

Bibliometric analysis of bioremediation of hydrocarbon-contaminated soils in Ecuador 2019-2025

Análisis bibliométrico de biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos en Ecuador 2019-2025

Solange del Rocío Lituma Carriel¹  

¹Universidad Estatal de Milagro. Ecuador.

Cite as

Lituma Carriel S del R. Bibliometric analysis of bioremediation of hydrocarbon-contaminated soils in Ecuador 2019-2025. SAP Biomedical & Chemical Engineering Innovation. 2026; 5:203. <https://doi.org/10.56294/evk2026203>

Publication History

Submitted: 25-04-2025

Revised: 12-07-2025

Accepted: 23-11-2025

Published: 01-01-2026

Corresponding Author

Solange del Rocío Lituma Carriel 

ABSTRACT

Introduction: biotechnology has developed techniques such as bioremediation, which seeks to restore contaminated soils through the use of microorganisms, plants, or organic amendments, reducing the concentration of contaminants without generating toxic secondary waste. It is necessary to compile, organize, and analyze research on bioremediation of hydrocarbon-contaminated soils in Ecuador.

Objective: to analyze the current state of scientific production on bioremediation of hydrocarbon-contaminated soils in Ecuador during the period 2019-2025, through a bibliometric study.

Method: scientific studies from the Scopus database were compiled and processed with the help of Biblioshiny (RDtudio) and Google Colab for analysis and visualization of key indicators: techniques, organisms, bioremediation strategies, publications by year, most cited studies, national affiliations, international collaborations, co-authorship networks, and journal quartiles.

Results: they show sustained growth in scientific production, with a significant peak in 2022 and 2023. The most commonly used bioremediation techniques were bioaugmentation, phytoremediation, and the use of native microorganisms, with the genus *Pseudomonas* predominating, reflecting a preference for sustainable methodologies adapted to local conditions. The main national affiliations are public universities such as the University of the Armed Forces, the National University of Chimborazo, and the Technical University of Manabí. International collaborations, although few, are found in countries such as Mexico, Spain, Italy, Brazil, and Venezuela. Despite the progress, most research is published in low-quartile journals, which limits its international visibility.

Conclusions: it is important to strengthen national and international collaboration networks and expand bibliometric analysis to include non-indexed documentary sources to achieve a more comprehensive view of scientific development in this area in the Ecuadorian context.

Keywords: Bioremediation; Hydrocarbons; Contaminated Soils; Ecuador; Scopus.

RESUMEN

Introducción: la biotecnología ha desarrollado técnicas como la biorremediación, que busca restaurar suelos contaminados mediante el uso de microorganismos, plantas o enmiendas orgánicas, reduciendo la concentración de contaminantes sin generar residuos secundarios tóxicos. Es necesario recopilar, ordenar y analizar las investigaciones sobre biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos en Ecuador.

Objetivo: analizar el estado actual de la producción científica sobre biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos en Ecuador durante el periodo 2019-2025, mediante un estudio bibliométrico.

Método: se recopiló y procesó estudios científicos de la base de datos Scopus, con ayuda de Biblioshiny (RDtudio) y Google Colab para análisis y visualización de indicadores claves: técnicas, organismos, estrategias de biorremediación, publicaciones por año, estudios más citados, afiliaciones nacionales, cooperaciones internacionales, redes de coautorías y cuartiles de las revistas.

Resultados: presentan un crecimiento sostenible en la producción científica, con un pico significativo en los años 2022 y 2023. Las técnicas de biorremediación más empleadas fueron bioaugmentación, fitorremediación y uso de microorganismos autóctonos predominando el género *Pseudomonas*, reflejando una preferencia por metodologías sostenibles y adaptadas a condiciones locales. Las principales afiliaciones nacionales son universidades públicas como la Universidad de las Fuerzas Armadas, Universidad Nacional de Chimborazo, Universidad Técnica de Manabí. Las cooperaciones Internacionales, aunque son pocas, pero se encuentra países como México, España, Italia, Brasil y Venezuela. A pesar del avance, la mayoría de las investigaciones se publican en revistas de cuartiles bajos, lo que limita su visibilidad internacional.

Conclusiones: es importante fortalecer redes de colaboraciones nacionales e internacionales y ampliar el análisis bibliométrico hacia fuentes documentales no indexadas para lograr una visión más integral del desarrollo científico en esta área en contexto ecuatoriano.

Palabras claves: Biorremediación; Hidrocarburos; Suelos Contaminados; Ecuador; Scopus.

INTRODUCCIÓN

El suelo, es considerado un recurso no renovable, desempeña múltiples funciones esenciales para el beneficio de todos los ecosistemas y el bienestar humano. Actúa como hábitat de organismos, reserva genética, sumidero de carbono, sistema natural de almacenamiento, filtrado de sustancias, es la base para la producción de alimentos, biomasa y materias primas necesarias para diversas actividades económicas.⁽¹⁾

Sin embargo, la extracción y el transporte de hidrocarburos, realizados diariamente en todo el mundo, implican un riesgo ambiental significativo, siendo los derrames accidentales una de las principales causas de degradación severa a los suelos.⁽²⁾ En casos de los países megadiversos la economía depende en gran medida de la actividad petrolera, estos eventos generan impactos ecológicos críticos, especialmente en regiones sensibles como la Amazonía.⁽³⁾

Además de los impactos ecológicos, la presencia de hidrocarburos en el suelo representa un riesgo para la salud pública, ya que el crudo contiene compuestos orgánicos e inorgánicos con efectos tóxicos. Entre ellos destacan los hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs), conocidos por su carácter genotóxico y cancerígeno, capaces de alterar funciones hepáticas y renales tanto en humanos como en animales.⁽⁴⁾

Frente a este panorama, la biotecnología ha desarrollado técnicas como la biorremediación, que busca restaurar suelos contaminados mediante el uso de microorganismos, plantas o enmiendas orgánicas, reduciendo la concentración de contaminantes sin generar residuos secundarios tóxicos.⁽⁵⁾

En Ecuador, han demostrado el potencial de la biorremediación enfoques como el uso de biocarbón a partir de residuos agroindustriales como la cáscara de arroz y el aprovechamiento de bacterias nativas capaces de tolerar y degradar compuestos derivados de hidrocarburos.⁽⁵⁾ En la central Termoesmeraldas de Ecuador, se evidenció la eficacia de técnicas como la bioaugmentación mediante la utilización de *Pseudomonas aeruginosa*, una bacteria originalmente aislada de una mina de esquistos bituminosos en Riutort, España, estas bacterias, reconocidas por su capacidad para degradar compuestos derivados del petróleo incluso en condiciones ambientales adversas, fueron posteriormente empleadas sobre suelos contaminados con lodos aceitosos recolectados en sitios de derrame controlado en La Libertad, costa suroccidental del Ecuador, los resultados demostraron el potencial de los consorcios microbianos adaptados para ser transferidos con éxito a contextos tropicales, mediante el uso de tecnologías avanzadas de monitoreo y control.⁽⁶⁾

A pesar de que en Ecuador se han desarrollado estudios significativos sobre biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos, su número continúa siendo muy limitado en comparación con la producción científica a nivel global.⁽⁵⁾ Este desfase pone en evidencia la necesidad de analizar el estado actual de la investigación ecuatoriana, identificar sus vacíos temáticos, autores más productivos, colaboraciones institucionales y las metodologías predominantes utilizadas. Así, este estudio se propone realizar un análisis bibliométrico con enfoque descriptivo comparativo que permita caracterizar y discutir la evolución del conocimiento científico en esta materia en el país, en contraste con tendencias latinoamericanas y globales.

