

Contaminantes Emergentes Provenientes de Aplicación de Lodos Residuales en la Agricultura: Un análisis Bibliométrico Emerging Contaminants from Sewage Sludge Application in Agriculture: Bibliometric Analysis

Ana M. Arriaga-Vázquez¹ , Claudia I. Hidalgo-Moreno¹ , Osbaldo Martínez-Ríos¹ ,
Edgar Barrales-Brito¹ , Jorge D. Etchevers-Barra¹ y Ángel Bravo-Vinaja²

¹ Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo. 56230 Texcoco, Estado de México, México; (A.M.A.V.), (C.I.H.M.), (O.M.R.), (E.B.B.), (J.D.E.B.).

² Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí. Iturbide No. 73, Colonia Centro. 78622, Salinas, San Luis Potosí, México; (A.B.V.).

[†] Autor para correspondencia: abravo@colpos.mx

RESUMEN

La producción de biosólidos en plantas tratadoras de aguas residuales representa un problema ambiental dado que aumenta paralelamente con la población. En la literatura se reportan artículos de investigación donde se aborda la aplicación de los lodos en la agricultura, surgiendo la preocupación del efecto de contaminantes emergentes (CE) que puedan estar contenidos en cultivos y el suelo. El objetivo del presente estudio fue analizar las tendencias de la producción científica en investigaciones relacionadas con la aplicación de los lodos residuales en la agricultura, en el periodo comprendido entre 1992 a 2024, mediante el uso de herramientas bibliométricas. Se realizó una búsqueda avanzada en Web of Science, específicamente en las bases de datos Science Citation Index Expanded y Social Science Citation Index, y se efectuó un análisis en Excel y VOSviewer de indicadores bibliométricos. Se obtuvieron 277 trabajos con registro publicados entre el período evaluado (1992-2024). La producción científica se ajustó a un crecimiento exponencial ($R^2=0.9124$) lo que muestra un aumento de artículos publicados en estos años, del año 1922 a 2011 el incremento fue menor del 2%, posteriormente el crecimiento de las publicaciones fue mayor a 2% a diferencia del año 2021 donde el crecimiento fue mayor del 10%. El autor con el mayor número de trabajos publicados y registrados es Lapen D. R., mientras que el autor más citado es Huerta E. La revista con más artículos publicados es *Science of the total Environment*, siendo La Academia de Ciencias de China la institución con más trabajos con registro publicados y la de mayor interacción con instituciones de otros países. Se concluye que el crecimiento de publicaciones de artículos relacionados con la aplicación de lodos residuales a campos agrícolas y sus implicaciones concernientes a los CE, ha sido exponencial y que numerosos autores publican constantemente en este campo de estudio.

Palabras clave: bioacumulación, biosólidos, indicadores bibliométricos, producción científica, VOSviewer.

SUMMARY

The production of biosolids in wastewater treatment plants represents an environmental concern, as it increases in parallel with population growth. The literature reports research addressing the application of sludge in agriculture, raising concern about the effects of emerging contaminants (EC) that may be present in crops and soils. The aim of this study was to analyze, using bibliometric tools, trends in scientific production related to research on the application of sewage sludge in agriculture during the period from 1992 to 2024. An advanced search was



Cita recomendada:

Arriaga-Vázquez, A. M., Hidalgo-Moreno, C. I., Martínez-Ríos, O., Barrales-Brito, E., Etchevers-Barra, J. D., & Bravo-Vinaja, A. (2025). Contaminantes Emergentes Provenientes de Aplicación de Lodos Residuales en la Agricultura: Un análisis Bibliométrico. *Terra Latinoamericana*, 43, 1-15. e2220. <https://doi.org/10.28940/terralatinoamericana.v43i.2220>

Recibido: 17 de febrero de 2025.

Aceptado: 13 de agosto de 2025.

Artículo. Volumen 43.

Noviembre de 2025.

Editor de Sección:

Dr. Luis G. Hernández Montiel

Editor Técnico:

Dr. David Cristóbal Acevedo



Copyright: © 2025 by the authors.

Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC ND) License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

conducted in Web of Science, specifically in the Science Citation Index Expanded and Social Science Citation Index databases, and an analysis of bibliometric indicators was performed in Excel and VOSviewer. A total of 277 registered papers published during the period under study (1992-2024) were obtained. Scientific production followed an exponential growth pattern ($R^2 = 0.9124$), indicating an increase in the number of articles published in these years of less than 2% from 1992 to 2011, followed by growth greater than 2%, in contrast to 2021, when the increase exceeded 10%. The author with the highest number of registered publications was Lapen D. R., while the most cited author was Huerta E. The journal with the most published articles was *Science of the Total Environment*, and the Chinese Academy of Sciences was the institution with the greatest number of registered publications and the highest level of collaboration with institutions in other countries. It is concluded that the growth of literature related to the application of sewage sludge to agricultural fields and its implications concerning EC has been exponential, and that numerous authors are actively publishing in this field of study.

Index words: *bioaccumulation, biosolid, bibliometric indicators, scientific production, VOSviewer.*

INTRODUCCIÓN

El tratamiento de aguas residuales produce materiales semisólidos resultado de la sedimentación de los sólidos en suspensión durante este proceso (Lamastra, Suciú y Trevisan, 2018), se estima una producción mundial anual de materia seca de 45 millones de Mg de este material (Buta, Hubeny, Zieliński, Harnisz y Korzeniewska, 2021). Los lodos se han evaluado antes, durante y después de su aplicación como fertilizante en la agricultura, principalmente sus características físicas, químicas y biológicas (Zhang, Zhou, Ren, Hu y Ji, 2023). Hasta ahora se reportan amplios beneficios de su uso en el suelo como: el mejoramiento de las propiedades físicas (contenido de humedad, cambio en la densidad aparente), disminución de la erosión, así como la aportación al suelo de fósforo, nitrógeno y micronutrientes; lo que puede disminuir o anular la aplicación de fertilizantes químicos (Brown, Ippolito, Hundal y Basta, 2020). Sin embargo, su uso tiene implicaciones en cuanto a la polución por contaminantes emergentes (CE) presentes en los lodos, los cuales tienen efectos perjudiciales en la vida acuática y terrestre (Pérez-Lemus, López, Pérez y Barrado, 2019). Además, pueden afectar los suelos y las plantas, así como a la salud humana si son absorbidos por cultivos comestibles (Seleiman, Santanen y Mäkelä, 2020). Se ha demostrado la factibilidad de obtener una composta aceptable a partir de los lodos residuales, de tal manera que se puede utilizar como fertilizante orgánico en parques y jardines de las zonas urbanas, o en áreas agrícolas y tienen enorme posibilidad de usarse como mejoradores de suelos al cumplir con la legislación ambiental (Márgez y Núñez, 2024).

Los CE son sustancias liberadas al medio ambiente, tienen las características de biotoxicidad, persistencia ambiental y bioacumulación, su regulación y gestión no se han abordado de forma integral e implementado de forma efectiva. Los CE incluyen principalmente productos farmacéuticos y de cuidado personal (PPCP), genes de resistencia a antibióticos (ARG), pesticidas, sustancias disruptoras endocrinas (EDC), retardantes de llama, subproductos de desinfección (DBP), compuestos perfluorados (PFC), nanopartículas, almizcles sintéticos, perfluoroquímicos, bisfenol, triclosán, triclocarbán, surfactantes, entre otros (Li y Yuan, 2024). Se han realizado considerables estudios acerca del riesgo que implica el uso de biosólidos en la agricultura, estos se centran en el diagnóstico de patógenos, metales pesados, contenido excesivo de nutrientes, la emisión y transporte de bioaerosoles que contienen patógenos, fármacos, y la presencia de contaminantes persistentes y algunos orgánicos (Marchuk *et al.*, 2023; Gubišová *et al.*, 2020). Los contaminantes provenientes de los lodos se diseminan al ambiente en el suelo (Buta *et al.* 2021), donde se absorben por las raíces y se pueden translocar en la planta (Abril, Santos, Martín, Aparicio y Alonso, 2021). Por ello es importante tener una perspectiva de las investigaciones realizadas sobre el tema a nivel mundial, por lo que un análisis bibliométrico puede ser de utilidad.

