





## Biorremediación ambiental de suelos contaminados por la minería: Análisis bibliométrico

### Environmental bioremediation of soils contaminated by mining: bibliometric analysis

Marco Antonio Cotrina-Teatino\* ; Luis Orlando Rondo-Layza ; Jairo Marquina-Araujo 

Rolando Martín Martínez Díaz 

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II s/n – Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú.

\* Autor correspondiente: [mcotrinat@unitru.edu.pe](mailto:mcotrinat@unitru.edu.pe) (M. Cotrina-Teatino)

DOI: [10.17268/rev.cyt.2024.02.05](https://doi.org/10.17268/rev.cyt.2024.02.05)

#### RESUMEN

El objetivo de la investigación fue analizar la evolución, características y relaciones de las investigaciones en biorremediación ambiental de suelos contaminados por la minería en un periodo de 2001 a 2024, utilizando VosViewer y Bibliometrix. Los resultados obtenidos indicaron que el país de China es el más productivo con énfasis en áreas como: fitorremediación; seguido de España que concentra sus investigaciones en biorremediación y suelos. Con análisis de co-ocurrencias se visualizaron 3 clústeres, uno de tecnologías y procesos de biorremediación, estrategias y desafíos de la remediación de suelos, y microbiología y biotecnología en biorremediación. La fitorremediación es considerada un tema básico, suelo, es un tema en declive, phragmites australis es un tema nicho y los temas motores son factor de translocación, drenaje de ácido mina y biorremediación. Se observó que desde 2001 hasta 2013 resaltan los estudios de fitorremediación y biorremediación, desde el 2013 a la actualidad destacan los estudios de fitorremediación, metales pesados y biorremediación. La investigación en biorremediación ambiental en suelos contaminados por la minería es de mayor importancia desde el 2007. En conclusión, estudiar la biorremediación ambiental de suelos causados por la minería son temas de investigación futura.

**Palabras clave:** biorremediación; suelo; VosViewer; Bibliometrix.

#### ABSTRACT

The objective of the research was to analyze the evolution, characteristics, and relationships of research in environmental bioremediation of soils contaminated by mining in a period from 2001 to 2024, using VosViewer and Bibliometrix. The results obtained indicated that China is the most productive country with emphasis in areas such as: phytoremediation; followed by Spain which concentrates its research in bioremediation and soils. With co-occurrence analysis, 3 clusters were visualized, one of bioremediation technologies and processes, strategies and challenges of soil remediation, and microbiology and biotechnology in bioremediation. Phytoremediation is considered a core theme, soil, is a declining theme, phragmites australis is a niche theme and the driving themes are translocation factor, acid mine drainage and bioremediation. It was observed that from 2001 to 2013 phytoremediation and bioremediation studies stand out, from 2013 to present phytoremediation, heavy metals and bioremediation studies stand out. Research on environmental bioremediation in soils contaminated by mining is of greater importance since 2007. In conclusion, the study of environmental bioremediation of soils caused by mining is a topic for future research.

**Keywords:** bioremediation; soil; VosViewer; Bibliometrix.

#### 1. INTRODUCCIÓN

La minería, mientras es una fuerza motriz de la economía mundial y un pilar clave en la infraestructura y desarrollo de numerosas naciones, plantea un dilema significativo en términos de su impacto ambiental. Las prácticas extractivas han sido históricamente asociadas con efectos adversos tanto en la calidad del agua como en la integridad del suelo, siendo estos últimos particularmente susceptibles a la acumulación de metales pesados y otros contaminantes (Peña & Araya, 2021; Salgado et al., 2021). Los impactos negativos de la minería no son fenómenos aislados, sino eventos que ocurren en una continuidad, desde la exploración inicial hasta las



etapas de post-cierre, afectando a menudo comunidades y ecosistemas enteros que dependen de los recursos naturales comprometidos para su sustento (Enshassi et al., 2014; Mukesh et al., 2017).

La envergadura y la persistencia de estos impactos ambientales exigen una exploración detallada y sistemática de los esfuerzos de mitigación, entre los cuales la biorremediación emerge como una estrategia prometedora. En este contexto, la investigación científica sobre biorremediación ofrece un repertorio de enfoques innovadores y sostenibles para abordar la problemática de los suelos contaminados por la minería. La bibliometría, en su función como disciplina científica, proporciona un medio cuantitativo y cualitativo para mapear y evaluar el cuerpo de conocimiento acumulado, destacando las tendencias, las prácticas dominantes, y las potenciales vías de investigación. Al adoptar esta técnica, se abren ventanas a una comprensión holística de la trayectoria y el impacto de las investigaciones, como bien señala Juárez R. (2020), quien enfatiza la capacidad de la bibliometría para entregar "una visión global y actualizada del espectro cuantitativo, utilizando la creación de mapas y gráficos que encapsulan el conocimiento científico en su totalidad", ofreciendo una perspectiva de amplio alcance sobre la producción académica (Zafar et al., 2019).