Problema de investigación

El tema de biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos de procedencia petrolera, actualmente se convierte en un claro desafío ambiental para Ecuador. Debido a la dependencia económica a nivel nacional de la explotación petrolera, por lo que la evidencia de que existan derrames hidrocarburíficos es común y con más referencia a regiones amazónicas. Dicho problema ambiental afecta la biodiversidad y los recursos naturales de los que son fuentes de subsistencia de muchas comunidades locales. El mencionado problema ambiental además de plantear desafíos ambientales, se enfrenta en busca de soluciones sociales y económicas, para mitigar los altos costos de restauración ecológica y ambiental.

A pesar de que se han dado pasos importantes en el desarrollo de investigaciones sobre biorremediación, aún existe poca información consolidada que permita identificar con claridad las tendencias, los enfoques predominantes y los vacíos de conocimiento en este campo dentro del contexto ecuatoriano. Frente a esta necesidad, el análisis bibliométrico se presenta como una herramienta útil para sistematizar y evaluar el estado de la producción científica. A través de esta metodología, es posible entender cómo han evolucionado los estudios sobre biorremediación en suelos contaminados por hidrocarburos, qué técnicas y organismos se han utilizado y qué regiones del país han sido más afectadas o menos atendidas en términos de investigación.

Ecuador, al ser un país con gran diversidad biológica y condiciones ecológicas particulares, requiere con urgencia estrategias de remediación sostenibles que se adapten a sus realidades locales. Sin embargo, muchas investigaciones existentes no logran contextualizar adecuadamente sus hallazgos o se encuentran dispersas, lo que dificulta su aprovechamiento para la toma de decisiones informadas y el diseño de soluciones efectivas. Por esta razón, se hace necesario un análisis bibliométrico profundo que recopile, ordene y analice las investigaciones sobre biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos en Ecuador. Este análisis permitirá no solo conocer el estado actual del conocimiento en el país, sino también orientar futuras investigaciones, políticas públicas y acciones concretas para enfrentar este problema ambiental de manera más integral y contextualizada.

El presente estudio se limita temporalmente al periodo 2019 hasta el 6 de junio del 2025. Se consideran únicamente las publicaciones científicas indexadas en la base de datos de Scopus, que se refieran a la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos, desde el contexto latinoamericano y con perspectiva principalmente en el Ecuador.

Desde el punto de vista conceptual, este estudio se centrará en identificar las técnicas empleadas, los organismos investigados, las colaboraciones académicas, además se va a analizar las condiciones socioeconómicas y ambientales que se asocian a la aplicación de estrategias de biorremediación. Se excluyen las investigaciones que tienen relación con otro tipo de contaminación o tecnologías distintas al enfoque biológico.

La contaminación de suelos por hidrocarburos representa un reto ambiental significativo para países con actividad petrolera

como Ecuador. Aunque se trata de una problemática urgente, llama la atención la escasa producción científica nacional relacionada con la biorremediación de estos suelos. En este contexto, el presente estudio ofrece una mirada novedosa al enfocarse en un análisis bibliométrico de los aportes científicos existentes sobre biorremediación, especialmente aquellos desarrollados dentro del territorio ecuatoriano. Para ello, se recurrió a la base de datos Scopus, reconocida internacionalmente por su rigurosidad y por albergar publicaciones de alta calidad y relevancia científica. A través de este análisis, se logra identificar las técnicas más utilizadas, los organismos aplicados, los vacíos en el conocimiento y las redes de colaboración científica que han marcado la pauta en este campo. Este estudio está pensado para beneficiar directamente a investigadores, universidades, centros de investigación, entidades ambientales y tomadores de decisiones relacionados con la gestión de suelos contaminados. Al visibilizar de manera sistemática la producción científica nacional, se busca contribuir al fortalecimiento de las políticas de investigación, priorizar temáticas clave y orientar de forma más estratégica el financiamiento hacia estudios con mayor pertinencia local. Los resultados pueden servir de base para el desarrollo de estrategias educativas y curriculares, al ofrecer un panorama claro de las áreas de mayor necesidad e impacto, este trabajo busca no solo sistematizar el conocimiento actual, sino también trazar un mapa actualizado que facilite la toma de decisiones tanto en el ámbito académico como en la gestión ambiental, promoviendo soluciones prácticas y sostenibles para los desafíos que enfrenta el país.

Objetivo general

Analizar el estado actual de la producción científica sobre biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos en Ecuador (2019-2025) mediante un estudio bibliométrico basado en base de datos Scopus, identificando tendencias temáticas, metodológicas aplicadas, redes de colaboración e impacto científico.

MÉTODO

Este estudio presenta un enfoque cuantitativo con el respectivo respaldo de producción. En base a que los datos presentan análisis, medidas y verificables claves que evidencien la evolución de la producción científica sobre biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos en Ecuador. Se menciona el diseño adecuado debido a que se busca analizar aspectos claves como número de publicaciones, las técnicas de biorremediación que se usan en cada uno de los estudios, así como los organismos (bacterias, plantas, bioindicadores biológicos, entre otros), las redes de colaboraciones entre los autores, afiliaciones nacionales, cooperaciones internacionales y las fuentes en las cuales se indexaron las investigaciones científicas.

El estudio se diseñó como un análisis bibliométrico, apoyado en una revisión sistemática, siguiendo las directrices establecidas por la declaración PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). Esto asegura que el proceso de recopilación y análisis de información se haya realizado con transparencia, rigor metodológico y la posibilidad de ser replicado.