El análisis bibliométrico es un método para explorar y analizar grandes volúmenes de datos científicos, que sirven para observar la evolución de un campo de estudio en específico, al mostrar las áreas emergentes de este campo (Donthu, Kumar, Mukherjee, Pandey y Lim, 2021). La bibliometría utiliza el análisis de referencias bibliográficas, análisis de citas y análisis de concurrencia de palabras clave para realizar un análisis estadístico sobre el número y la tendencia de desarrollo de la literatura en el tema de investigación, para posteriormente

visualizar la información a través de un mapeo de software (Shoaib, Zhang y Ali, 2023). El presente trabajo tiene el objetivo analizar el desempeño de la producción científica con respecto a la aplicación de los lodos residuales en la agricultura, en el periodo 1992 a 2024.

MATERIALES Y MÉTODOS

La búsqueda de documentos se realizó en el mes de septiembre de 2024, para el análisis bibliométrico se utilizaron documentos publicados en el periodo comprendido entre 1992 y 2024 en las bases de datos SCIE y SSCI, la búsqueda inicial de documentos fue ALL= ("sewage sludge" OR "residual sludge" OR "waste activated sludge" OR "excess activated sludge" OR "excess sludge") AND ALL= ("emerging pollutant*" OR "emerging contaminant*" OR contaminant* of "emerging concern*" OR microplastic* OR surfactant* OR nanomaterial* OR "antibiotic*" OR "endocrine disrupting chemical*" OR "disinfection*" OR pesticide* OR pharmaceutical* OR cosmetic* OR "personal care product*" OR "cleaning product*" OR "persistent organic pollutant*" OR micropollutant* OR organic pollutant* OR "antibiotic resistance genes*") incluyendo términos de contaminantes comunes, se obtuvo un registro de 6159 para identificar documentos orientados al tema agrícola y disminuir el rango de búsqueda, se incluyó en la búsqueda AND ALL=(agriculture* OR crops* agricultural soil*) obteniendo un registro de 717 documentos. Algunos CE pueden ser omitidos en función de la búsqueda que podrían no contenerse en las palabras clave, el título o resumen de los registros en Web of Science. Dichos registros se sometieron a un criterio de inclusión y exclusión para identificar aquellas relacionadas directamente con el tema de interés, solo 277 documentos cumplieron estos criterios y se analizaron aplicando 11 indicadores bibliométricos unidimensionales y multidimensionales (Cuadro 1). Los parámetros utilizados para seleccionar la muestra de documentos sobre el uso de lodos residuales como fertilizantes en la agricultura y sus implicaciones ambientales relacionados con CE se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Indicadores bibliométricos utilizados para analizar la producción científica indexada en WoS (1992-2024), sobre el uso de lodos residuales como fertilizantes en la agricultura y sus implicaciones ambientales relacionados con contaminantes emergentes.
Table 1. Bibliometric indicators used to analyze the indexed scientific production in WoS (1992-2024) on the use of sewage sludge as fertilizer in agriculture and its environmental implications related to emerging contaminants.

Indicador	Descripción
Publicaciones totales	Publicaciones totales del tema de estudio.
Crecimiento de la literatura	Descripción de la evolución de años en que se publicaron los artículos y número de artículos publicados.
Autores con mayor producción	Número de publicaciones como autor principal y en coautoría.
Revistas con más artículos publicados	Número y porcentaje de artículos publicados por cada revista, así como los parámetros JCR de cada revista.
Autores más citados	Autores más citados en artículos como autor principal o en coautoría.
Artículos con mayor número de citas	Diez primeros artículos más citados y las características principales de las publicaciones.
Instituciones con mayor productividad	Instituciones que participaron en la mayor cantidad de documentos, enlistando las diez primeras entidades.
Producción de países participantes	De acuerdo con el número de trabajos publicados, se eligieron los diez principales países. Uso de mapas científicos que muestran la "red de colaboración entre países".
Red de colaboración entre autores	Evaluación mediante el software VOSviewer versión 1.6.20 (van Eck y Waltman, 2023) para crear mapas con "visualización de similitudes" entre autores, a partir de los registros extraídos del SCIE y SSCI en formato de texto que muestran la "red de colaboración entre investigadores".
Red de colaboración entre países	Se creó un mapa de red de colaboración entre países mediante el software VOSviewer versión 1.6.20 (van Eck y Waltman, 2023) para identificar los países que más publican y visualizar las interacciones de colaboración entre los mismos.
Temáticas de investigación	El análisis de coocurrencia de palabras clave se usó para identificar los subtemas de investigación sobre contaminantes emergentes provenientes de aplicación de lodos residuales en la agricultura, para ello se consideró como umbral aquellas que registraron más de 10 ocurrencias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Crecimiento de la Literatura

Se obtuvieron 779 resultados de los cuales se seleccionaron solo artículos de investigación (76.5%) y de revisión (23.5%) obteniendo 277 artículos publicado desde el año 1992 hasta el 26 de septiembre de 2024 (Figura 1). De acuerdo con los documentos recabados, la evolución de la investigación acerca de lodos residuales en la agricultura y su implicación con la presencia de CE existe una tendencia de aumento en los estudios publicados en el periodo analizado, el crecimiento exponencial de la investigación en el tema se expresa en la ecuación (1), de la cual se deduce la tasa promedio anual de publicación de 11.6% (13 artículos) con coeficiente de determinación (R^2) de 0.9124, lo que indica un buen ajuste de curva exponencial. Comenzando con el año 2011, el crecimiento de las publicaciones fue mayor del 2.0% (5 documentos) que cambia desde el año 2021 al 2023 al registrarse un crecimiento superior del 10% (28 documentos). Se publicó al menos un artículo en cada uno de los años comprendidos entre el periodo de evaluación. En los últimos 32 años ha habido un incremento exponencial de la literatura en el tema de la fertilización agrícola con lodos residuales en la agricultura y sus implicaciones ambientales con contaminantes emergentes (Figura 2).

$$y = 0.9804e^{0.1167x} \quad (1)$$

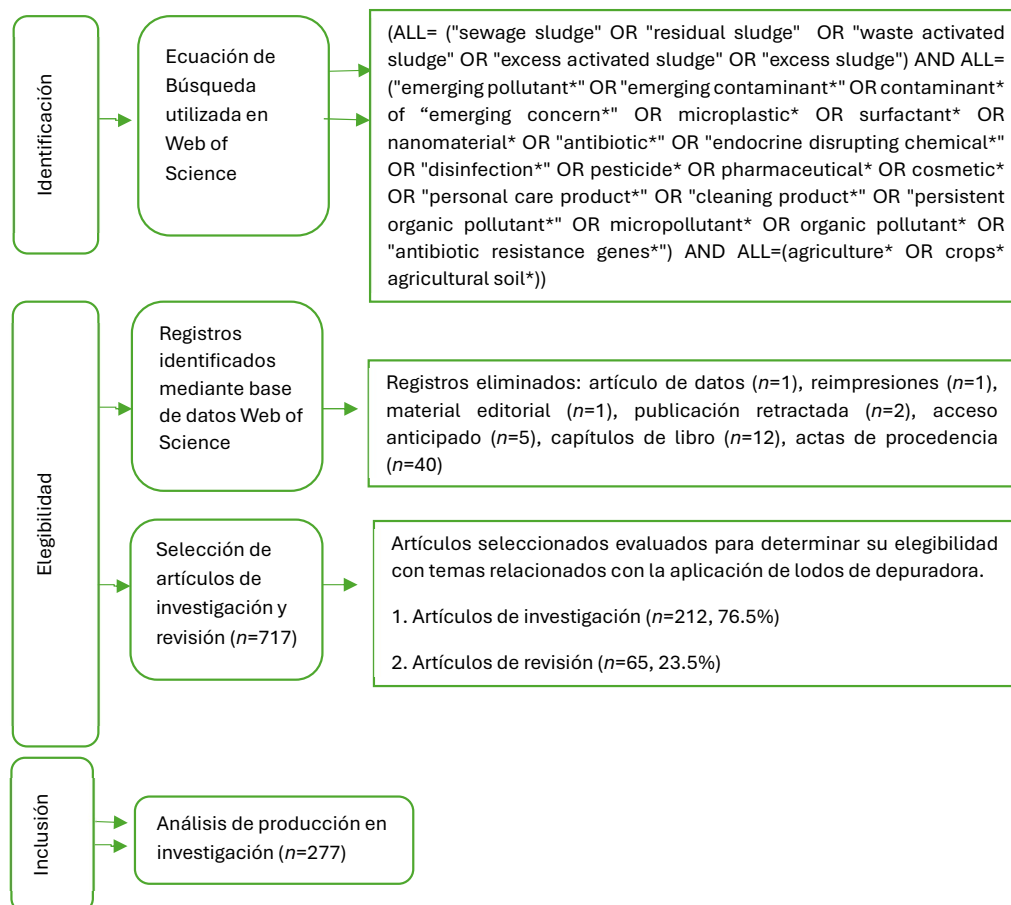


Figura 1. Diagrama de flujo PRISMA adaptado de Moher, Liberati, Tetzlaff, Altman, y Prisma Group (2009), que describe la revisión sistemática de artículos con relación a la fertilización con lodos de depuradora en suelos agrícolas y las implicaciones ambientales de los contaminantes emergentes.
Figure 1. PRISMA flow diagram adapted from Moher, Liberati, Tetzlaff, Altman, y Prisma Group (2009), describing the systematic review of articles related to sewage sludge fertilization in agricultural soils and the environmental implications of emerging contaminants.

