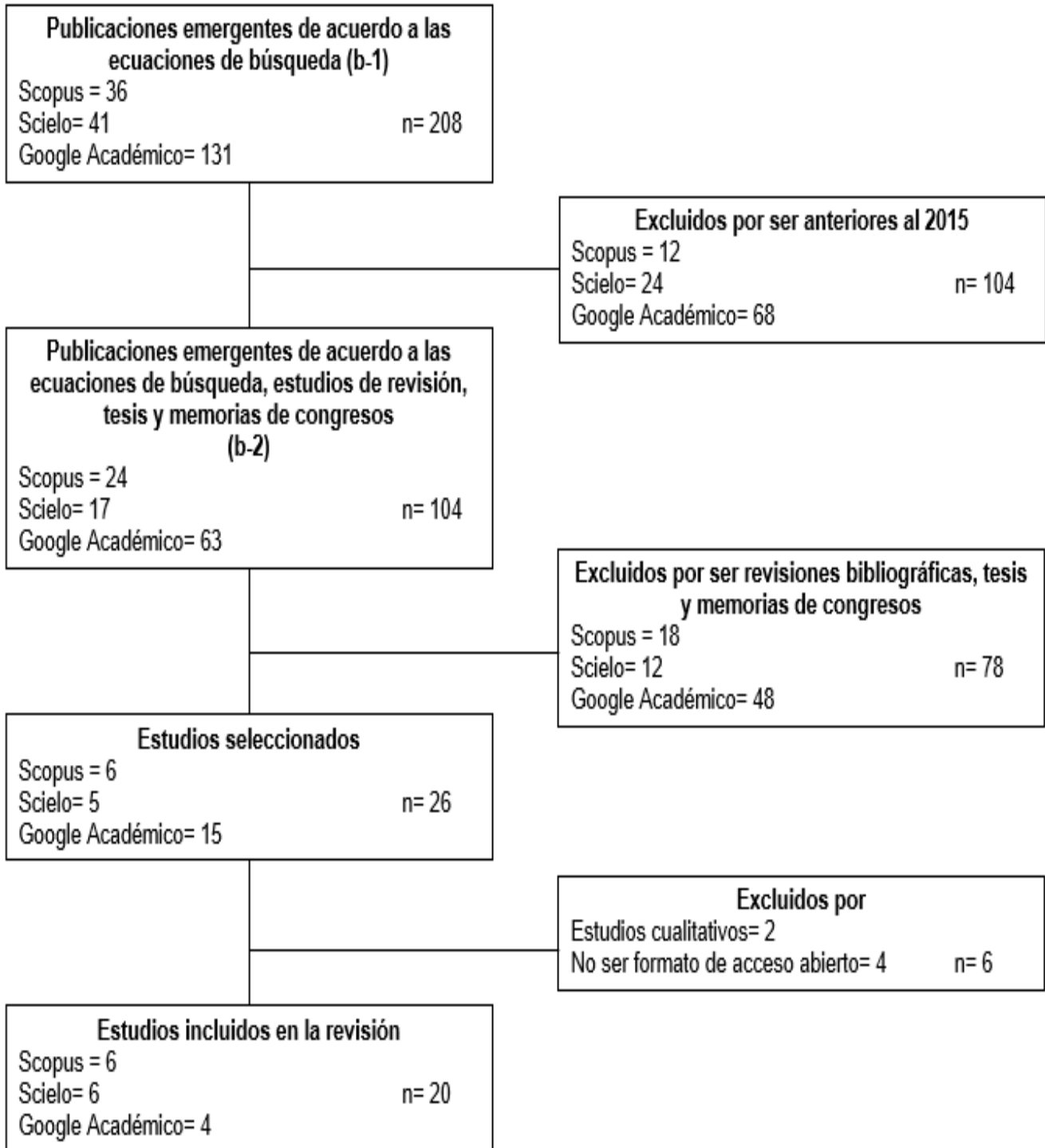


Gráfico 1. Proceso de inclusión y exclusión

Estrategias para la recuperación y selección de documentos

Los documentos considerados para el desarrollo de la revisión, fueron sistematizados a través de una hoja de cálculo Excel, considerando información básica asociada a la información bibliográfica de los mismos. Adicionalmente, los textos fueron procesados a través de técnicas artesanales de análisis de contenido (López Noguero, 2022), para poder establecer los aportes de cada uno de los trabajos revisados.

RESULTADOS

A continuación, se presenta el corpus de artículos con la información básica de los artículos seleccionados (cuadro 3).