Para ello, se combinaron herramientas teóricas y prácticas. Los métodos teóricos ayudaron a definir los principales ejes temáticos del estudio y los criterios para incluir o excluir publicaciones, mientras que los métodos empíricos permitieron recopilar, filtrar y analizar la información bibliográfica disponible. Como resultado, se construyó una base de datos depurada con estudios publicados entre 2019 y 2025, lo cual hizo posible interpretar cuantitativamente el desarrollo científico en este campo: autores más activos, instituciones y países participantes, redes de colaboración, palabras clave más frecuentes, tendencias temáticas, crecimiento anual de publicaciones e impacto medido en número de citaciones.

Se utilizó un método cuantitativo descriptivo, basado en técnicas bibliométricas que permitieron analizar patrones de producción científica, redes de colaboración, tendencias temáticas y niveles de impacto de las publicaciones sobre biorremediación de suelos contaminados. El enfoque fue no experimental y documental, utilizando herramientas como Bibliometrix (R) y VOSviewer para el análisis de metadatos exportados desde Scopus.

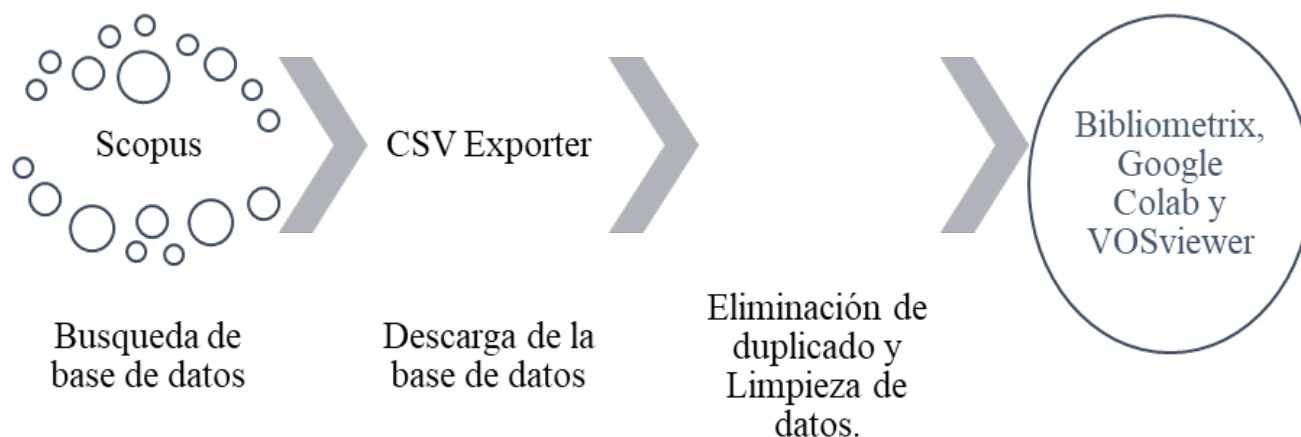


Figura 1. Pasos metodológicos para búsqueda, obtención y análisis de datos



Figura 2. Criterios de inclusión y exclusión aplicados para la selección de los estudios

La población estuvo compuesta por todas las publicaciones científicas indexadas en la base de datos Scopus que tratan sobre biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos, mediante filtrados con palabras claves para Latinoamérica

TITLE-ABS-KEY ((“bioremediation” OR “biodegradation” OR “remediation”) AND (“oil” OR “hydrocarbons” OR “petroleum”) AND (“soil” OR “land”)) AND (“Latin America” OR “South America” OR “Mexico” OR “Brazil” OR “Colombia” OR “Argentina” OR “Chile” OR “Peru” OR “Ecuador” OR “Venezuela” OR “Uruguay” OR “Paraguay” OR “Bolivia” OR “Guyana” OR “Costa Rica” OR “El Salvador” OR “Guatemala” OR “Honduras” OR “Nicaragua” OR “Panama”)) AND PUBYEAR > 2018 AND PUBYEAR < 2026 AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, “ar”) OR LIMIT-TO (DOCTYPE, “re”))

Y para Ecuador sin restricciones iniciales de año, tipo de documento o acceso.

TITLE-ABS-KEY ((“bioremediation” OR “biodegradation” OR “soil remediation” OR “environmental cleanup”) AND (“oil” OR “hydrocarbons” OR “petroleum” OR “contamination” OR “pollution”) AND (“soil”)) AND (TITLE-ABS-KEY (“Ecuador” OR “Amazon region” OR “Oriente Basin”)) AND PUBYEAR > 2018.

Se definió una muestra intencionada de artículos basada en criterios específicos de exclusión y documentos de exclusión (figura 2).

El proceso de selección se realizó mediante la búsqueda avanzada en Scopus (figura 3), obteniéndose inicialmente 21 registros, de los cuales 9 fueron seleccionados tras aplicar protocolo PRISMA (eliminación de duplicados, revisión de relevancia temática y verificación de acceso abierto).

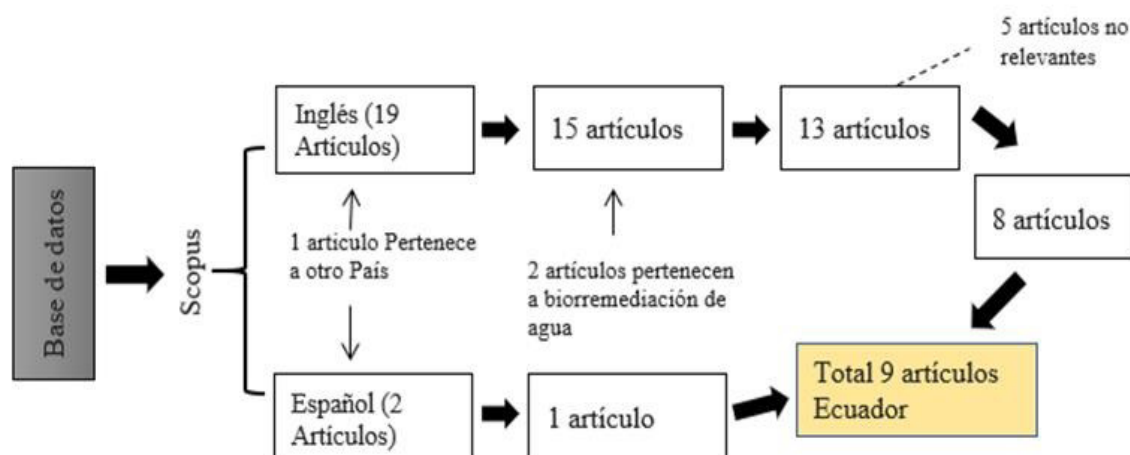


Figura 3. Esquema del proceso de obtención de los datos

El procesamiento de los datos bibliográficos se realizó en 5 fases, ilustradas en la figura 4.