Con la intención de contribuir a esta área de estudio, el presente trabajo tiene como fin llevar a cabo un análisis bibliométrico profundo de la literatura científica relacionada con la biorremediación de suelos contaminados por la minería, extendiéndose desde el año 2000 hasta el presente 2024. Se persigue dilucidar las corrientes principales de la investigación en este campo, las colaboraciones interdisciplinarias, la evolución de temas y metodologías, así como las regiones geográficas más activas en este ámbito. Mediante el análisis bibliométrico, se aspira a identificar los trabajos pioneros, las tendencias emergentes, y establecer un marco de referencia para las investigaciones futuras que informen tanto la práctica como la política ambiental. Este enfoque nos permite no solo catalogar los avances científicos sino también proporcionar una evaluación crítica de la dirección y la eficacia de los esfuerzos globales en la biorremediación, delineando así un horizonte para las acciones futuras en la intersección de la minería y la gestión ambiental sostenible.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Materiales

Para este análisis bibliométrico, se seleccionó la base de datos de Scopus, un recurso integral y multidisciplinario que cuenta con una vasta colección de resúmenes y citas de literatura de investigación revisada por pares. Se implementó una estrategia de búsqueda focalizada para recabar información científica pertinente a la biorremediación ambiental de suelos contaminados por actividades mineras. Las palabras clave seleccionadas para la búsqueda fueron "environmental", "bioremediation", "soils", "contaminated" y "mining", aplicadas en los campos de título, resumen y palabras clave (TITLE-ABS-KEY). Se estableció un rango temporal que abarca desde el año 2001 hasta el 2024, excluyendo categorías no relevantes para el enfoque de la investigación como medicina, farmacología, inmunología, bioquímica, veterinaria, física, neurociencia, economía y finanzas. Un total de 390 documentos fueron identificados y analizados, revelando tendencias y patrones en la producción científica sobre el tema.

La Figura 1 muestra que la biorremediación ambiental de suelos contaminados por la minería es muy estudiada, se observa que el mayor número de publicaciones fueron en el año 2020 con 39, seguido de 2017 con 34 y el más bajo fue el año 2002 con 0 publicaciones.



Figura 1. Número de publicaciones anuales.

La Figura 2 muestra las características más importantes de la data analizada, donde se observa el tiempo de búsqueda desde el año 2000 a 2024, siendo que el año 2000 no se encuentra documentos relacionados al tema, se encontró un total de 390 documentos, con un total de 1638 autores, 1116 palabras claves y 22884 referencias, la cual muestra los promedios de documentos por año de 7.18 y un promedio de citas por documento de 38.25.



Figura 2. Características más importantes de los datos analizados, obtenido de Bibliometrix

La principal herramienta para esta investigación es la base de datos Scopus. Esta es la mayor colección mundial de revistas, series de libros, congresos y actas de congresos basada en citas de documentos. Scopus no sólo es conocido por su rico contenido, sino que también proporciona una base de datos de resúmenes y citas de literatura de investigación que ha sido revisada minuciosamente por pares en diversos campos. En particular, su riqueza en áreas como los negocios, la gestión y la contabilidad lo convierten en un recurso valioso para los investigadores (Cañedo et al., 2010).

## 2.2 Procedimiento

El procedimiento de estudio inició con un filtrado estratégico orientado a identificar patrones estadísticamente significativos y constantes a lo largo del tiempo, centrados en la generación y difusión de conocimiento científico (Montilla, 2016). Esta evaluación fue extendida a la actividad científica y tecnológica a nivel global, involucrando el análisis de contribuciones por países y entidades académicas. Datos bibliográficos precisos y pertinentes fueron extraídos de Scopus con el objetivo de iluminar aspectos críticos relacionados con el campo de biorremediación ambiental, proporcionando así una comprensión cuantitativa y cualitativa de la materia (Campos et al., 2017).