Cuadro 3. Corpus de artículos revisados

N°	Año	Autor (es)	Título
1	2015	Delince et al.	Riesgo agroambiental por metales pesados en suelos con Cultivares de <i>Oryza sativa</i> L y <i>Solanum tuberosum</i> L
2	2017	Chambi Parisaca et al.	Evaluación de la presencia de metales pesados en suelos agrícolas y cultivos en tres microcuencas del municipio de Poopó-Bolivia
3	2017	Oviedo-Anchundia et al.	Contaminación por metales pesados en el sur del Ecuador asociada a la actividad minera
4	2017	Jara-Peña et al.	Acumulación de metales pesados en <i>Calamagrostis rigida</i> (Kunth) Trin. ex Steud. (Poaceae) y <i>Myriophyllum quitense</i> Kunth (Haloragaceae) evaluadas en cuatro humedales altoandinos del Perú
5	2019	Guzmán-Morales et al.	Efectos de la Contaminación por Metales Pesados en un Suelo con Uso Agrícola
6	2019	Pedroso-Herrera	Parámetros magnéticos indicadores de contaminación por metales pesados en suelos de la cuenca Almendares-Vento
7	2019	Ramírez Gottfried et al.	Potencial fitorremediador de la chicura (<i>Ambrosia ambrosioides</i>) en suelos contaminados por metales pesados

N°	Año	Autor (es)	Título
8	2020	Soto-Benavente et al.	Riesgos para la salud por metales pesados en productos agrícolas cultivados en áreas abandonadas por la minería aurífera en la Amazonía peruana
9	2020	Andrade Linarez et al	Determinación de metales pesados en suelos agrícolas y suelos para cultivo de <i>Solanum tuberosum</i> de la bahía interior de Puno
10	2021	López-Pacheco et al.	Evaluación del ciclo del nitrógeno en un suelo agrícola perturbado con compuestos Salfen de níquel y zinc
11	2021	Muyulema-Allaica et al.	Evaluación de la contaminación por metales pesados en suelos de la Reserva Ecológica de Manglares Cayapas Mataje (REMACAM)-Ecuador
12	2021	Huaranga Moreno et al.	Fitoextracción de Pb y Cd, presentes en suelos agrícolas contaminados por metales pesados por el rabo de zorro <i>Lolium multiflorum</i> L. (Poaceae)
13	2021	Correa Cuba	Contaminación por metales pesados de la microcuenca agropecuaria del río Huancaray - Perú
14	2021	Martínez-Alva et al.	Geodisponibilidad de elementos potencialmente tóxicos en suelos agrícolas que representan riesgo para el ambiente y la salud de la población del Nevado de Toluca, México
15	2021	Rosales-Huamaní et al.	Identificación de Cadmio y Plomo en los cultivos de cacao ubicados en la zona de Satipo - Junín
16	2021	Argumedo	Bioconcentración de metales pesados (Zn, Hg, Pb) en tejidos de <i>Ariopsis felis</i> y <i>Diplodus annularis</i> en el río Ranchería, norte de Colombia
17	2022	Fernández Ochoa et al.	Nivel de contaminación del suelo con arsénico y metales pesados en Tiquillaca (Perú)
18	2022	Mendoza-Velázquez et al.	Presencia de metales pesados en anuros de la porción sur de la selva Lacandona, Chiapas, México
19	2022	García Marcillo et al.	Determinación de metales pesados en pulpa de fruta de <i>capsicum annum</i> l. Cultivado en la comuna Joá, Cantón Jipijapa
20	2022	Espinoza Rivas et al.	Presencia de metales pesados en suelos agrícolas de la subcuenca Llallimayo, departamento de Puno

Como se aprecia en el cuadro anterior, los estudios han sido publicados de forma casi ininterrumpida desde 2015 hasta 2022, probablemente alineados a los objetivos del desarrollo sostenible y como una forma de concientización para el uso de energías limpias, garantizando una reducción del hambre en el mundo, pero desde una visión de protección y cuidado de los ecosistemas (Andreu Pinillos, Fernández-Fernández y Fernández Mateo, 2020). Con la

intención de profundizar en esta comprensión, a continuación, se presentan los diversos análisis emergentes de la revisión realizada.

Análisis por año de publicación

En lo referente al análisis emergente asociado a los años de publicación de los documentos, el gráfico 2 muestra la tendencia cronológica de estudios dentro del periodo estudiado.