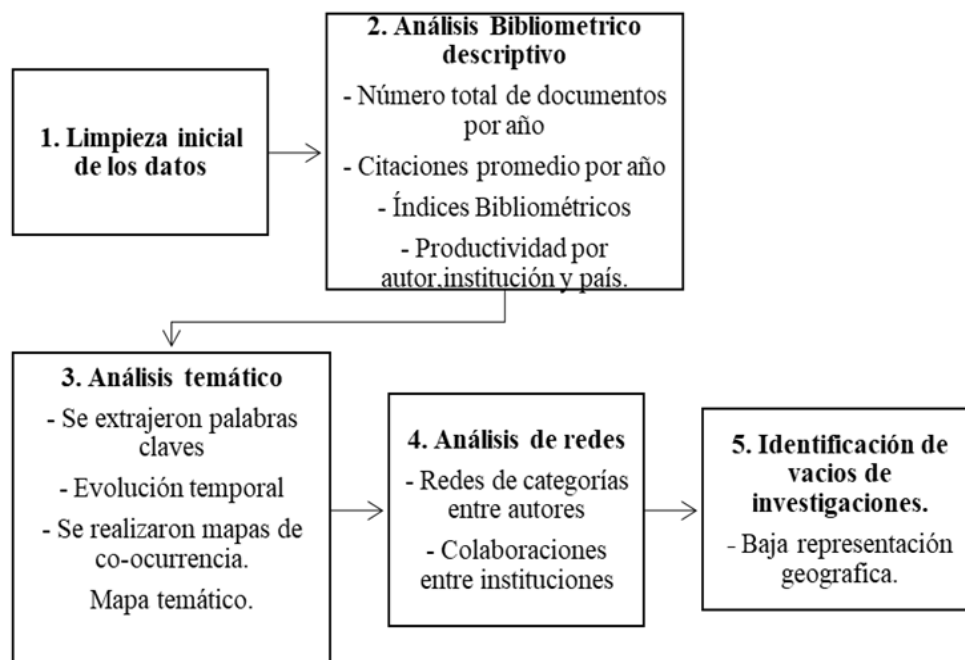


Figura 4. Proceso estadístico de los datos

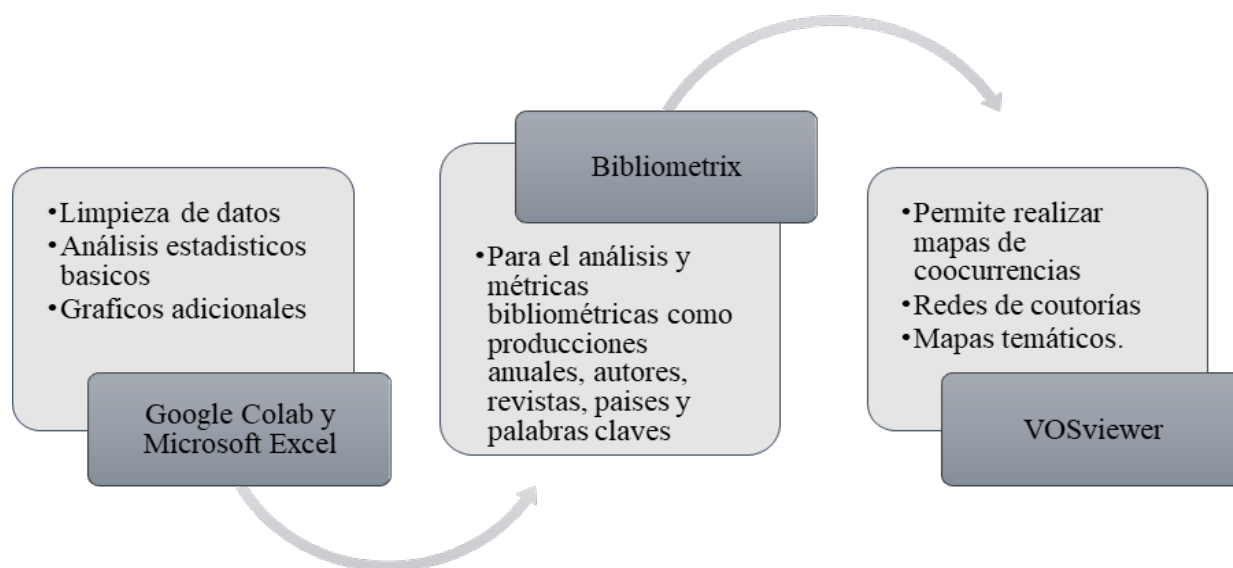


Figura 5. Principales herramientas usadas

RESULTADOS

Se presentan los resultados del análisis bibliométrico realizado en base a la producción científica con enfoque a la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos entre el periodo de 2019 a junio del 2025, con particular énfasis al contexto de Ecuador. Los resultados se evidencian de acuerdo con los objetivos específicos de la investigación, mismos que se representan en tablas y figuras generadas con herramientas como Bibliometrix (R/Biblioshiny), Google colab, Microsoft Excel y VOSviewer.

La revisión de la producción científica en Ecuador revela que las principales líneas temáticas relacionadas con la contaminación de suelos por hidrocarburos se concentran en el desarrollo de técnicas de biorremediación adaptadas a contextos ecológicos locales, con un énfasis en la región amazónica. Las metodologías más aplicadas en los estudios revisados son la bioaumentación y la bioestimulación, empleando mayoritariamente bacterias y especies vegetales autóctonas. Esta orientación técnica sugiere una preferencia por soluciones sostenibles, de bajo costo y con alta compatibilidad ecológica.

Adicionalmente, se han documentado propuestas innovadoras como el uso de bioindicadores para el monitoreo funcional del suelo, así como la incorporación de herramientas tecnológicas avanzadas, entre ellas la espectroscopía, que permiten evaluar procesos sin recurrir a métodos destructivos. Estas estrategias no solo evidencian el avance metodológico, sino que también reflejan

una respuesta directa a las condiciones socioambientales particulares del territorio ecuatoriano.

Desde una perspectiva territorial, el análisis geográfico indica que los estudios se distribuyen de forma relativamente equilibrada entre varias ciudades del país, con mayor concentración en Esmeraldas y zonas representativas de la Amazonía. Aunque no se observa una diferencia marcadamente significativa entre regiones, esta dispersión sugiere una participación académica diversa a nivel nacional, lo que refuerza el interés multisectorial por abordar la problemática de la contaminación por hidrocarburos desde una perspectiva biotecnológica y contextualizada.