### 2.3 Métodos

El análisis fue fortalecido mediante la utilización de VOSviewer, una herramienta analítica diseñada para la evaluación y visualización de complejas redes académicas. VOSviewer es reconocido por su capacidad para trazar y analizar el impacto de publicaciones científicas a través de la evaluación de citas bibliográficas durante periodos definidos post-publicación (Bartholo, 2021). Su funcionalidad avanzada no se limita a la cuantificación de impacto; también proporciona una plataforma para visualizar de manera gráfica y explorar las conexiones entre distintos elementos de la red académica, tales como autores, instituciones, revistas y palabras clave. Este enfoque permite descifrar la estructura y la dinámica de la colaboración científica y las tendencias temáticas dentro de la literatura especializada en biorremediación (Arruda et al., 2022).

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 3, se presenta el análisis de coocurrencia de palabras clave, tanto autor-generadas como indexadas, destacando la prominencia de términos asociados con la fitorremediación, la biorremediación y los metales pesados. Se identifican claramente tres conglomerados temáticos:

### **Clúster 1 (Verde): Innovaciones en Tecnologías de Biorremediación**

Este grupo se centra en avances recientes en las tecnologías de biorremediación. Un estudio notable dentro de este clúster es el de (Wang et al., 2024), el cual revela que los suelos de zonas mineras contaminados podrían, bajo condiciones de precipitación, transferir metales pesados a tierras agrícolas adyacentes. Mediante experimentos de extracción secuencial, lixiviación en lotes y dinámica, se demostró que el lixiviado metálico puede causar un incremento significativo en la movilidad de metales pesados en suelos agrícolas, exacerbando así el riesgo ecológico. Además, (Zhao et al., 2023) discuten cómo la contaminación de suelos con metales pesados constituye un factor crítico en la degradación de la calidad ambiental y ecológica del suelo. Resaltan una gama de métodos de remediación aplicables a áreas mineras contaminadas, que abarcan desde técnicas de ingeniería como el método del suelo huésped, hasta métodos físicos como la remediación electrocinética, la vitrificación y el tratamiento térmico. También describen enfoques químicos, como la lixiviación y fijación del suelo, y estrategias biológicas, como la fitorremediación y la remediación microbiana, cada una con su potencial y aplicaciones específicas.

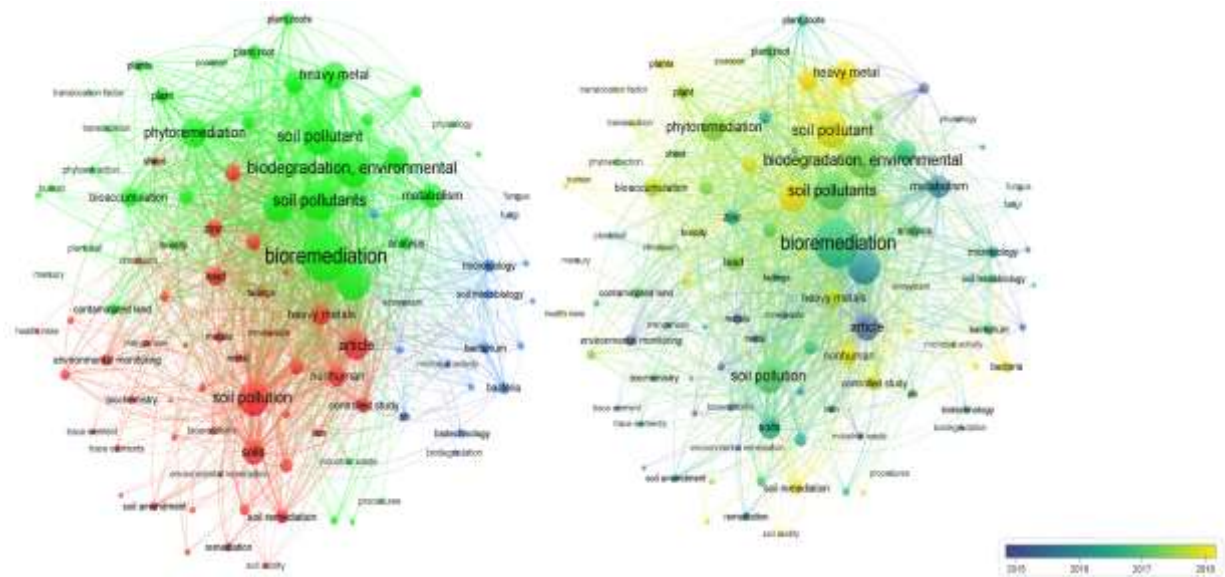
### **Clúster 2: Estrategias de Remediación y Retos Ambientales**