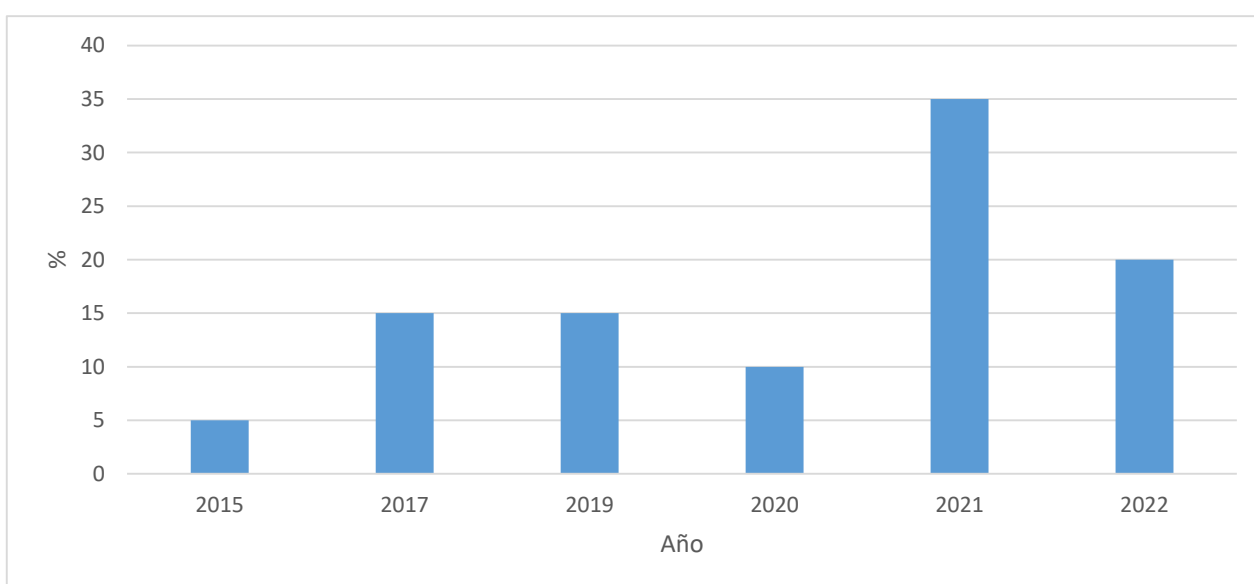


Gráfico 2. Documentos por año de publicación

Según se observa en el gráfico 2, la mayor frecuencia investigativa en esta área fue en el año 2021 donde se concentran 35% (n= 7) de las publicaciones, seguido del año 2022 con un 20% (n= 4), mientras que los años 2017 y 2019 tuvieron un 15% (n= 3) respectivamente, mientras que los años 2020 y 2015 fueron los más bajos con un 10% (n= 2) y 5% (n= 1), sin embargo, se aprecia que, ha sido un tema de interés.

Este comportamiento pudiese explicarse a través de una comprensión más asociada a la necesidad de profundizar en el conocimiento de los productos agrícolas que consume la

población, así como también, los efectos que estos pueden tener sobre los cursos de agua potable que se encuentran cerca de las zonas productoras, comprendiendo la importancia de reportar este tipo de datos que, pueden ser perjudiciales para la salud de los seres humanos (Espinoza Rivas, Cárdenas Catalán y EcheGARAY Peña, 2022).

Análisis por país de procedencia

En lo que respecta al país de procedencia, los resultados se muestran en el gráfico 3.

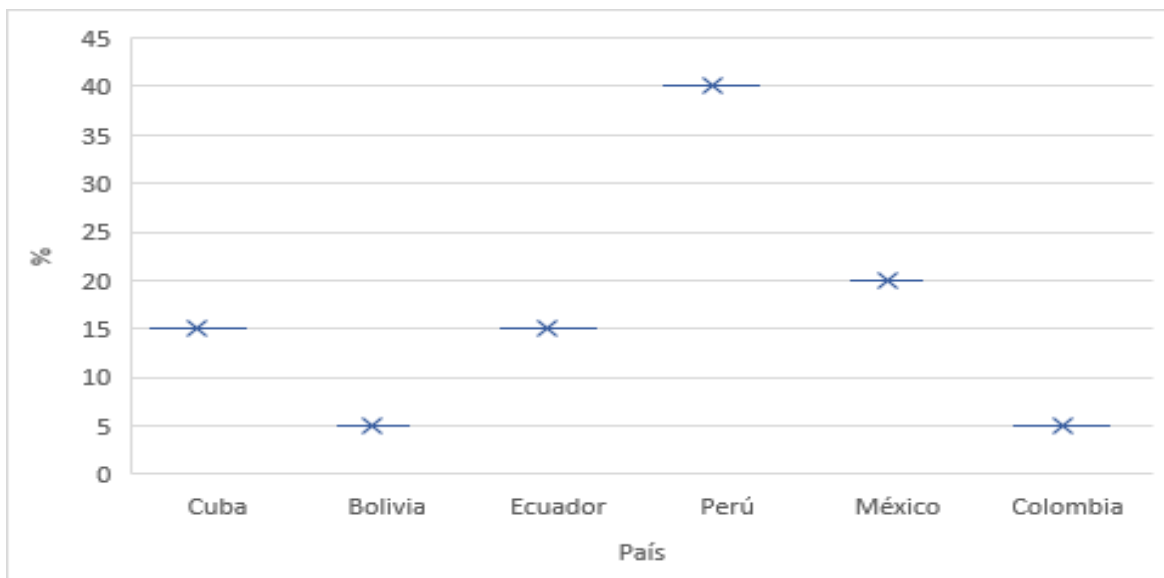


Gráfico 3. Documentos por país de procedencia

Con respecto a los países de origen de los documentos, el mayor número de investigaciones asociadas a la contaminación de suelos agrícolas por metales pesados procede de Perú con un 40% (n= 8), seguido por México con un 20% (n= 4), mientras que países como Cuba y Ecuador reúnen el 15% (n= 3), respectivamente, de los textos revisados y, finalmente, Bolivia y Colombia con el 5% (n= 1).