En la tabla 1 se recopilan algunos de los estudios más representativos sobre biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos realizados en Ecuador. Estos trabajos fueron seleccionados por su relevancia técnica, aplicabilidad local y aporte a la comprensión de las estrategias adaptadas a condiciones edafoclimáticas del país. Como se puede observar, las técnicas más empleadas son la bioaumentación y la bioestimulación, aplicadas en distintas regiones del territorio, principalmente en zonas amazónicas. También se evidencian subtécnicas específicas, como el uso de enmiendas orgánicas o consorcios bacterianos, que refuerzan el enfoque hacia soluciones sostenibles, de bajo costo y adaptadas al entorno ecológico. La tabla 1 incluye información sobre los autores, el lugar del estudio, la técnica aplicada y los materiales o enfoques específicos empleados en cada caso.

Con el objetivo de identificar los enfoques más recurrentes en la literatura científica nacional sobre biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos, se realizó un análisis de frecuencia de los términos técnicos utilizados. La tabla 2 presenta los términos con mayor frecuencia de aparición, ordenados de forma descendente, lo cual facilita la identificación de patrones temáticos y prioridades metodológicas.

Tabla 1. Técnicas empleadas en los estudios de biorremediación en Ecuador

Título	Autores	Lugar de estudio	Técnicas	Subtécnica
Oil Palm Bagasse as a Treatment for Soils Contaminated with Total Petroleum Hydrocarbons.	Orejuela-Romero et al. ⁽⁷⁾	Francisco de Orellana	Bioestimulación.	Enmiendas orgánicas (Bagazo de palma aceitera).
Biorremediation of Soil Sample Contaminated with Crude Oil using rice huskbased biocarbon (Oryza Sativa)	Camacho et al., 2024 ⁽³⁾	Esmeraldas	Bioestimulación.	Enmienda con Biocarbón (cascarilla de arroz)
Hydrocarbon tolerance evaluation of the microbiota associated with the Roystonea oleracea palm from Santay Island (Ecuador)	Andrade et al. ⁽⁵⁾	Isla Santay	Aislamiento y evaluación de tolerancia microbiana.	Biosurfactantes.
Response of dung beetle diversity to remediation of soil ecosystems in the Ecuadorian Amazon.	Pozo-Rivera et al. ⁽²⁾	Sucumbíos y Orellana.	Bioindicadores.	Escarabajos coprófagos.
Metagenomic analysis of the microbial community at the Riutort oil shale mine (NE Spain): Potential applications in bioremediation and enhanced oil recovery.	González-Toril et al. ⁽⁶⁾	España y Ecuador/ Libertada	Bioaumentación	Aislamiento microbiano
Bacterial selection of the Pseudomonas genus with the capacity to treat water and contaminated soils.	Escudero-López et al. ⁽⁸⁾	Sucumbíos/Orellana	Biorremediación microbiana <i>in situ</i>	Bioaumentación con cepas autóctonas
Reduction of the soil environmental impact caused by the presence of total petroleum hydrocarbons (TPH) by using Pseudomonas sp.	Páliz et al. ⁽⁹⁾	Orellana – Laboratorio AqLab.	Bioaumentación.	Bacterias nativas
Bioremediation of soil contaminated with hydrocarbons based on bacteria used as bioproducts.	García et al. ⁽¹⁰⁾	Campo Sacha	Bioaumentación.	Aislamiento, selección y aplicación de bacterias nativas
Assessing Bioremediation of Soils Polluted with Fuel Oil 6 by means of diffuse reflectance spectroscopy.	V. J. García et al. ⁽¹¹⁾	Esmeraldas	Bioaumentación + espectroscopia.	Referencia difusa (Vis-NIR)

Tabla 2. Frecuencias de términos técnicos relacionados con las técnicas de biorremediación

Términos	Frecuencia	Porcentaje
Biodegradation, Bioremediation, Hydrocarbons Y Soil Remediation	3	5
Biosurfactants, Total Petroleum Hydrocarbons, Degradation, Ecuador, Soil Pollution	2	3
Bacterium, Bagasse, Biotechnology, Bioaugmentation, Aerobic Bacteria	1	2

Se generó una nube de palabras con el programa Biblioshiny a partir de los términos más recurrentes mencionados en los estudios analizados. Esta presentación permite visualizar la relevancia comparativa de cada termino, en funciona la aparición, a mayor tamaño de tipografía mayor número de menciones es directamente proporcional. La figura 6 muestra esta nube de palabras, en la que destacan conceptos como *Hydrocarbons* (hidrocarburos), *biodegradation* (biodegradación), *bioremediation* (biorremediación), *soil pollution* (contaminación de suelos) y *Ecuador* evidenciando su centralidad en la investigación sobre biorremediación en el contexto ecuatoriano.

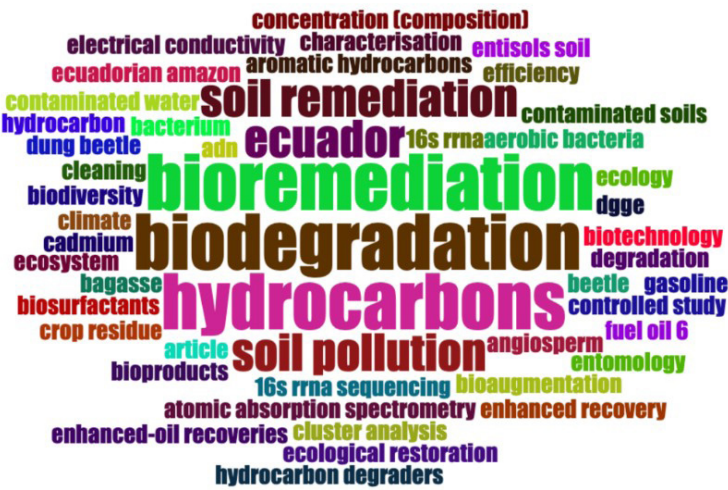


Figura 6. Nube de palabras de las técnicas de biorremediación más frecuentes en estudios científicos en el periodo de 2019 a 2025 en Ecuador

Con la finalidad de identificar los organismos biológicos más empleados en los estudios de contexto ecuatoriano de biorremediación suelos contaminados con hidrocarburos, se elaboró la tabla 3 donde se clasifica los organismos usados por cada estudio.