Este clúster enfatiza las respuestas multifacéticas a la contaminación del suelo derivada de la actividad minera y sus consecuencias ambientales y sanitarias. (Lebrun et al., 2021) abordan los efectos nocivos de los metales (loides) sobre la calidad ambiental, destacando problemas críticos como la acidificación del suelo, la deforestación y la contaminación hídrica, además de resaltar el impacto en la salud pública a través de enfermedades como el cáncer y patologías crónicas. La investigación expone cómo la aplicación de consorcios microbianos puede estimular el crecimiento de flora autóctona, como la *Agrostis*, y con ello mejorar la fitoestabilización del suelo contaminado por arsénico y plomo. De forma complementaria, (Tang et al., 2021) abordan la amenaza que representa la contaminación por uranio, delineando tres enfoques de remediación para suelos contaminados: fisicoquímico, biológico y una estrategia combinada. (Marrugo et al., 2020), por su parte, evalúan la eficacia de diferentes genotipos de caupí en la fitorremediación de suelos contaminados por mercurio, subrayando la baja bioacumulación de mercurio por estas plantas y su potencial como sustituto alimentario proteínico para comunidades aledañas a zonas de extracción aurífera.

### **Clúster 3: Avances en Microbiología y Biotecnología para la Biorremediación**

El tercer clúster se concentra en la dimensión microbiana y biotecnológica de la biorremediación. (De la cueva et al., 2016) investigan las dinámicas poblacionales bacterianas durante la remediación de suelos impactados por hidrocarburos de petróleo, observando que la reducción en la biodegradación de hidrocarburos totales puede ser consecuencia de una disminución en la biodiversidad microbiana inicial. (Guerin, 2022) reporta hallazgos en un contexto de suelos contaminados por fenol, donde se comparan las respuestas de germinación y crecimiento temprano de la planta *Thrift*, resaltando su resiliencia a la contaminación y su consecuente utilidad

en estrategias de fitorremediación. La Figura 3 (izquierda) documenta que las publicaciones en biorremediación ganaron tracción entre los años 2016 y 2017, con tendencias recientes enfocándose en metales pesados, calidad del suelo, biodegradación y estrategias de remediación del suelo.



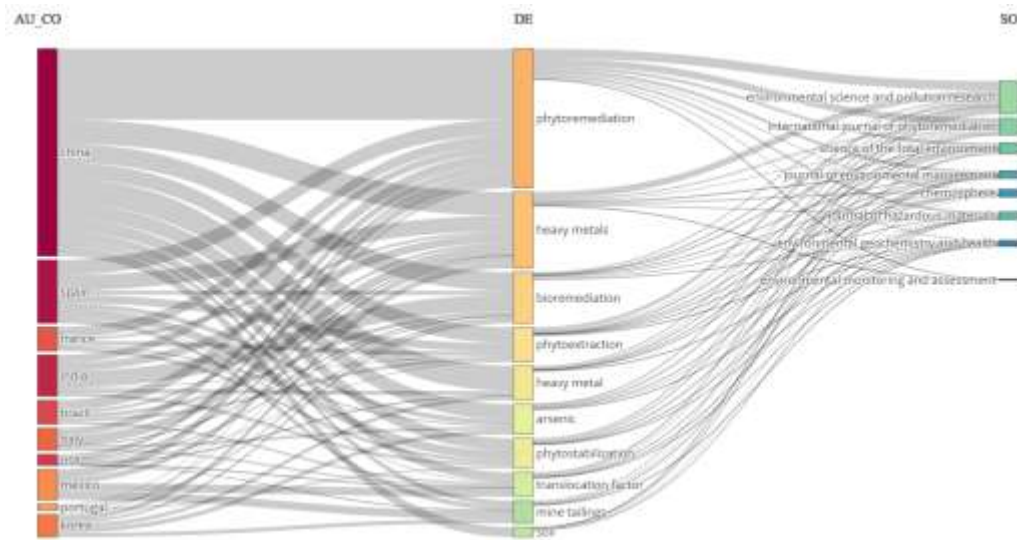
**Figura 3.** Análisis de co-ocurrencia de palabras claves del autor. Izquierda: Visualización de redes de palabras claves de autor. Derecha: Visualización en el tiempo. Umbral: 20. Palabras analizadas: 99

### Gráfico de Tres Campos o el Diagrama de Sankey

La Figura 4 proporciona una representación visual de las relaciones trilaterales entre los países líderes en la producción científica (a la izquierda), las palabras clave prevalentes en la autoría (en el centro) y las revistas científicas de referencia (a la derecha) en el dominio de la biorremediación. Conforme a la metodología de (Schmidt, 2008), este diagrama de Sankey ilustra los flujos proporcionales de contribuciones entre los campos seleccionados; la anchura de las líneas de flujo refleja la magnitud del intercambio. Las líneas pueden converger o divergir a lo largo de su recorrido, representando la integración o segregación de flujos en diferentes etapas del proceso investigativo. Los colores se emplean para distinguir categorías o señalar transiciones a través de las fases del proceso, lo cual hace del diagrama de Sankey una herramienta idónea para esclarecer y optimizar sistemas de flujos complejos.