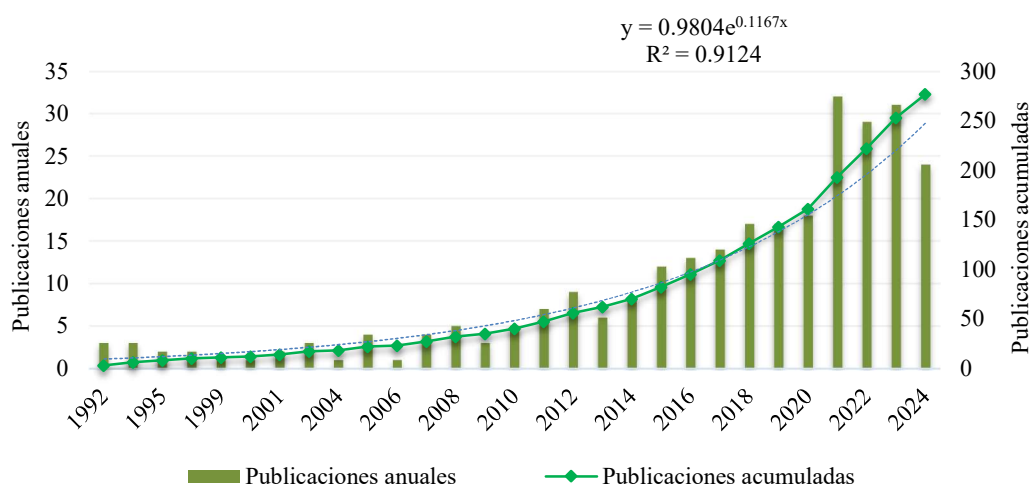


Figura 2. Tendencia de las publicaciones de 1992 a 2024 en revistas indexadas en WoS, artículos relacionados con la aplicación de lodos residuales como fertilizante en suelos agrícolas y las implicaciones ambientales de los contaminantes emergentes.

Figure 2. Publication trend from 1992 to 2024 in WoS-indexed journals, addressing articles related to the application of sewage sludge as fertilizer in agricultural soils and the environmental implications of emerging contaminants.

Autores con mayor producción

En el Cuadro 2 se enlistan los principales ocho autores que publicaron más de cuatro artículos, los 235 artículos restantes se distribuyeron entre autores con menos de tres publicaciones. El investigador con el mayor número de citas es Laper David R. del instituto Agriculture & Agri Food Canadá, posee ocho artículos publicados que suman en total 486 citas con un promedio de 61 citas por artículo, la escala de Laper DR es índice-H (I-H) de 39 que indica la producción científica del investigador (Hirsch, 2005). Topp E. de la Universite de Bourgogne es el segundo científico con más documentos, registrando 7 que han sido citados 484 veces, con un promedio de 69 citas por artículo. El autor con el mayor I-H de 112 y tercero en cuanto a documentos publicados es Jones K. C. de Lancaster University, ostenta un promedio de 73 citas por publicación. Se destaca que los tres principales científicos poseen dos publicaciones que registraron más de 100 citas (>100); asimismo, Smith S. R. adscrito al Imperial College London presenta el mejor promedio de citas por artículo en esta lista con 203.

Cuadro 2. Autores con cuatro o más artículos publicados indexados en WoS (1992-2024) con relación a la aplicación de lodos residuales como fertilizante en suelos agrícolas y las implicaciones ambientales con los contaminantes emergentes.

Table 2. Authors with four or more WoS-indexed publications (1992-2024) related to the application of sewage sludge as fertilizer in agricultural soils and the environmental implications of emerging contaminants.

Posición	Autor	ND	Í-H	NC	PCA	<50	>50	>100	Institución
1	Lapen D. R.	8	39	486	61	5	1	2	Agriculture & Agri Food Canada (Canadá)
2	Topp E.	7	64	484	69	4	1	2	Universite de Bourgogne (Francia)
3	Jones K. C.	6	112	439	73	2	2	2	Lancaster University (Inglaterra)
4	Gan J.	5	52	507	101	2	1	2	University of California Riverside (E.U.A.)
5	Bayona J. M.	4	58	531	133	2	-	2	Consejo Superior de Investigaciones Científicas (España)
6	Smith S. R.	4	26	813	203	2	-	2	Imperial College London (Inglaterra)
7	Ma Y.	4	47	251	63	2	1	1	Chinese Academy of Agricultural Sciences (China)
8	Eggen T.	4	17	342	86	1	2	1	Norwegian Institute of Bioeconomy Research (Noruega)

ND = número de documentos; Í-H = Índice-H; NC = número de citas; PCA = promedio de citas por autor; <50 = artículos con un número de citas inferior a 50; >50 = artículos con un número de citas entre 50 y 99; >100 = artículos con un número de citas superior a 100.

ND = number of documents; H-I = H-Index; NC = number of citations; PCA = average citations per author; <50 = articles with fewer than 50 citations; >50 = articles with 50 to 99 citations; >100 = articles with more than 100 citations.

Autores más Citados

Un total de 1246 autores han colaborado en las 277 publicaciones que registran 14857 citas, de los cuales solamente 15 autores poseen un registro de citas superior a 400 y en conjunto han sido citados 10058 veces (67.7% de las citas totales). La autora con el mayor número es Huerta E. con 1135 citas de tres artículos en coautoría, el segundo autor más citado es Corradini F. con 1070 de dos documentos y el tercer científico es Geissen V. quien también dispone de 1070 de dos artículos. El promedio de citas por publicación del primero, segundo y tercero autores más citados es de 378, 535 y 535, respectivamente. Cabe mencionar que Laper D. R., Topp E. y Jones K. C. autores que publicaron la mayor cantidad de artículos, en este listado figuran en los últimos sitios, lo que denota que sus publicaciones han sido poco citadas (Figura 3).

Revistas con más Artículos Publicados

En el Cuadro 3 se observan las primeras diez revistas que disponen el mayor número de artículos publicados. Las tres fuentes principales son *Chemosphere*, *Science of the Total Environment* y *Environmental Pollution*. Entre las tres publicaron 97 documentos, que corresponde a 35% del total es decir un poco más de la tercera parte del total de documentos, lo cual muestra una gran concentración en la publicación de documentos sobre el tema en estas tres revistas. El FI reportado por *Journal Citation Reports* (JCR) en el año 2023 varía de 0.99 a 12.2 en revistas que tienen más de cuatro documentos publicados. La principal categoría JCR son las "ciencias ambientales" con nueve revistas. Del total de las publicaciones, el 62% se agrupa en las 15 revistas que poseen más de cuatro artículos publicados y el 38% remanente en 73 revistas con menos de cuatro documentos (Figura 4).