Tabla 3. Organismos utilizados en los estudios de biorremediación en Ecuador		
Estudios	Lugar de estudio	Organismos
Orejuela-Romero et al. ⁽⁷⁾	Francisco de Orellana	Elaeis guineensis
Camacho et al. ⁽³⁾	Esmeraldas	Oryza sativa
Andrade et al. ⁽⁵⁾	Isla Santay	Lysinibacillus fusiformis, Lysinibacillus boronitolerans, Alcaligenes faecalis y Bacillus soli.
Pozo-Rivera et al. ⁽²⁾	Sucumbíos y Orellana.	Scarabaeinae
González-Toril et al. ⁽⁶⁾	España y Ecuador/Libertada	Pseudomonas spp. y Brevundimonas spp
Escudero-López et al. ⁽⁸⁾	Sucumbíos/Orrellana	Pseudomonas stutzeri, Pseudomonas aeruginosa y Pseudomonas putida.
Páliz et al. ⁽⁹⁾	Orellana – Laboratorio AqLab.	Pseudomonas spp, Cepa comercial Pseudomona aeruginosa
R. A. V. García et al. ⁽¹⁰⁾	Campo Sacha	Bacterias hidrocarbonoclastas
V. J. García et al. ⁽¹¹⁾	Esmeraldas	Pseudomona aeruginosa

La figura 7 presenta la distribución de los tipos de organismos utilizados en los estudios de biorremediación realizados en el contexto ecuatoriano y colaboraciones internacionales. Se observa una clara predominancia de las bacterias, lo cual se alinea con su eficiencia demostrada en la degradación de hidrocarburos. En menor medida, se reporta el uso de plantas, como especies de arroz (*Oryza sativa*) y palma (*Elaeis guineensis*), en enfoques de fitorremediación. Por último, un estudio aislado emplea insectos de la subfamilia *Scarabaeinae*, lo que sugiere nuevas rutas exploratorias en el ámbito de la remediación.

La tabla 4 muestra la relación entre el contexto ambiental, las condiciones socioeconómicas y las estrategias de biorremediación aplicadas en nueve estudios de caso realizados en distintas regiones del Ecuador. En todos los casos, el contexto ambiental está marcado por la presencia de suelos contaminados debido a derrames de petróleo o derivados como el Fuel Oil, los cuales han afectado tanto ecosistemas naturales como zonas agrícolas.

En cuanto al contexto socioeconómico, los estudios identifican condiciones como la vulnerabilidad de comunidades rurales e indígenas, la dependencia económica de la agricultura, y la disponibilidad local de residuos agroindustriales (como el bagazo de palma y la cascarilla de arroz), lo que hemos notado en la mayoría de los países del contexto Latinoamericano. Estas condiciones han influido directamente en la selección de estrategias de remediación con enfoque local, bajo costo y aplicabilidad en zonas rurales.

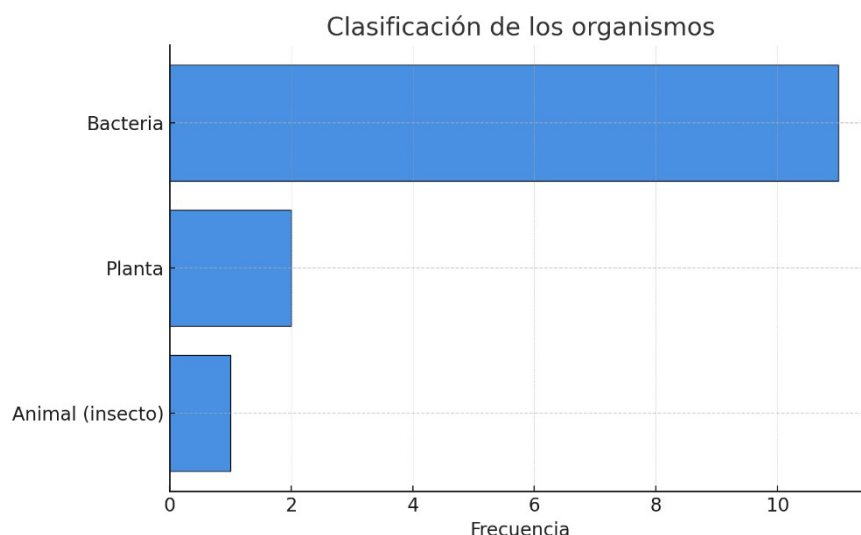


Figura 7. Clasificación de los organismos utilizados para los estudios de biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos en Ecuador

Tabla 4. Condiciones socioeconómicas y ambientales que se asocian a la aplicación de estrategias de biorremediación

Nº	Título	Contexto ambiental	Contexto socioeconómico	Estrategia de biorremediación
1	Oil Palm Bagasse as a Treatment for Soils Contaminated with Total Petroleum Hydrocarbons	Francisco de Orellana presenta un suelo afectado por múltiples derrames de petróleo.	El bagazo de palma es un residuo agroindustrial abundante y barato. Además, se fomenta la valorización de los subproductos locales.	El bagazo de la palma es un subproducto local, económico y de fácil acceso por lo que se presenta como buena técnica de biorremediar los suelos que se encuentren contaminados con hidrocarburos.
2	Biorremediation of Soil Sample Contaminated with Crude Oil using Rice Husk-based Biocarbon (Oryza Sativa)	Esmeraldas presenta un suelo contaminado con los derrames petroleros procedentes de las refinerías locales	El uso del biocarbón de cascarilla de arroz es una técnica económica, replicable y sobre todo se adecua a zonas rurales.	El uso del biocarbón de cascarilla de arroz es una solución de biorremediación sostenible y de bajo costo especialmente en suelos sensibles.
3	Hydrocarbon tolerance evaluation of the microbiota associated with the Roystonea oeracea palm from Santay Island (Ecuador)	La Isla Santay ha sido afectada por constantes contaminación de hidrocarburos.	La identificación de plantas nativas capaces de tolerar hidrocarburos y producir biosurfactantes permite generar soluciones accesibles de biorremediación a bajos costos.	Una solución ambiental es aprovechar la microbiota local como una estrategia de biorremediación ecológica y accesible por su bajo costo
4	Response of dung beetle diversity to remediation of soil ecosystem in the Ecuadorian Amazon.	Se estudiaron cuatro diferentes tipos de ecosistemas de las provincias amazónicas que previamente han sido remediados.	Para la limpieza se lo ha utilizado surfactantes biodegradables, rehusó de suelo para fines agrícolas y bio indicadores biológicos (Escarabajos coprófagos) para evaluar la recuperación del suelo	La combinación de estrategias de biorremediación ambiental, para la limpieza el uso de surfactantes biodegradables, el reusó con fines agrícolas o la reforestación son soluciones económicas y factibles para suelos contaminados, además utilizar bioindicadores ecológicos para comprobar la restauración ecológica es muy factible.
5	Metagenomic analysis of the microbial community at the Riutort oil shale mine (NE Spain): Potential applications in bioremediation and enhanced oil recovery	Presenta un contexto ambiental contaminado con la extracción, transporte y derrames de petróleo.	Las poblaciones cercanas, especialmente indígenas presentan situaciones de vulnerabilidad de salud y económica.	Se propone la selección d microorganismos autóctonos o de consorcio microbiano para futuros estudios.
6	Bacterial selection of the Pseudomonas genus with the capacity to treat water and contaminated soils.	La región de la amazonia históricamente ha sido impactada por los diferentes derrames de petróleo que han venido causando fuertes problemas ambientales.	Las provincias de sucumbíos como orellana alberga numerosas comunidades rurales e indígenas lo que de manera urgente se debe incluir soluciones sostenibles y de bajos costos.	Se considera que la bioaumentación combinada con bioestimulación y monitoreo ambiental son soluciones para futuros estudios de biorremediación.