El análisis destaca a China como la nación preponderante en términos de volumen de publicaciones (representado por la longitud de la barra más pronunciada), la cual muestra conexiones robustas con diez palabras clave críticas en el campo incluyendo “fitorremediación”, “metales pesados”, “biorremediación”, y otros términos centrados en la remoción de contaminantes, como investigaciones de (Li et al., 2022). Este patrón sugiere una focalización intensa de sus investigaciones en dichas áreas. En contraste, España, situada en segundo lugar en términos de importancia, canaliza sus investigaciones hacia siete áreas temáticas, reflejando un enfoque más concentrado en comparación con China.

Adicionalmente, el gráfico resalta las revistas de mayor relevancia en esta esfera investigativa, como “Environmental Science and Pollution Research” (Wang et al., 2022), “International Journal of Phytoremediation” (Lebrun et al., 2021) y “Science of the Total Environment” (Lebrun et al., 2021), cuya prominencia es indicativa de su rol central en la divulgación de estudios sobre biorremediación. La diagramación de Sankey aquí aplicada no solo facilita la comprensión de las tendencias y el flujo de información en el ámbito global de la biorremediación, sino que también ofrece una perspectiva crítica sobre la diseminación del conocimiento y las sinergias entre países e instituciones en la vanguardia de este campo vital.



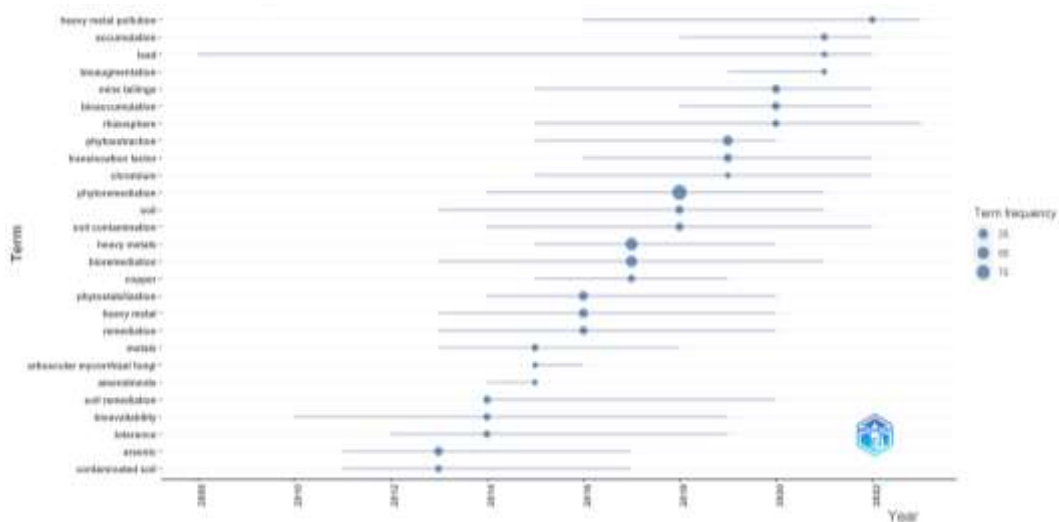
**Figura 4.** Gráfico de tres campos. Campo medio: Palabras claves de autor (10 elementos); Campo izquierdo: País del autor (10 elementos); Campo derecho: Journals (10 elementos).

**Visualización de datos de producción en función de tópicos y años de publicación a lo largo del tiempo**

La visualización de la producción científica según tópicos específicos y su correspondiente temporalidad ofrece una perspectiva longitudinal sobre la tracción académica de diversos conceptos clave en el ámbito de la biorremediación. Este enfoque, al incorporar la métrica de citas totales, nos permite medir la resonancia y el impacto de los manuscritos a lo largo del tiempo, donde las citas totales se traducen en el acumulado de referencias que ha recibido cada publicación vinculada a las palabras clave seleccionadas.