En concordancia, es posible asociar este comportamiento a los efectos de técnicas agrícolas empleadas para obtener productos de primera necesidad (Feito, 2020) y al empleo de estrategias químicas para masificar el potencial agrícola de la tierra, lo cual puede resultar

perjudicial en aspectos sanitarios (Tamara Morelos, Luna Castellanos, Espitia Montes, Novoa Yanez, Regino Hernández y de la Ossa Albis, 2021). Esta realidad, en países como Perú donde la intervención de la tierra para obtener productos agrícolas es agresiva, genera altos índices de contaminación y es un tema de especial interés nacional (Fernandez Ochoa, 2022).

Una situación similar se aprecia en México (Mendoza Velázquez, Aranda Coello y Gutiérrez Olvera, 2022) quienes explican que, debido a la necesidad de producción de alimentos en diversas áreas áridas del país, los agricultores emplean productos que se convierten en fuentes de contaminación de metales pesados.

Análisis por área de conocimiento

En función de la comprensión de las investigaciones acerca de la contaminación de suelos agrícolas por metales pesados de acuerdo al área de conocimiento, el gráfico 4 muestra la distribución en los textos revisados.

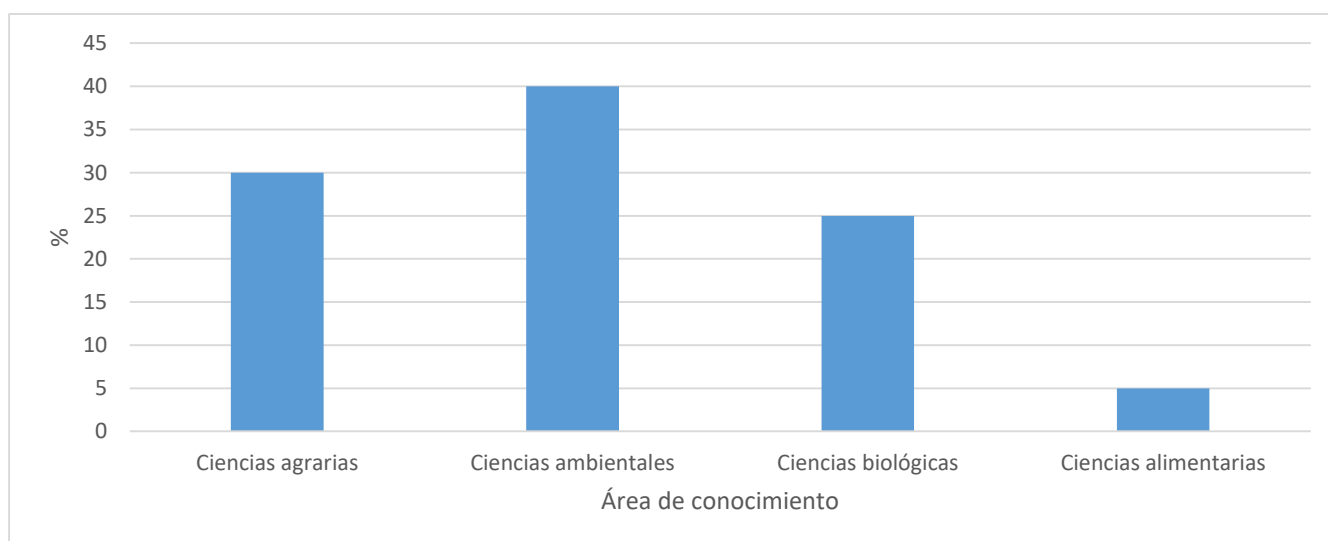


Gráfico 4. Documentos por área de conocimiento

Como se observa en el gráfico 4 el 40% (n= 8) de los textos recuperados y revisados pertenecen al área de las ciencias ambientales, seguido de las ciencias agrarias con un 30% (n= 6), mientras que las ciencias biológicas concentran un 25% (n= 5) y las ciencias

alimentarias un 5% (n= 1). Esta tendencia es común dentro de este tipo de estudios, debido a que, son los especialistas de las ciencias agrarias y ambientales quienes muestran mayor interés ante este tipo de estudios, en primer lugar, por la afectación a la salud del ser humano y, en segundo lugar, el impacto de este tipo de contaminación a los ecosistemas (Sanchez-Silva, González-Estrada, Blancas-Benitez y Fonseca-Cantabrana, 2020).

En el caso de las ciencias ambientales, las investigaciones se centran en el reconocimiento de la calidad del suelo, del agua de escorrentía y en la afectación de este tipo de contaminantes en los productos resultantes (Soto-Benavente, Rodríguez-Achata, Olivera, Arostegui, Colina y Garate, 2020).

El otro interés de las ciencias ambientales, se concentra en el reconocimiento de la afectación a los ecosistemas, el deterioro de la calidad ambiental y los posibles escenarios de riesgos ambientales a futuro, así como la búsqueda de alternativas para mitigar los efectos de los agentes contaminantes (Ramírez Gottfried, García Carrillo, González Cervantes y Hernández Hernández, 2019).