7	Reduction of the soil environmental impact caused by the presence of total petrokeum hydrocarbons (TPH) by using Pseudomonas sp	El suelo del cual se obtuvieron las muestras para análisis de laboratorio presentaba grandes acumulaciones de hidrocarburos totales debido a los reincidentes derrames de petróleo que se han registrado en la provincia de Orellana.	Bioaumentación con bacterias nativas que son extraídas directamente del lugar contaminado es una solución de bajos costos y evita el uso de cepas comerciales que se tienen que importar generando costos elevados.	Biorremediar suelo contaminado con hidrocarburos extrayendo las capas de bacterias del lugar mismo para crear estos microorganismos bacterianos capaces de degradar estos metales pesados es una buena estrategia ambiental.
8	Bioremediation of soil contaminated with hydrocarbons based on bacteria used as bioproducts	El situó que se llevó a cabo el estudio, es agrícola que se encuentra afectada por derrame de petróleo, que modifican de manera negativa la estructura, microbiota y fertilidad de la tierra.	Es una zona que depende de la agricultura para su supervivencia, por lo que es necesario y urgente la implementación de estrategias de biorremediación de suelo con técnicas como la usada en este estudio.	La bioaumentación con bioproductos es una buena estrategia sostenible y económica para futuros estudios de biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos.
9	Assessing Bioremediation of Soils Polluted with Fuel Oil 6 by Means of Diffuse Reflectance Spectroscopy.	Los suelos se encuentran contaminados con Fuel Oil N°6, presentan alteraciones fisicoquímicas lo que dificulta el uso agrícola y diversidad microbiota nativa.	Combinación de Bioaumentación (Pseudomonas aeruginosa) con espectroscopia de referencia difusa (Vis-NIR) permite un monitoreo económico y no destructivo	Usar este tipo de combinación tecnológicas (espectroscopia) y ecológicas (microorganismos autóctonos) permite tratar los suelos que se encuentren contaminados

Se evidencia la evolución constante en la producción científica ecuatoriana, mostrando un pico de aumento en 2021 a 2023 (figura 8). Además, la evolución de los principales autores de producción científica sobre biorremediación científica en países latinoamericanos en el periodo 2019 al 2025 (figura 9). A nivel de Latinoamérica México es el país con más citaciones (142 citas) seguido Brasil (132 citas). En Los estudios ecuatorianos el más citado es González-Toril et al.⁽⁶⁾ 2023, reafirman la pertinencia del abordaje local con enfoques internacionales.

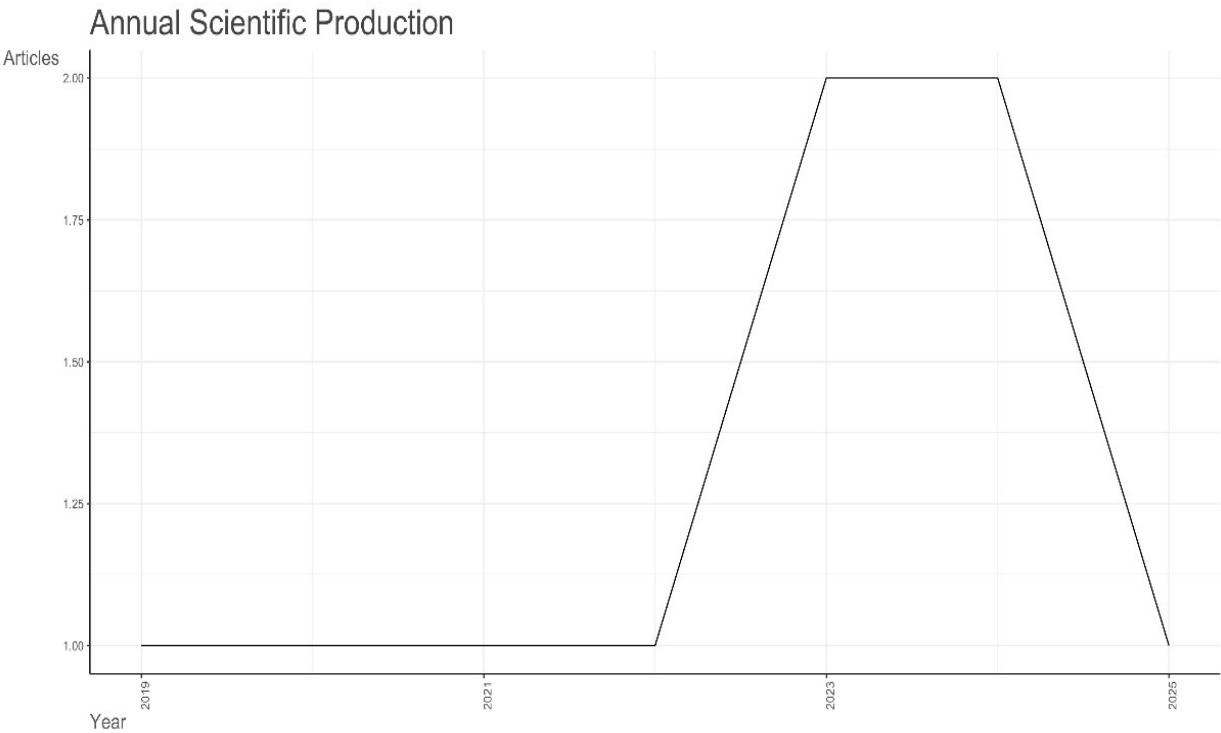


Figura 8. Evolución temporal de la producción ecuatoriana

La tabla 5 sintetiza los principales indicadores bibliométricos relacionados con la producción científica sobre biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos, centrados especialmente en el contexto latinoamericano. Se observa que entre los autores más productivos durante el periodo 2020–2025, destacan Rivera G. y Paz-González AD, con publicaciones constantes a lo largo del tiempo. Les siguen otros autores relevantes como Adams RH. y Domínguez-Rodríguez VI., con publicaciones activas entre 2020 y 2024, y Acuña AJ. y Cambarieri L., que concentraron su producción entre 2020 y 2021.