En este marco, el total de citas por año se define como el promedio anual de citas que cada trabajo ha obtenido, reflejando su relevancia y prevalencia en la comunidad científica año tras año. Dentro de esta dinámica, términos como “lead”, “bioavailability” y “rhizosphere” emergen como los más perdurables y consistentes, evidenciando una relevancia sostenida dentro del discurso científico en biorremediación.

La línea temporal de la visualización de datos ilustra no solo el momento de aparición de estos tópicos sino también la frecuencia con la que las palabras clave son mencionadas en la literatura. Esta representación, apoyada por el análisis de Keywords Plus mediante Bibliometrix, brinda una valiosa herramienta para descifrar las tendencias de investigación, señalando tanto los temas perennes como aquellos de emergencia reciente.



**Figura 5.** Visualización de datos de producción de 29 tópicos y años de publicación a lo largo del tiempo.

La Figura 6 exhibe un análisis de acoplamiento documental, desplegado mediante el algoritmo Walktrap implementado en Bibliometrix. Esta técnica, que toma como unidad de análisis los documentos y emplea la co-ocurrencia de palabras clave (Keyword Plus) junto con el local citation score para medir el impacto, revela la interconexión conceptual entre las publicaciones. El resultado son siete clústeres diferenciados por niveles de impacto y relevancia. El análisis sugiere que el clúster relativo a la contaminación del suelo (en azul) posee la mayor preponderancia, con un rango de confianza entre el 41.7% y el 39.7%. Por el contrario, el clúster vinculado a la contaminación del suelo y la minería (en amarillo) presenta el nivel más bajo, con un rango de confianza del 3.9% al 2.8%, lo que indica una menor cantidad de documentos en comparación con otros clústeres.

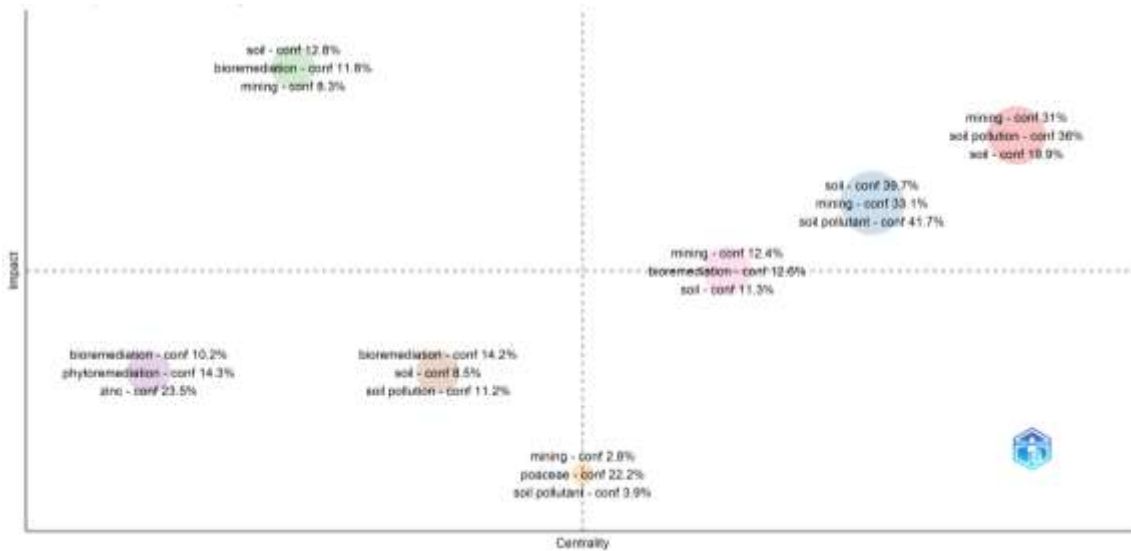


Figura 6. Agrupación por acoplamiento.

La Figura 7, a través de un algoritmo de clusterización diferente en Bibliometrix, delinea un mapa temático que centra el foco en las palabras clave de los autores, seleccionando un espectro de 100 términos. Se identifican ocho clústeres en total, con los clústeres 8 (fitoremediación) y 5 (biorremediación) resaltando en términos de desarrollo (densidad). Esta distribución temática posiciona los clústeres dentro de cuatro cuadrantes, sugiriendo que la fitoremediación es un tema fundamental, mientras que el mercurio y los suelos se perfilan como temas en declive. De manera reveladora, temáticas como *Phragmites australis* se están volviendo obsoletas, dejando paso a temas emergentes como el drenaje ácido de minas, factor de translocación y la biorremediación, que cobran mayor importancia.