Artículos con Mayor Número de Citas

El documento más citado "Evidence of microplastic accumulation in agricultural soils from sewage sludge disposal" de Corradini et al. (2019) un artículo de investigación de la revista *Science of The Total Environment*, tiene 733 citas, en el que se evaluó la contaminación por microplásticos por el uso de lodos como fertilizante realizando aplicaciones en 31 suelos agrícolas con diferentes niveles de aplicación durante un periodo de 10 años, se demostró que los lodos son impulsores de la contaminación por microplástico. La segunda publicación más citada es "Review of 'emerging' organic contaminants in biosolids and assessment of international research priorities for the agricultural use of biosolids" de los autores Clark y Smith (2011) un artículo de revisión de la revista *Environment International*, clasificado dentro de la categoría "agricultura, medio ambiente y ecología" ha sido citado 588 veces. Este artículo describe los contaminantes orgánicos emergentes en biosólidos aplicados al suelo, resaltando las sustancias químicas con potencial toxicidad, los efectos adversos en el ambiente y las alteraciones endocrinas; asimismo, se enfatiza la importancia y otras implicaciones del uso de biosólidos. Las publicaciones totales recabaron 14 857 citas, de las cuales los principales nueve artículos aportaron 3489, contribuyendo con el 23.5% de las citas totales (Cuadro 4).

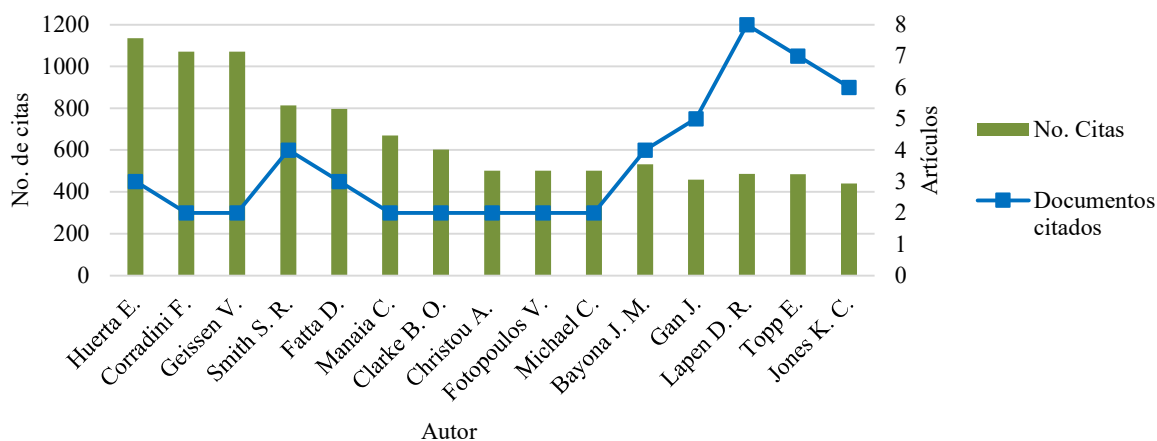


Figura 3. Primeros 15 autores más citados en artículos indexados en WoS (1992-2024) relacionados con la aplicación de lodos residuales como fertilizante en suelos agrícolas y las implicaciones ambientales con los contaminantes emergentes.

Figure 3. Top 15 most-cited authors in WoS-indexed articles (1992-2024) related to the application of sewage sludge as fertilizer in agricultural soils and the environmental implications of emerging contaminants.

Cuadro 3. Revistas indexadas a WoS con cuatro documentos o más publicados (1992-2024), relacionados con la aplicación de lodos residuales como fertilizante en suelos agrícolas y las implicaciones ambientales con los contaminantes emergentes.
Table 3. WoS-indexed journals with four or more published documents (1992-2024) related to the application of sewage sludge as fertilizer in agricultural soils and the environmental implications of emerging contaminants.

Posición	Revista	ND	NC	FI	Categoría JCR	Rango/ Cuartil JCR
1	Science of the Total Environment	57	4629	8.2	Ciencias ambientales	31/358,1
2	Chemosphere	21	854	8.1	Ciencias ambientales	32/358,1
3	Environmental Pollution	19	1229	7.6	Ciencias ambientales	37/358,1
4	Environmental Science and Pollution Research	13	345	0.99	Ciencias ambientales	-
5	Journal of Environmental Management	9	553	8	Ciencias ambientales	34/358,1
6	Journal of Hazardous Materials	8	310	12.2	Ingeniería, medio ambiente	4/81, 1
7	Environmental Toxicology and Chemistry	7	330	3.6	Ciencias ambientales	140/358, 2
8	Ecotoxicology and Environmental Safety	5	274	6.2	Ciencias ambientales	53/358,1
9	Environmental Research	5	420	7.7	Ciencias ambientales	36/358,1
10	Environmental Science & Technology	5	359	10.8	Ingeniería, medio ambiente	7/81,1
11	Journal of Environmental Quality	5	350	2.2	Ciencias ambientales	239/358,3
12	Sustainability	5	63	3.3	Ciencia y tecnología sustentable y ecológica	58/91,3
13	Water Research	5	720	11.4	Ingeniería, medio ambiente	5/81,1
14	Journal of Agricultural and Food Chemistry	4	229	5.7	Agricultura, multidisciplinaria	7/89,1
15	Journal of Cleaner Production	4	178	9.7	Ingeniería, medio ambiente	9/81,1
16 - 88	Otras	105	4014	-	-	-

ND = número de documentos; NC = número de citas; FI = factor de impacto con respecto al año 2023.

ND = number of documents; NC = number of citations; IF = impact factor with respect to 2023.

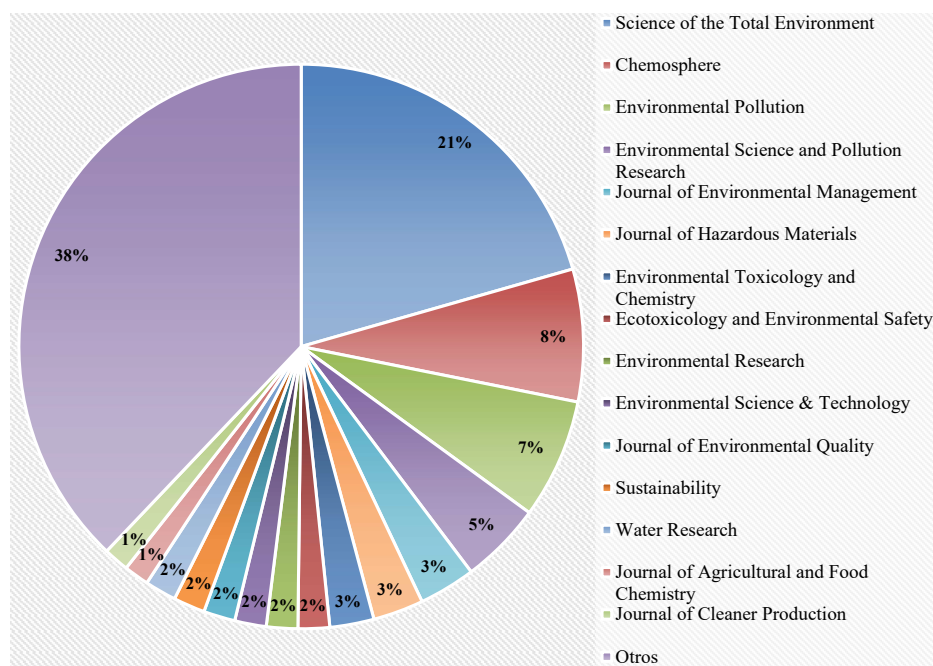


Figura 4. Porcentaje de producción de revistas indexadas a WoS (1992-2024) con artículos relacionados con la aplicación de lodos residuales como fertilizante en suelos agrícolas y las implicaciones ambientales con los contaminantes emergentes.

Figure 4. Percentage contribution of WoS-indexed journals (1992-2024) publishing articles related to the application of sewage sludge as fertilizer in agricultural soils and the environmental implications of emerging contaminants.