Los estudios desarrollados desde las ciencias biológicas, buscan comprender la alteración biológica y química en los seres vivos por la exposición prolongada por consumo, directo e indirecto, de metales pesados (Correa Cuba, 2021), y, los estudios asociados a las ciencias alimentarias, evalúan la calidad de los productos de consumo humano que surgen desde sectores con alta concentración de contaminación por metales pesados (García Marcillo, Bravo Sánchez y Pérez Parra, 2022).

Análisis por metodología empleada

Con respecto al abordaje metodológico en los artículos revisados, el gráfico 5 muestra las técnicas de determinación de metales pesados empleadas en cada uno de ellos.

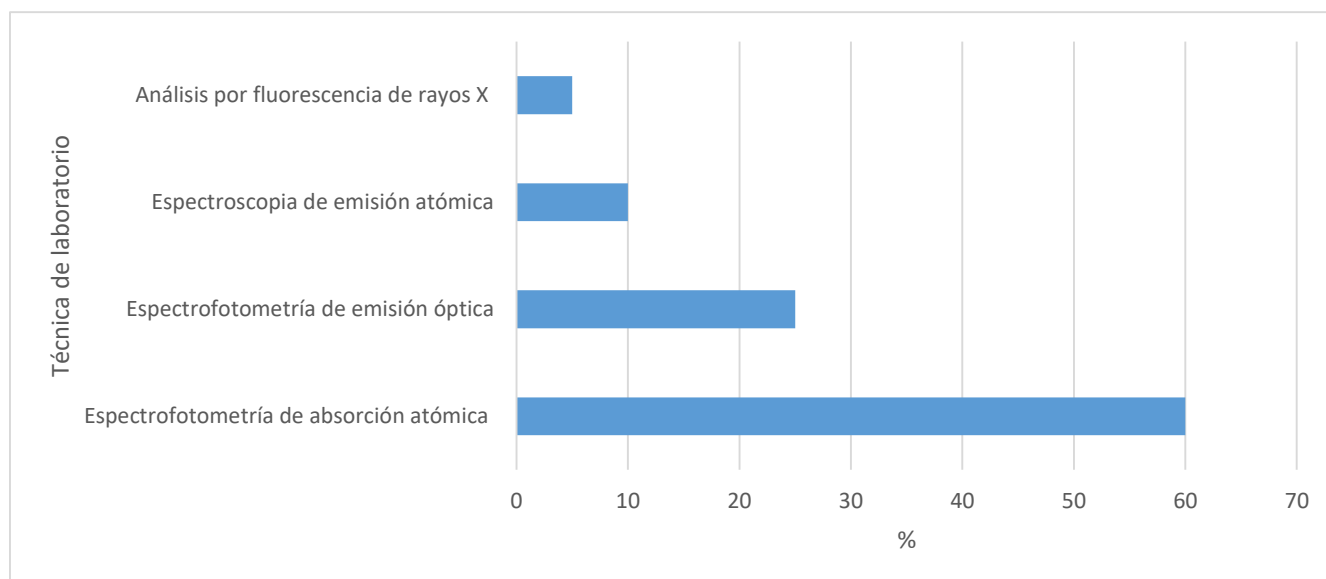


Gráfico 5. Documentos por metodología empleada

Con respecto a las técnicas analíticas de laboratorio para determinar metales pesados en los estudios de suelos agrícolas, en los estudios analizados se señala como la de mayor frecuencia a la espectrofotometría de absorción atómica con un 60% (n= 12), seguido de la espectrofotometría de emisión óptica con un 25% (n= 25), mientras que la espectroscopia de emisión atómica se presenta en el 10% (n= 2) de los estudios y en menor medida el análisis por fluorescencia de rayos X en un 5% (n= 1). (gráfico 5).

Esta tendencia se debe a la accesibilidad, facilidad y exactitud de los resultados a partir de la implementación de estas técnicas de laboratorio, pues se reconoce que la espectrofotometría de absorción atómica debe su popularidad a su especificidad, sensibilidad y facilidad de operación (Bautista-Hernández y Larico-Laura, 2018), una realidad que puede evidenciarse en la investigación llevada a cabo por Delince, Valdés Carmenate, López Morgado, Guridi Izquierdo y Balbín Arias (2015).

Aportes de los estudios de contaminación de suelos agrícolas por metales pesados

Los estudios revisados han permitido comprender diversas aristas asociadas a la contaminación de los suelos agrícolas por causa de metales pesados, comprendiendo que, en

muchos de los casos, esta puede ocurrir por agentes agroquímicos que, en ciertas cantidades, pueden generar este tipo de situaciones (Jara-Peña, 2017), sin embargo, se reconoce la influencia de actividades mineras, tanto formales como informales, que se presentan en zonas rurales y que, por transporte de los cauces de agua, traen como consecuencia altas cargas de metales pesados que contaminan las tierras agrícolas (Argumedo, 2021; Oviedo-Anchundia, Moína-Quimí, Naranjo-Morán y Barcos-Arias, 2017).