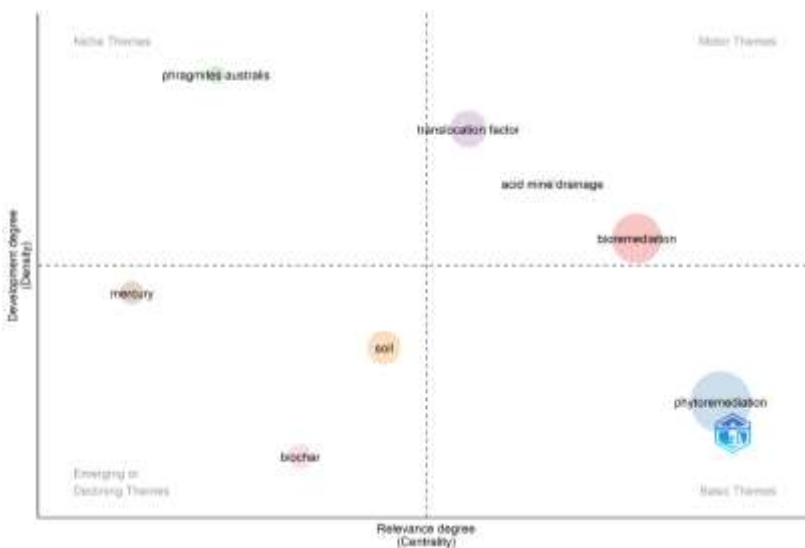


Figura 7. Mapa temático

Por último, la Figura 8 proporciona una panorámica de la evolución temática en la producción científica a través del análisis de nivel de palabras durante cuatro períodos distintos. En el primer periodo (2001-2006), los estudios se centran en la fitorremediación, mientras que en el segundo periodo (2007-2012) la biorremediación gana notoriedad. Para los periodos tercero (2013-2018) y cuarto (2019-2024), se aprecia una consolidación de temas como los metales pesados, biorremediación y fitoextracción, lo que refleja un campo de estudio que está en constante desarrollo y adaptación a nuevas comprensiones y desafíos ambientales. Estos mapeos y visualizaciones representan herramientas valiosas para el seguimiento de tendencias y el análisis de la progresión de temas dentro del campo científico de la biorremediación.



**Figura 8.** Nube de palabras en cuatro periodos diferentes

#### 4. CONCLUSIONES

El análisis bibliométrico realizado ha demostrado que China lidera a nivel global en el interés y la producción científica en el campo de la biorremediación, especialmente en relación con los metales pesados, aunque también se destaca una considerable atención hacia la fitorremediación. España sigue a China, enfocando sus esfuerzos investigativos principalmente en los metales pesados y la biorremediación. Otros países como India también han mostrado un compromiso significativo con la investigación en biorremediación.

A través del uso de VOSviewer para el análisis de coocurrencia, se han identificado tres clústeres principales: tecnologías y procesos de biorremediación, estrategias y desafíos en la remediación de suelos, y microbiología y biotecnología en biorremediación. Estos clústeres subrayan la importancia central de la biorremediación como un tema de estudio relevante. Además, mediante el uso de Bibliometrix y técnicas avanzadas de clusterización, se han distinguido ocho clústeres temáticos, con la fitorremediación emergiendo como un tema fundamental y la biorremediación actuando como un tema dinamizador dentro del campo.

La evolución temática a lo largo de cuatro períodos distintos, visualizada mediante la técnica de nube de palabras, refleja una progresión desde la fitorremediación hacia un enfoque combinado que incluye biorremediación y metales pesados, siendo estos últimos cada vez más relevantes en los estudios de biorremediación de suelos contaminados. Desde el 2007, los metales pesados junto con la biorremediación han sido reconocidos consistentemente como temas de creciente importancia.