Cuadro 4. Artículos con más de 250 citas en revistas indexadas en WoS (1992-2024) con el tema uso de lodos de depuradora como fertilizante en suelos agrícolas y las implicaciones ambientales con los contaminantes emergentes.**Table 4. Articles with more than 250 citations in WoS-indexed journals (1992-2024) addressing the use of sewage sludge as fertilizer in agricultural soils and the environmental implications of emerging contaminants.**

Posición	Referencia	Título	TP	Fuente	Categoría	NC
1	(Corradini et al., 2019)	Evidence of microplastic accumulation in agricultural soils from sewage sludge disposal	Artículo	<i>Science of the Total Environment</i>	agricultura, medio ambiente y ecología	733
2	(Clarke y Smith, 2011)	Review of 'emerging' organic contaminants in biosolids and assessment of international research priorities for the agricultural use of biosolids	Revisión	<i>Environment International</i>	agricultura, medio ambiente y ecología	588
3	(Magni et al., 2019)	The fate of microplastics in an Italian Wastewater Treatment Plant	Artículo	<i>Science of the Total Environment</i>	agricultura, medio ambiente y ecología	361
4	(Van den Berg, Huerta-Lwanga, Corradini y Geissen, 2020)	Sewage sludge application as a vehicle for microplastics in eastern Spanish agricultural soils	Artículo	<i>Environmental Pollution</i>	agricultura, medio ambiente y ecología	340
5	(Fijalkowski, Rorat, Grobelak y Kacprzak, 2019)	The presence of contaminations in sewage sludge - The current situation	Artículo	<i>Journal of Environmental Management</i>	Agricultura	312
6	(Du y Liu., 2012)	Occurrence, fate, and ecotoxicity of antibiotics in agro-ecosystems. A review	Revisión	<i>Agronomy for Sustainable Development</i>	agricultura, medio ambiente y ecología	309
7	(Krzeminski et al., 2019)	Performance of secondary wastewater treatment methods for the removal of contaminants of emerging concern implicated in crop uptake and antibiotic resistance spread: A review	Revisión	<i>Science of the Total Environment</i>	agricultura, medio ambiente y ecología	298
8	(Pan y Chu, 2017)	Fate of antibiotics in soil and their uptake by edible crops	Revisión	<i>Science of the Total Environment</i>	agricultura, medio ambiente y ecología	287
9	(Wu, Dodgen, Conkle y Gan 2015)	Plant uptake of pharmaceutical and personal care products from recycled water and biosolids: a review	Revisión	<i>Science of the Total Environment</i>	agricultura, medio ambiente y ecología	261

TP = tipo de publicación; NC = número de citas.

TP = publication type; NC = number of citations.

Instituciones con Mayor Productividad

De las 200 instituciones identificadas a nivel global que colaboraron con la investigación sobre suelos agrícolas y su implicación con los contaminantes emergentes, la Academia de Ciencias de China y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España, han participado en la mayor cantidad de artículos con 17 y 11 publicaciones, respectivamente (Cuadro 5). El Ministerio de Agricultura y Asuntos Rurales de China se posicionó como la tercera institución más productiva con 10 publicaciones. La Academia de Ciencias de China registra el mayor número de citas con 1084, seguido por el Colegio Imperial de Londres con 938 citas; esta última institución con el promedio más alto de 134 citas por publicación. Se destaca que China y España predominan dentro de las diez principales instituciones con más artículos publicados, ambos países con tres instituciones presentes. Las diez entidades más productivas aportan en conjunto 61 artículos (22.0%) y 4369 (29.4%) citas de la literatura total recabada, con base en el informe de citación obtenido mediante un proceso de refinamiento en WoS, donde cada documento involucra autores de diferentes instituciones.

Producción por Países Participantes

El Cuadro 6 muestra los diez países principales en función del número de publicaciones. De los 58 países participantes China publicó el mayor número de artículos, por su parte, España contribuyó con 42 documentos y Estados Unidos de América con 39, siendo los tres países líderes. El promedio de citas por publicación para China, España y Estados Unidos fue 60.0, 49.6 y 53.6, de manera respectiva. Los dos principales países con más artículos publicados también registraron el mayor número de instituciones con tres cada uno (Cuadros 5 y 6).

Cuadro 5. Diez instituciones con seis o más artículos publicados en revistas indexadas en WoS (1992-2024), relacionados con la aplicación de lodos residuales como fertilizante en suelos agrícolas y las implicaciones ambientales de los contaminantes emergentes. Table 5. Ten institutions with six or more articles published in WoS-indexed journals (1992-2024) related to the application of sewage sludge as fertilizer in agricultural soils and the environmental implications of emerging contaminants.

Posición	Institución	País	ND	NC	PCI	(%) PDI
1	Academia de Ciencias de China	China	17	1084	64	6.1
2	Consejo Superior de Investigaciones Científicas Csic	España	11	678	62	3.9
3	Ministerio de Agricultura y Asuntos Rurales	China	10	731	73	3.6
4	Agricultura y Agroalimentación de Canadá	Canadá	9	508	56	3.2
5	Csic Centro de Investigación y Desarrollo Pascual Vila Cid Csic	España	9	659	73	3.2
6	Csic Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios Del Agua Idaea	España	9	659	73	3.2
7	Universidad Aarhus	Dinamarca	7	274	39	2.5
8	Academia China de Ciencias Agrícolas	China	7	600	86	2.5
9	Colegio Imperial de Londres	Inglaterra	7	938	134	2.5
10	Universidad Lancaster	Inglaterra	6	440	73	2.1

ND = número de documentos; NC = número de citas; PCI = promedio de citas por institución (NC/ND); (%) PDI = porcentaje de documentos de la institución con relación al total (277 publicaciones).

ND = number of documents; NC = number of citations; ACR = average citations per institution (NC/ND); a = percentage of the institution's documents relative to the total (277 publications).

Es importante notar que las publicaciones de Inglaterra obtuvieron 92.9 citas por artículo, promedio más alto observado. La aplicación de lodos al suelo en China ha sido ampliamente estudiada y lleva años preocupándose por el destino de los lodos residuales (Zhang et al., 2023) por lo que se presupone que sea el país con el mayor interés de investigación en este campo de estudio. El informe de citación obtenido mediante un proceso de refinamiento en WoS, muestra que los principales diez países representan colectivamente el 74.7% con 207 artículos publicados y el 78.1% con 11 600 citas de la literatura total recabada.

Cuadro 6. Los diez países con más artículos en WoS (1992-2024) sobre el uso de lodos de depuradora como fertilizante agrícola y las implicaciones ambientales de los contaminantes emergentes.

Table 6. The ten countries with the highest number of WoS-indexed articles (1992-2024) on the use of sewage sludge as agricultural fertilizer and the environmental implications of emerging contaminants.

Posición	País	ND	NC	PCP	(%) PI
1	China	49	2941	60.0	17.7
2	España	42	2087	49.6	15.2
3	Estados Unidos de América	39	2092	53.6	14.1
4	Inglaterra	25	2323	92.9	9.0
5	Alemania	20	1116	55.8	7.2
6	Canadá	18	996	55.3	6.5
7	Australia	17	332	19.5	6.1
8	Dinamarca	15	774	51.6	5.4
9	Italia	14	1226	87.5	5.0
10	Suecia	14	689	49.2	5.0

ND = número de documentos; NC = número de citas; PCP = promedio de citas por publicación; (%) PI = productividad de países con relación al total de publicaciones (277 documentos en 58 países).

ND = number of documents; NC = number of citations; ACP = average citations per publication; a = productivity of countries relative to the total number of publications (277 documents across 58 countries).

Interacción entre Autores

Para comprender las contribuciones de los autores, el análisis de coautoría en el campo de investigación se identifica las publicaciones en coautoría entre los autores, para expandir el conocimiento (Shoaib *et al.*, 2023), los nodos simbolizan autores y la densidad de las conexiones entre autores que han trabajado conjuntamente en artículos publicados del tema de interés (Cadavid, Hernández y Valencia, 2012). En la Figura 5 se observan los siete grupos que encabezan los grupos de colaboración, solo tomando en cuenta autores con más de tres documentos publicados, se tiene 51 autores agrupados en 26 grupos y conectados por nueve enlaces. Siendo el grupo con mayor número de investigadores (grupo rojo) conformado por Barcelo D., Chen Y., Fu Q., Gan J., Liu H., Liu Y., Sallach J. B., Wang J., Wang Q., Wang Y., Wu J., Yang Y., Zhang J., Zhang Y., Zhang Z. Los autores pertenecen en su mayoría a instituciones de China como Chen Y., Wang J., Wang Y., Liu Y., Yang Y. y Wu J.; de Australia Fu Q., Liu H., Wang Q y Zang Z.; Zhang J. de Países Bajos; Sallach J. B. de Inglaterra; Barcelo D, de España; Zhang Y. y Gan J. de Estados Unidos. Dichos autores han conducido temas de investigación principalmente sobre PCP en China, descripción de las propiedades de los lodos residuales, su uso como adsorbentes, catalizadores, fertilizantes, métodos analíticos para detección y cuantificación de CE, genes de resistencia y comunidades bacterianas, microplásticos, pesticidas, productos farmacéuticos (antibióticos, psicotrópicos, hormonal, analgésicos, materias primas farmacéuticas), productos químicos industriales (plastificantes, retardantes de llama, surfactantes industriales, intermedios y metabolitos, colorantes, recubrimientos y adhesivos), aditivos alimenticios y contaminantes orgánicos.