Ante esta realidad, los estudios asociados a la contaminación de tierras agrícolas por metales pesados, han centrado su interés en el reconocimiento de la afectación que pueden generar en la salud del ser humano, al consumir alimentos que sobrepasan los límites máximos permitidos de este tipo de agentes y que, pueden desencadenar en condiciones de salud asociadas a falla de órganos principales e inclusive hasta desarrollar cáncer (Andrade Linarez *et al.*, 2020; López Pacheco *et al.*, 2020).

Adicionalmente, los estudios buscan comprender la calidad de los suelos agrícolas en la actualidad, como medida para tomar las acciones necesarias para gestionar de forma adecuada la agricultura sostenible, como medio para reducir la pobreza mundial e ir construyendo, consecuentemente, los escenarios propicios para el cumplimiento de la agenda de objetivos de desarrollo sostenible 2030 (Martínez-Alva *et al.*, 2020; Rosales Huamani, Centeno Rojas, Cajacuri Perez, Breña Ore y Chávez Chapana, 2021). Para ello, las investigaciones revisadas, ponen de manifiesto, la urgencia de transformar las normativas legales de cada país, a fin de poder generar espacios para la gestión del desarrollo, desde la perspectiva de la protección del patrimonio natural actual y, avanzar hacia una formulación de programas integradores para reducir la contaminación de metales pesados en zonas agrícolas, tanto por el uso de agroquímicos, como por la acción degradante producto de la minería (Huaranga, Méndez, Quilcat, Bernui, Costilla, y Huaranga, 2021; Muyulema-Allaica, Canga-Castillo, S. Pucha-Medina, P. y Espinosa-Ruiz, 2019; Pedroso-Herrera, 2019).

Finalmente, se reconoce el esfuerzo de los estudios revisados acerca de la identificación de los procesos de contaminación de los suelos agrícolas por metales pesados a través de estudios transversales, en donde se puede evidenciar el proceso de avance de esta polución

en las áreas, con la intención de determinar una tendencia y poder generar aproximaciones acerca de la vida útil de estos espacios para la el desarrollo de actividades primarias y, como ejecutar acciones fitoremediadoras para mejorar la calidad de los suelos y el agua adyacente a este tipo de zonas (Chambi, Orsag y Niura, 2017; Guzmán-Morales, Cruz-La Paz y Valdés-Carmenate, 2019).

CONCLUSIONES

La revisión de estudios publicados nos permite comprender el fenómeno asociado a la contaminación de suelos por metales pesados en comunidades agrícolas, evidenciando que existen diversos efluentes que pueden generar esta polución, por un lado, los productos agroquímicos empleados por los propios productores, quienes buscan masificar su producción a través de técnicas poco convencionales y, por otro lado, la minería que se desarrolla en espacios rurales, la cual, contamina directamente los ríos y repercute directamente en los espacios agrícolas, pues el agua de los cursos de agua es empleada para el regadío.

El estudio permitió identificar la necesidad de transformar, de forma integral, la legislación vigente y, ejecutar planes de acción que posibilite una transformación en la concepción actual de la agricultura, la cual debe encontrarse más acorde a los objetivos de desarrollo sostenible, garantizando así, la reducción de la pobreza, pero, además, la salvaguarda de los recursos para la pervivencia de las generaciones futuras.

Es importante reconocer que, esta investigación se encuentra limitada por elementos técnico-metodológicos, asociada al muestreo empleado, por lo que resulta conveniente recomendar, para futuros estudios, ampliar los motores de búsqueda para obtener una mayor cantidad de documentos y, considerar la inclusión de textos como tesis de grado, los cuales son revisados por profesionales que son expertos en la materia y, ayudarían a profundizar en la comprensión de este fenómeno.