Dada la evolución de los temas y la consolidación de ciertos enfoques, se recomienda que futuras investigaciones se enfoquen en realizar análisis bibliométricos más detallados que incluyan aspectos como el estado de los suelos afectados por la contaminación minera, la interacción entre el medio ambiente y las actividades mineras, y otros aspectos relevantes que puedan surgir de estudios preliminares. Esta dirección no solo continuará enriqueciendo el corpus de conocimiento en biorremediación, sino que también ayudará a identificar áreas críticas que requieren intervención y desarrollo metodológico adicional.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arruda, H., Renato, E., Lessa, M., Proenca, D., & Bartholo, R. (2022). VOSviewer and Bibliometrix. *National Library of Medicine*, 110(3), 392-395. doi:https://doi.org/10.5195/jmla.2022.1434
- Bartholo, R. (2021). VOSviewer and Bibliometrix. *Journal of the Medical Library Association*. doi:https://dx.doi.org/10.5195/jmla.2022.1434.
- Campos, L., Orellana, C., & Carrasco, G. (2017). Características de la producción científica de la Revista INVI en la era SciELO. *Biblios*, 67, 2009-2016. doi:https://doi.org/10.5195/biblios.2017.348
- Cañedo, R., Rodríguez, R., & Montejo, M. (2010). Scopus: la mayor base de datos de literatura científica arbi-trada al alcance de los países subdesarrollados. *Revista Cubana de ACIMED 2010*, 2010(3), 270-282.
- De la cueva, S., Rodríguez, C., Cruz, N., Contreras, J., & Miranda, J. (2016). Changes in Bacterial Populations during Bioremediation of Soil Contaminated with Petroleum Hydrocarbons. *Water, Air, and Soil Pollution*, 227(3). doi:https://doi.org/10.1007/s11270-016-2789-z
- Guerin, T. (2022). The effect of interactions between soil compaction and phenol contamination on plant growth characteristics: Implications for scaling bioremediation at industrial sites. *Journal of Environmental Management*, 30(15). doi:https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114017
- Lebrun, M., Michel, C., Jouliau, C., Morabito, D., & Bourgerie, S. (2021). Rehabilitation of mine soils by phytostabilization: Does soil inoculation with microbial consortia stimulate *Agrostis* growth and metal(loid) immobilization? *Science of the Total Environment*, 791(148400). doi:https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148400
- Lebrun, M., Michel, C., Jouliau, C., Morabito, D., & Bourgerie, S. (2021). Rehabilitation of mine soils by phytostabilization: Does soil inoculation with microbial consortia stimulate *Agrostis* growth and metal(loid) immobilization? *Science of the Total Environment*, 791(148400). doi:https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148400
- Lebrun, M., Nandillon, R., Miard, F., Le Forestier, L., Morabito, D., & Bourgerie, S. (2021). Effects of biochar, ochre and manure amendments associated with a metalicolous ecotype of *Agrostis capillaris* on As and Pb stabilization of a former mine technosol. *Environmental Geochemistry and Health*, 43(4), 1491-1505. doi:https://doi.org/10.1007/s10653-020-00592-5
- Li, Y., Lin, H., Gao, P., Yang, N., Xu, R., Sun, X., . . . Sun, W. (2022). Synergistic Impacts of Arsenic and Antimony Co-contamination on Diazotrophic Communities. *Microbial Ecology*, 84(1), 44-58. doi:https://doi.org/10.1007/s00248-021-01824-6
- Marrugo, J., Durango-Hernández, J., Díaz-Fernández, L., Urango, I., Araméndiz, H., Vergara, V., . . . Díez, S. (2020). Transfer and bioaccumulation of mercury from soil in cowpea in gold mining sites. *Chemosphere*, 250(126142). doi:https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126142
- Montilla, L. (2016). Analysis of the scientific production of articles of Journal Tropical Zootecnia of the National Institute for Agricultural Research. *Biblios*, 65, 2006-2013. doi:http://dx.doi.org/10.5195/biblios.2016.315
- Schmidt, M. (2008). The Sankey Diagram in Energy and Material Flow Management. *J. Ind. Ecol*, 12, 82-94.
- Tang, C., Zhong, J., Lyu, Y., Zhang, M., Sun, J., & Liu, X. (2021). Research progress of uranium contaminated soil remediation technology. *Huagong Jinzhan/Chemical Industry and Engineering Progress*, 40(8), 4587-4599. doi:https://doi.org/10.16085/j.issn.1000-6613.2020-1923
- Wang, F., Li, W., Wang, H., Hu, Y., & Cheng, H. (2024). The leaching behavior of heavy metal from contaminated mining soil: The effect of rainfall conditions and the impact on surrounding agricultural lands(Article). *Science of the Total Environment*, 914(169877). doi:https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.169877
- Wang, L., Xie, X., Li, Q., Yu, Z., Hu, G., Wang, X., & Liu, J. (2022). Accumulation of potentially toxic trace elements (PTEs) by native plant species growing in a typical gold mining area located in the northeast of Qinghai-Tibet Plateau. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(5), 6990-7000. doi:https://doi.org/10.1007/s11356-021-16076-7
- Zhao, X., Yang, Z., & Yu, T. (2023). Review on heavy metal pollution and remediation technology in the soil of mining areas. *Geology in China*, 50(1), 84-101. doi:https://doi.org/10.12029/gc20220702001