Red de Colaboración entre Países

Los seis grupos conformados por los principales 25 países, de los 58 que participaron en las 277 publicaciones, que registran cinco o más artículos relacionados con el tema se observan en la Figura 6. El número de publicaciones por país se denota por el tamaño del círculo, en tanto que el grosor del enlace entre países describe su colaboración de acuerdo con la cantidad de artículos realizados en coautoría.

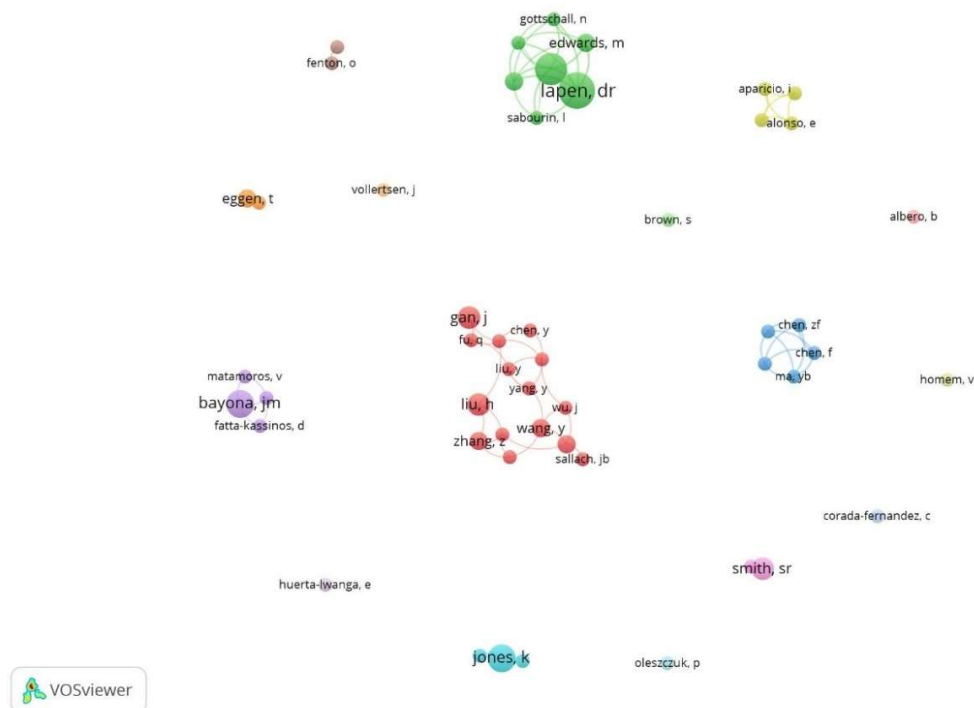


Figura 5. Interacción entre autores con mayor producción de trabajos de investigación sobre temas de lodos en la agricultura y sus implicaciones con contaminantes emergentes en un periodo comprendido de 1992-2024 en WoS.

Figure 5. Collaboration network among authors with the highest research output on sewage sludge use in agriculture and its implications for emerging contaminants in WoS over the period 1992-2024.

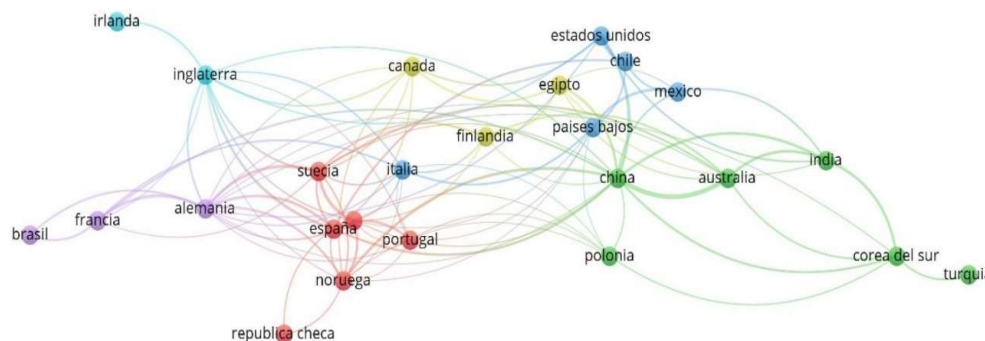


Figura 6. Red de colaboración entre los países con mayor producción de artículos científicos sobre el uso de lodos de depuradora como fertilizante agrícola y las implicaciones ambientales de los contaminantes emergentes.

Figure 6. Collaboration network among countries with the highest scientific output on the use of sewage sludge as agricultural fertilizer and the environmental implications of emerging contaminants.

Cada grupo marcado con un color diferente muestra las interacciones entre esos países; 1) grupo rojo Dinamarca, España, Noruega, Portugal, República Checa y Suecia; 2) grupo verde Australia, China, Corea del Sur, India, Polonia y Turquía; 3) grupo azul Chile, Estados Unidos, Italia, México y Países Bajos; 4) grupo amarillo Canadá, Egipto y Finlandia; 5) grupo púrpura Alemania, Brasil y Francia; y 6) grupo celeste Inglaterra e Irlanda. Los valores de Link Strength (LS) generados por medio de un conteo fraccional (Niknejad, Ismail, Bahari, Hendradi y Salleh, 2021), indican que China 21, Alemania 14, Australia, España y Suecia con 11 cada uno, interactúan más con otros países. Se puede observar que China y España, países con la mayor cantidad de publicaciones en esta área de estudio (Cuadro 6), figuran entre los grupos de colaboración más amplios (grupos rojo y verde), cada uno colaborando estrechamente con otros cinco países.

Análisis de Concurrencia de Palabras Clave

Las palabras clave son la representación de los temas principales de un artículo. El análisis de agrupamiento de palabras clave resalta las características estructurales de grupos definidos por un color específico, enfatizando los nodos clave y las conexiones significativas (Li, Wang y Yan, 2018). El análisis de concurrencia muestra los temas importantes relacionados con el uso de lodos residuales en el periodo analizado (1992 a 2024), en el cual se identificaron 998 términos de los que se contabilizaron los que tuvieron más de 10 ocurrencias, obteniendo 53 términos que se agruparon en cinco grupos: rojo, verde, azul y violeta (Cuadro 7).

Grupo rojo. Estas palabras clave hacen referencia a los riesgos de la fertilización con lodos y su interacción con la planta. Las plantas pueden absorber, acumular y translocar los CE contenidos en los lodos aplicados lo que implica un riesgo (Wagener *et al.*, 2019), un ejemplo es la investigación de Trapp y Eggen (2013) que reportaron una alta absorción de CE (organofosforados tris(2-cloroetil)fosfato, tris(1-cloro-2-propil)fosfato y *N, N*-dietil toluamida) en plantas de zanahoria (*Daucus carota*). Además, hacen mención del triclosán y el tricobarban, identificados en lodos activados y biosólidos de diferentes países (E.U.A., Alemania, España, Canadá, Australia y Grecia), en E.U.A. se detectan en los biosólidos en análisis rutinarios. El bisfenol a es un químico disruptor endocrino con informes de efectos reproductivos y de desarrollo adversos en la vida silvestre (Fromme *et al.*, 2002).

Grupo verde. Este grupo hace referencia a algunos tipos de contaminantes, se determinan diferentes CE y de su reducción al ser composteados tal es el caso del estudio de Vráblová *et al.* (2024), en los últimos años se ha investigado los contaminantes orgánicos persistentes entre ellos los hidrocarburos aromáticos, que han demostrado una reducción en los lodos debido al control de la fuente (Clarke y Smith, 2011). Los metales pesados siguen formando parte de los temas de investigación como lo demuestra el artículo de Jones, Gardner y Ellor (2014).