REFERENCIAS

- Andrade Linarez, K., Castillo Coaquira, I. y Quispe Riquelme, R. (2020). Determinación de metales pesados en suelos agrícolas y suelos para cultivo de *Solanum tuberosum* de la bahía interior de Puno. *Investigación & Desarrollo*, 20(1), 147–153. <https://doi.org/10.23881/idupbo.020.1-11i>
- Andreu Pinillos, A., Fernández-Fernández, J. L. y Fernández Mateo, J. (2020). Pasado, presente y futuro de los objetivos del desarrollo sostenible (ODS). La tecnología como catalizador (o inhibidor) de la Agenda 2030. *Revista Icade. Revista de Las Facultades de Derecho y Ciencias Económicas y Empresariales*, 108. <https://doi.org/10.14422/icade.i108.y2019.001>
- Argumedo, C. D. (2021). Bioconcentración de metales pesados (Zn, Hg, Pb) en tejidos de *Ariopsis felis* y *Diplodus annularis* en el río Ranchería, Norte de Colombia. *Revista de La Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 68(2). <https://doi.org/10.15446/rfmvz.v68n2.98025>
- Avelar-Rodríguez, D. y Toro-Monjaraz, E. M. (2018). PubMed: Clinical Queries, Terminología MeSH y Operadores Booleanos. *Revista de Medicina Clínica*, 2(3), 96–100.
- Bautista-Hernández, A. y Larico-Laura, I. (2018). Determinación de Residuos de Disparo por Arma de Fuego mediante Espectrofotometría de Absorción Atómica. *Rev Mex Med Forense*, 3(1).
- Cartaya, I., Reynaldo, I. y Peniche, C (2008). Cinética de adsorción de iones cobre (II) por una mezcla de oligogalacturónidos. *Revista Iberoamericana de Polímero*, 9(5).
- Chambi, L., Orsag, V. y Niura, A. (2017). Evaluación de la presencia de metales pesados en suelos agrícolas y cultivos en tres microcuencas de la municipalidad de Poopó - Bolivia. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 4(1).
- Codina, L. (2020). Cómo hacer revisiones bibliográficas tradicionales o sistemáticas utilizando bases de datos académicas. *Revista ORL*, 11(2), 139–153. <https://doi.org/10.14201/orl.22977>
- Contreras Pérez, J., Mendoza Gómez. C. y Gómez, A. (2004). Determinación de metales pesados en aguas y sedimentos del Río Haina. *Ciencia y Sociedad*, 29(1). <https://doi.org/10.22206/cys.2004.v29i1.pp38-71>
- Correa Cuba, O. (2021). Contaminación por metales pesados de la microcuenca agropecuaria del río Huancaray - Perú. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 87(1), 26–38. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v87i1.320>
- Cué Brugueras, M., Díaz Alonso, G., Díaz Martínez, A. G. y Valdés Abreu, M. de la C. (2008). El artículo de revisión. *Revista Cubana de Salud Pública*, 34(4). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-34662008000400011
- Delince, W., Valdés Carmenate, R., López Morgado, O., Guridi Izquierdo, F. y Balbín Arias, M. I. (2015). Riesgo agroambiental por metales pesados en suelos con Cultivares de *Oryza sativa* L y *Solanum tuberosum* L. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24 (1), 44–50. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93233771006>

- Espinoza Rivas, G. R., Cárdenas Catalán, J. A., & Echegaray Peña, N. G. (2022). Presencia de metales pesados en suelos agrícolas de la sub cuenca Llallimayo, departamento de Puno. *C&T Riqchary. Revista de Investigación En Ciencia y Tecnología*, 4(1). <https://revistas.unamba.edu.pe/index.php/riqchary/article/view/83>
- Feito, M. C. (2020). Comercialización de la agricultura familiar para el desarrollo rural: feria de la Universidad Nacional de La Matanza. *Revista de Economía e Sociología Rural*, 58(1). <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2020.187384>
- Fernandez Ochoa, B. H. (2022). Nivel de contaminación del suelo con arsénico y metales pesados en Tiquillaca (Perú). *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 24(2), 131–138. <https://doi.org/10.18271/ria.2022.416>
- García Marcillo, R. J., Bravo Sánchez, L. R. y Pérez Parra, J. C. (2022). Determinación de metales pesados en pulpa de fruta de capsicum annum I. Cultivado en la comuna de Joá, Cantón Jipijapa. *Centro Azúcar*, 49(2), 122–135. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612022000200122
- Gomez Rengifo, V. E., Velásquez Jiménez, J. A. y Quintana Marín, G. C. (2013). Lignina como adsorbente de metales pesados. *Revista Investigaciones Aplicadas*, 7(2).
- Granda Orive, J. I. de, García Río, F. y Callol Sánchez, L. (2003). Importancia de las palabras clave en las búsquedas bibliográficas. *Revista Española de Salud Pública*, 77(6), 765–767. <https://doi.org/10.1590/s1135-57272003000600010>
- Guzmán-Morales, R., Cruz-La Paz, O. y Valdés-Carmenate, R. (2019). Efectos de la contaminación por metales pesados en un suelo con uso agrícola. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 28(1).
- Huaranga, F., Méndez, E., Quilcat, V., Bernui, F., Costilla, N., & Huaranga, F. (2021). Fitoextracción de Pb y Cd, presentes en suelos agrícolas contaminados por metales pesados por el rabo de zorro *Lolium multiflorum* L. (Poaceae). *Arnaldoa*, 28(1).
- Jara-Peña, E. (2017). Acumulación de metales pesados en *Calamagrostis rigida* (Kunth) Trin. ex Steud. (Poaceae) y *Myriophyllum quitense* Kunth (Haloragaceae) evaluadas en cuatro humedales altoandinos del Perú. *Arnaldoa*, 24(2), 583–598. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.242.24210>
- Linares-Espinós, E., Hernández, V., Domínguez-Escrig, J. L., Fernández-Pello, S., Hevia, V., Mayor, J., Padilla-Fernández, B. y Ribal, M. J. (2018). Metodología de una revisión sistemática. *Actas Urológicas Españolas*, 42(8), 499–506. <https://doi.org/10.1016/j.acuro.2018.01.010>
- Londoño Franco, L. F., Londoño Muñoz, P. T., & Muñoz Garcia, F. G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotechnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2). [https://doi.org/10.18684/bsaa\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/bsaa(14)145-153)
- López Noguero, F. (2022). El análisis de contenido como método de investigación. *Revista de Educación*, 4, 167–179.
- López Pacheco, A. A., Escárcega-Bobadilla, M. V., Mondragón-Camarillo, L., Hayano-Kanashiro, C., Varela-Romero, A., Vílchez-Vargas, R. y Calderón Alvarado, K. (2020).