Grupo azul. En este grupo se resalta el proceso de los CE en al tratar el agua residual, tal es el caso del microplástico proveniente del lodo residual aplicado a campos agrícolas, los microplásticos se han convertido en una preocupación para la salud ambiental y humana (Marchuk *et al.*, 2023), se detectan en desechos orgánicos sólidos (Zhang *et al.*, 2023). Corradini *et al.* (2019) en su estudio en Chile y Van Den Berg *et al.* (2020) en suelos españoles, demostraron la permanencia de CE en suelos agrícolas, los microplásticos con fuerte hidrofobicidad tiene mejor capacidad de adsorción para contaminantes orgánicos, cabe resaltar la importancia de los metales pesados, contaminantes orgánicos, antibióticos y genes de resistencia que pueden ser absorbidos por los microplásticos y transferidos al suelo por medio de la aplicación de lodos (Gao, Li y Liu, 2020).

Cuadro 7. Principales palabras clave de los artículos seleccionados con temas relacionados con el uso de lodos de depuradora como fertilizante agrícola y las implicaciones ambientales con los contaminantes emergentes.
Table 7. Main keywords from the selected articles addressing the use of sewage sludge as agricultural fertilizer and the environmental implications of emerging contaminants.

Grupo	Palabras clave
Rojo	Absorción vegetal, acumulación, adsorción, agua, aguas residuales, bioacumulación, biodisponibilidad, bisfenol a, contaminantes emergentes, degradación, extracción, químicos, sorción, suelo, translocación, triclocarbán, triclosán.
Verde	Agricultura, bifenilos policlorados, biosólidos, composta, contaminantes, contaminantes orgánicos, hidrocarburos aromáticos, lodos de depuradora, metales pesados, residuos, toxicidad.
Azul	Contaminación, destino, eliminación, lodos, microplásticos, partículas, plantas de tratamiento de aguas, plásticos, sedimento, transporte.
Amarillo	Antibióticos, biodegradación, cromatografía líquida, planta, productos de cuidado personal, productos farmacéuticos, riesgo ambiental, tratamiento de aguas residuales.
Violeta	Aplicación al suelo, digestión anaeróbica, evaluación de riesgos, genes de resistencia a antibióticos, medio ambiente, suelo agrícola, suelo modificado.

Grupo amarillo. El grupo resalta la evaluación del riesgo que implica el uso de lodos de depuradora después de un proceso de tratamiento aguas residuales, caso de estudio realizado por Shu, Price, Jamieson y Lake (2021) donde evaluaron la tasa de biodegradación y la vida media de naproxeno, ibuprofeno y ketorolaco en suelo agrícola enmendado con biosólido.

Grupo violeta. En este nodo se hace referencia a los riesgos en la aplicación al suelo y al medio ambiente, algunos antibióticos y PPCP en el medio ambiente pueden contribuir a la propagación de patógenos bacterianos resistentes a los antibióticos (Clarke y Smith, 2011), los lodos tienen gran cantidad de ARG y su aplicación como enmienda al suelo aumentará el riesgo de propagación de resistencia a antibióticos (Sorinolu, Tyagi, Kumar y Munir, 2021). En la Figura 7, la dimensión de los círculos muestra las veces que apareció la palabra clave, mientras que el tamaño del enlace entre términos resalta la relación entre estos términos. Las palabras clave que se emplearon con mayor periodicidad fueron lodos de depuradora (150 veces, LS 149), productos de cuidado personal (91 veces, LS 91), suelo (86 veces, LS de 85), aguas residuales (78 veces, LS 78), biosólidos (77 veces, LS 77), planta de tratamiento de aguas residuales (70 veces, LS 77), productos farmacéuticos (66 veces, LS 66), contaminantes orgánicos (57 veces, LS 57), destino (53 veces, LS de 53) y metales pesados (41 veces, LS 41).

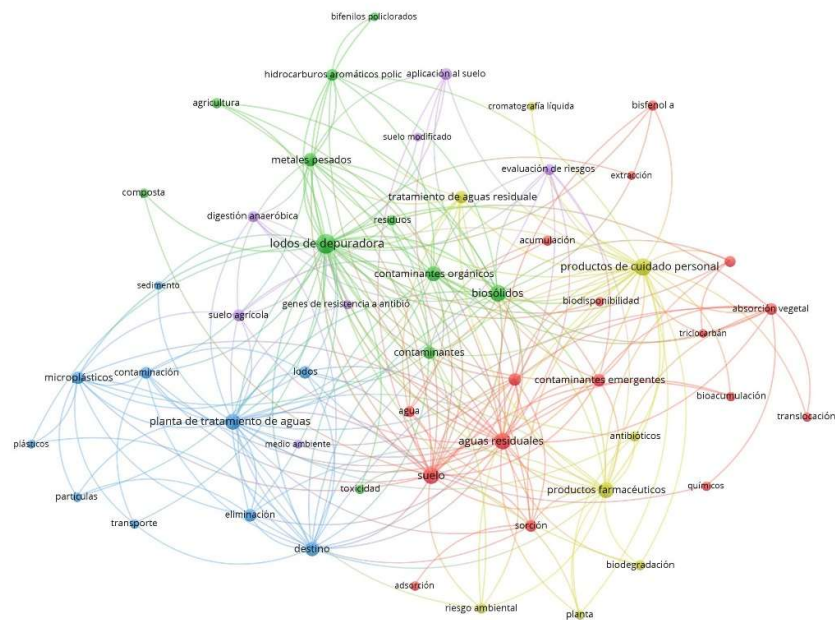


Figura 7. Red temática sobre fertilización con lodos residuales y sus implicaciones ambientales con contaminantes emergentes.
Figure 7. Thematic network on sewage sludge fertilization and its environmental implications associated with emerging contaminants.

CONCLUSIONES

Se han publicado 277 artículos relacionados con el uso de lodos de depuradora como fertilizante agrícola y sus implicaciones ambientales con contaminantes emergentes, en el tema se involucraron 1246 autores, con 25 países con mayor interacción. Las revistas *Science of the Total Environment*, *Environmental Pollution* y *Chemosphere* son las tres revistas con mayor publicación, siendo la revista *Science of the Total Environment* quien tiene el mayor número de documentos y citas. El artículo más citado es "Evidence of microplastic accumulation in agricultural soils from sewage sludge disposal" de Corradini *et al.* (2019), dicho artículo refleja el tema mencionado frecuentemente sobre microplásticos en la mitad de los diez artículos más citados. Los resultados de la investigación se clasifican principalmente en la disciplina de agricultura, medio ambiente y ecología. China cuenta con el mayor número de instituciones participantes y mayor número de artículos publicados y sus autores colaboran con mayor intensidad.

Esta investigación es un panorama de la situación a nivel global del campo de estudio, evidenciando autores, revistas, instituciones y países más prolíficos, por lo que puede ser una herramienta útil para investigadores interesados en desarrollar investigación con la aplicación de lodos residuales en la agricultura y cuales son o podrían ser sus efectos en relación con CE. Con el análisis bibliométrico realizado se puede describir el comportamiento de la actividad científica relacionada con el uso de lodos residuales, ante un aumento exponencial de documentos publicados.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

Contactar al autor por correspondencia.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tener intereses en competencia.

FINANCIACIÓN

No aplicable.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización: A.M.A.V., C.I.H.M., J.D.E.B., O.M.R., A.B.V. y E.B.B. Participaron en la metodología: A.M.A.V. y E.B.B. Software: A.B.V. y C.I.H.M. Validación: A.B.V., A.M.A.V., E.B.B y O.M.R. Análisis formal en investigación y en escritura: preparación del borrador original; A.M.A.V., A.B.V. y O.M.R. Escritura: revisión y edición y visualización: A.M.A.V., A.B.V. y O.M.R.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el financiamiento de la beca de estudios de doctorado de la autora principal.

LITERATURA CITADA

- Abril, C., Santos, J. L., Martín, J., Aparicio, I., & Alonso, E. (2021). Uptake and translocation of multiresidue industrial and household contaminants in radish grown under controlled conditions. *Chemosphere*, 268, 128823. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128823>
- Brown, S., Ippolito, J. A., Hundal, L. S., & Basta, N. T. (2020). Municipal biosolids-A resource for sustainable communities. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 14, 56-62. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2020.02.007>
- Buta, M., Hubeny, J., Zieliński, W., Harnisz, M., & Korzeniewska, E. (2021). Sewage sludge in agriculture - the effects of selected chemical pollutants and emerging genetic resistance determinants on the quality of soil and crops - a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 214, 112070. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112070>
- Cadavid, A. M., Hernández, J. G., & Valencia, A. (2012). Redes de colaboración científica en Colombia: un análisis bibliométrico. *Revista Interamericana de Bibliotecología*, 35(2), 139-155.
- Clarke, B. O., & Smith, S. R. (2011). Review of 'emerging' organic contaminants in biosolids and assessment of international research priorities for the agricultural use of biosolids. *Environment International*, 37(1), 226-247. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2010.06.004>
- Corradini, F., Meza, P., Eguiluz, R., Casado, F., Huerta-Lwanga, E., & Geissen, V. (2019). Evidence of Microplastic Accumulation in Agricultural Soils from Sewage Sludge Disposal. *Science of the Total Environment*, 671, 411-420. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.368>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>
- Du, L., & Liu, W. (2012). Occurrence, fate, and ecotoxicity of antibiotics in agro-ecosystems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32(2), 309-327. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0062-9>
- Fijalkowski, K., Rorat, A., Grobelak, A., & Kacprzak, M. J. (2017). The presence of contaminations in sewage sludge-The current situation. *Journal of Environmental Management*, 203, 1126-1136. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.05.068>
- Fromme, H., Küchler, T., Otto, T., Pilz, K., Müller, J., & Wenzel, A. (2002). Occurrence of phthalates and bisphenol A and F in the environment. *Water Research*, 36(6), 1429-1438. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(01\)00367-0](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00367-0)
- Gao, D., Li, X. Y., & Liu, H. T. (2020). Source, occurrence, migration and potential environmental risk of microplastics in sewage sludge and during sludge amendment to soil. *Science of the Total Environment*, 742, 140355. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140355>
- Gubišová, M., Horník, M., Hrkčková, K., Gubiš, J., Jakubcová, A., Hudcovicová, M., & Ondreichková, K. (2020). Sewage Sludge as a Soil Amendment for Growing Biomass Plant *Arundo donax* L. *Agronomy*, 10(5), 1-14. <https://doi.org/10.3390/agronomy10050678>
- Hirsch, J. E. (2005). An index to quantify an individual's scientific research output. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(46), 16569-16572. <https://doi.org/10.1073/pnas.0507655102>
- Jones V., Gardner M., & Ellor B. (2014). Concentrations of trace substances in sewage sludge from 28 wastewater treatment works in the UK. *Chemosphere*, 111, 478-484. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.04.025>
- Krzeminski, P., Tomei, M. C., Karaolia, P., Langenhoff, A., Almeida, C. M. R., Felis, E., ... & Fatta-Kassinos, D. (2019). Performance of secondary wastewater treatment methods for the removal of contaminants of emerging concern implicated in crop uptake and antibiotic resistance spread: A review. *Science of the Total Environment*, 648, 1052-1081. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.130>
- Lamastra, L., Suciu, N. A., & Trevisan, M. (2018). Sewage sludge for sustainable agriculture: contaminants' contents and potential use as fertilizer. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 5(1), 1-6. <https://doi.org/10.1186/s40538-018-0122-3>
- Li, J., Wang, Y., & Yan, B. (2018). The hotspots of life cycle assessment for bioenergy: A review by social network analysis. *Science of the Total Environment*, 625, 1301-1308. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.030>
- Li, Z., & Yuan, D. (2024). Global performance and trends of research on emerging contaminants in sewage sludge: A Bibliometric Analysis from 1990 to 2023. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 281, 116597. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116597>
- Magni, S., Binelli, A., Pittura, L., Avio, C. G., Della Torre, C., Parenti, C. C., ... & Regoli, F. (2019). The fate of microplastics in an Italian Wastewater Treatment Plant. *Science of the Total Environment*, 652, 602-610. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.269>
- Marchuk, S., Tait, S., Sinha, P., Harris, P., Antille, D. L., & McCabe, B. K. (2023). Biosolids-derived fertilisers: A review of challenges and opportunities. *Science of the Total Environment*, 875, 162555. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162555>
- Margez, J. P. F., & Núñez-Sánchez, F. J. (2024). Compostaje Aeróbico de Lodo Residual con Material Vegetal. *Revista Terra Latinoamericana*, 42, 1-16. <https://doi.org/10.28940/terra.v42i.2029>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & Prisma Group. (2010). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *International Journal of Surgery*, 8(5), 336-341. <https://doi.org/10.1016/j.ijssu.2010.02.007>
- Niknejad, N., Ismail, W., Bahari M., Hendradi, R., & Salleh, A. Z. (2021) 'Mapping the research trends on blockchain technology in food and agriculture industry: a bibliometric analysis. *Environmental Technology & Innovation*, 21, 101272 <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101272>
- Pan, M., & Chu, L. M. (2017). Fate of antibiotics in soil and their uptake by edible crops. *Science of the Total Environment*, 599, 500-512. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.214>
- Pérez-Lemus, N., López-Serna, R., Pérez-Elvira, S. I., & Barrado, E. (2019). Analytical methodologies for the determination of pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in sewage sludge: A critical review. *Analytica Chimica Acta*, 1083, 19-40. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2019.06.044>
- Pérez, R. A., Sánchez-Brunete, C., Alberó, B., Miguel, E., Tadeo, J. L., Alonso, J., & Lobo, M. C. (2016). Quality assessment of three industry-derived organic amendments for agricultural use. *Compost Science & Utilization*, 24(3), 190-202. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2015.1124817>
- Sorinolu, A. J., Tyagi, N., Kumar, A., & Munir, M. (2021). Antibiotic resistance development and human health risks during wastewater reuse and biosolids application in agriculture. *Chemosphere*, 265, 129032 <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129032>
- Seleiman, M. F., Santanen, A., & Mäkelä, P. S. (2020). Recycling sludge on cropland as fertilizer-Advantages and risks. *Resources, Conservation and Recycling*, 155, 104647. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104647>
- Shoaib, M., Zhang, S., & Ali, H. (2023). A bibliometric study on blockchain-based supply chain: a theme analysis, adopted methodologies, and future research agenda. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(6), 14029-14049. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24844-2>
- Shu, W., Price, G. W., Jamieson, R., & Lake, C. (2021). Biodegradation kinetics of individual and mixture non-steroidal anti-inflammatory drugs in an agricultural soil receiving alkaline treated biosolids. *Science of the Total Environment*, 755, 142520. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142520>
- Trapp, S., & Eggen, T. (2013). Simulation of the plant uptake of organophosphates and other emerging pollutants for greenhouse experiments and field conditions. *Environmental Science and Pollution Research*, 20, 4018-4029. <https://doi.org/10.1007/s11356-012-1337-7>

- Van den Berg, P., Huerta-Lwanga, E., Corradini, F., & Geissen, V. (2020). Sewage sludge application as a vehicle for microplastics in eastern Spanish agricultural soils. *Environmental Pollution*, 261, 114198. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114198>
- van Eck, N. J., & Waltman, L. (2023). *VOSviewer (versión 1.6.20) User's Guide*. Leiden, Países Bajos: Centre for Science and Technology Studies (CWTS)-Leiden University.
- Vráblová, M., Smutná, K., Chamrádová, K., Vrábl, D., Koutník, I., Rusín, J., ... & Pavlíková, J. (2024). Co-composting of sewage sludge as an effective technology for the production of substrates with reduced content of pharmaceutical residues. *Science of the Total Environment*, 915, 169818. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169818>
- Wagener, S., Jungnickel, H., Dommershausen, N., Fischer, T., Laux, P., & Luch, A. (2019). Determination of nanoparticle uptake, distribution, and characterization in plant root tissue after realistic long-term exposure to sewage sludge using information from mass spectrometry. *Environmental science & technology*, 53(9), 5416-5426. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b07222>
- Wu, X., Dodgen, L. K., Conkle, J. L., & Gan, J. (2015). Plant uptake of pharmaceutical and personal care products from recycled water and biosolids: a review. *Science of the Total Environment*, 536, 655-666.
- Zhang, B., Zhou, X., Ren, X., Hu, X., & Ji, B. (2023). Recent research on municipal sludge as soil fertilizer in China: a review. *Water, Air, & Soil Pollution*, 234(2), 119. <https://doi.org/10.1007/s11270-023-06142-w>