- Evaluación del ciclo del nitrógeno en un suelo agrícola perturbado con compuestos Sal-fen de níquel y zinc. *Biotecnia*, 22(3), 29–39. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v22i3.1134>
- Martínez-Alva, G., Gheno-Heredia, Y. A., Vieyra-Reyes, P., Martínez-Campos, Á. R., Castillo-Cadena, J., López-Arriaga, J. A., Manzur-Quiroga, M. de los Á. y Arteaga-Reyes, T. T. (2020). Geodisponibilidad de elementos potencialmente tóxicos en suelos agrícolas que representan riesgo para el ambiente y la salud de la población del Nevado de Toluca, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. <https://doi.org/10.20937/RICA.53614>
- Mendoza Velázquez, O. M., Aranda Coello, J. M. y Gutiérrez Olvera, C. (2022). Presencia de metales pesados en anuros de la porción sur de la selva Lacandona, Chiapas, México. *Revista Latinoamericana De Herpetología*, 5(3), 33–42. <https://herpetologia.fcencias.unam.mx/index.php/revista/article/view/495>
- Moreno, B., Muñoz, M., Cuellar, J., Domancic, S. y Villanueva, J. (2018). Revisiones Sistemáticas: definición y nociones básicas. *Revista Clínica de Periodoncia, Implantología y Rehabilitación Oral*, 11(3), 184–186. <https://doi.org/10.4067/S0719-01072018000300184>
- Muyulema-Allaica, J., Canga-Castillo, S., Pucha-Medina, P. y Espinosa-Ruiz, C. (2019). Evaluar la contaminación por metales pesados en suelos de la REMACAM mediante la aplicación de índices de polución. *RIIT. Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*, 7(41), 40–61. <https://www.scielo.org.mx/pdf/riit/v7n41/2007-9753-riit-7-41-40.pdf>
- Nava-Ruiz, C., & Méndez-Armenta, M. (2011). Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). *Archivos de Neurociencias*, 16(3).
- Oviedo-Anchundia, R. Moína-Quimí, E., Naranjo-Morán, J., & Barcos-Arias, M. (2017). Contaminación por metales pesados en el sur del Ecuador asociada a la actividad minera. *Bionatura*, 2(4), 437–441. <https://doi.org/10.21931/RB/2017.02.04.5>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Alonso-Fernández, S. (2021). Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista Española de Cardiología*, 74(9), 790–799. <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2021.06.016>
- Pedroso-Herrera, I. I. (2019). Parámetros magnéticos indicadores de contaminación por metales pesados en suelos de la cuenca almendares-vento. *Minería y Geología*, 35(1).
- Ramírez Gottfried, R. I., García Carrillo, M., Alvares, V. de P., González Cervantes, G. y Hernández Hernández, V. (2019). Potencial fitorremediador de la chicura (*Ambrosia ambrosioides*) en suelos contaminados por metales pesados. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(7), 1529–1540. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i7.1731>
- Reyes, Y. C., Vergara, I., Torres, O. E., Díaz, M. y González, E. E. (2016). Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Ingeniería Investigación y Desarrollo*, 16(2). <https://doi.org/10.19053/1900771x.v16.n2.2016.5447>

- Rosales-Veítia, J. y Marcano-Montilla, A. (2023). Planes comunitarios de riesgos en Suramérica. Una revisión sistemática. *Revista Geográfica De América Central*, 1(70), 107–134. <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/16200>
- Rosales Huamani, J. A., Centeno Rojas, L., Cajacuri Perez, J. R., Breña Ore, J., y Chávez Chapana, C. (2021). Identificación de Cadmio y Plomo en los cultivos de Cacao ubicados en la zona de Satipo - Junín. *TECNIA*, 21(2). <https://doi.org/10.21754/tecnia.v21i2.1062>
- Sanchez-Silva, J. M., González-Estrada, R. R., Blancas-Benitez, F. J., y Fonseca-Cantabrana, Á. (2020). Utilización de subproductos agroindustriales para la bioadsorción de metales pesados. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 23. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2020.0.261>
- Soto-Benavente, M., Rodriguez-Achata, L., Olivera, M., Arostegui, V., Colina, C., y Garate, J. (2020). Riesgos para la salud por metales pesados en productos agrícolas cultivados en áreas abandonadas por la minería aurífera en la Amazonía peruana. *Scientia Agropecuaria*, 11(1), 49–59. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.01.06>
- Tamara Morelos, R. E., Luna Castellanos, L. L., Espitia Montes, A. A., Novoa Yanez, R. S., Regino Hernández, S. M., y de la Ossa Albis, V. A. (2021). Respuesta del ñame espino a diferentes densidades de siembra y altura de espalderas. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 23(4), 210–219. <https://doi.org/10.18271/ria.2021.271>
- Tejada-Tovar, C., Villabona-Ortiz, Á., y Garcés-Jaraba, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *TecnoLógicas*, 18(34). <https://doi.org/10.22430/22565337.209>