Tabla 5. Indicadores bibliométricos sobre biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos			
Evolución de la producción de autores más relevantes a lo largo del tiempo	Latinoamérica	Periodo	Autores
		2020-2025	Rivera G. y Paz-González AD.
		2020-2021	Acuña AJ. y Cambarieri L.
		2020-2024	Adams RH. y Domínguez-Rodríguez VI.
		2021-2022	Cruz-Hernandez MA.
		2020-2022	Elufisan TO. y Guo X.
		2022-2024	Gusmán-López O.
Países más citados	Latinoamérica	No. de citas	Países
		142	México
		132	Brasil
		24	Colombia
		16	Chile
Numero de citas de estudios científicos sobre biorremediación de suelo contaminados	Ecuador	No. de citas	Estudios
		5	González-Toril et al. ⁽⁶⁾
		4	García et al. ⁽¹⁰⁾
		2	PozoRivera et al. ⁽²⁾
		2	García et al. ⁽¹¹⁾
		2	Escudero et al. ⁽⁸⁾
		2	Páliz et al. ⁽⁹⁾
		1	Camacho et al. ⁽³⁾
		0	Andrade et al. ⁽⁵⁾
		0	Orejuela-Romero et al. ⁽⁷⁾

La figura 9 representa visualmente la evolución temporal de estos autores, mostrando cómo se han mantenido o incorporado a la discusión científica a lo largo de los años recientes.

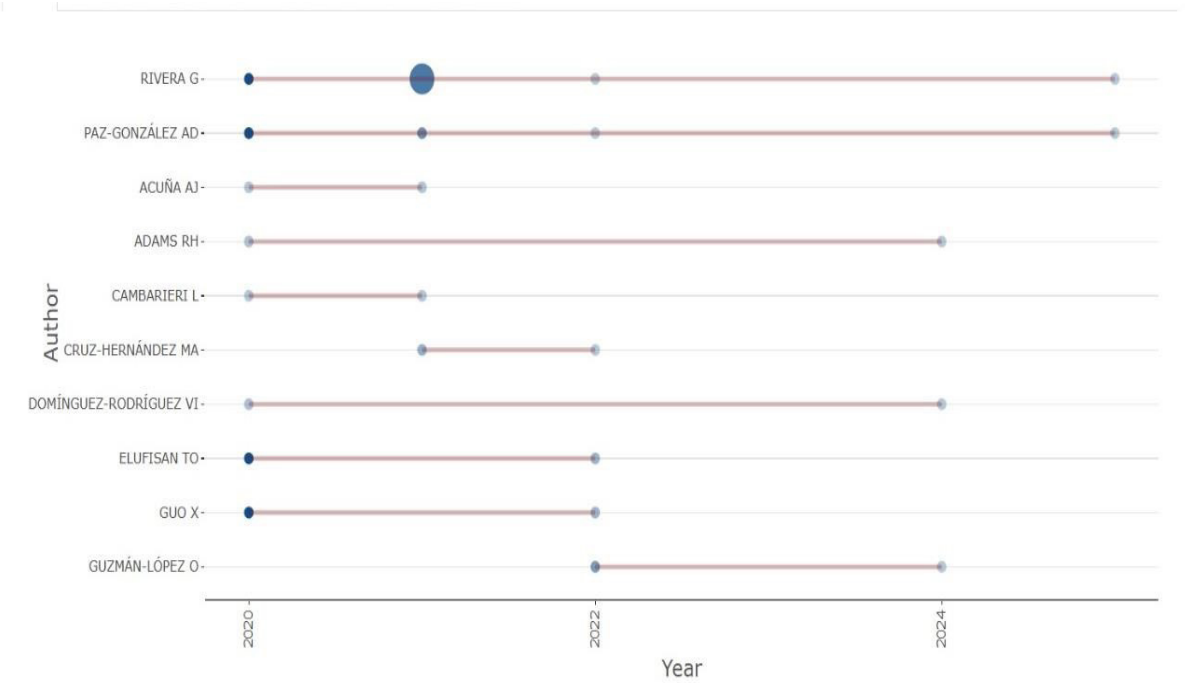


Figura 9. Evolución de los autores en la producción científica Latinoamericana

El número de citas por país en América Latina, México lidera con 142 citas acumuladas, seguido por Brasil con 132, lo que evidencia una alta visibilidad e impacto de sus investigaciones en la región. En posiciones más bajas se encuentran Colombia 24 y Chile 16, lo que podría relacionarse con una menor concentración de centros de investigación especializados o con la dispersión de esfuerzos científicos en estos países.

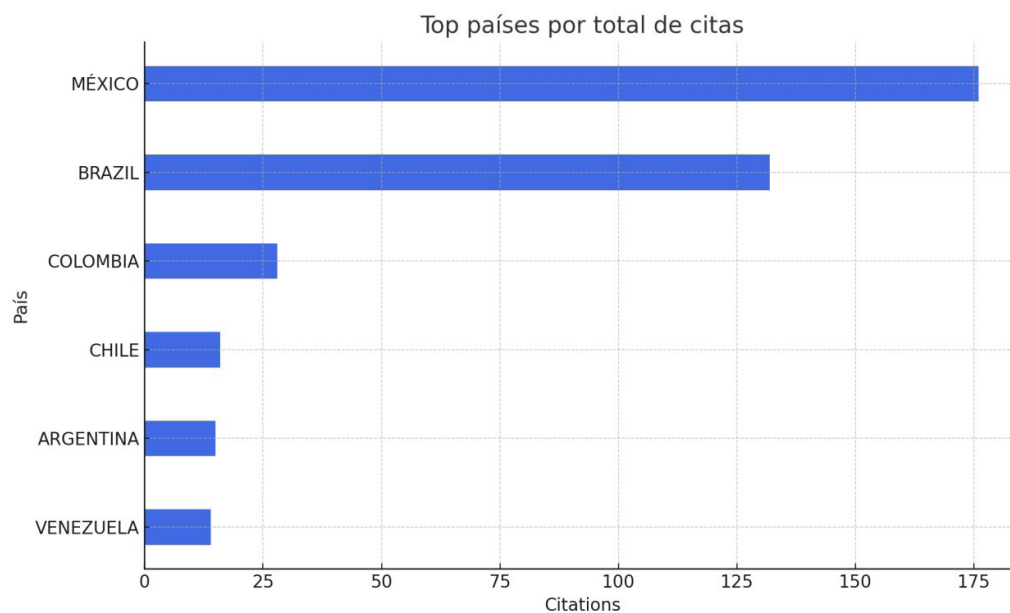


Figura 10. Top de los países Latinoamericanos más citados

En el caso ecuatoriano, el análisis muestra que la producción científica nacional aún mantiene un bajo nivel de citación, con solo algunos estudios destacando por su impacto. El trabajo de González-Toril et al.⁽⁶⁾ lidera con 5 citas, seguido por el de García et al.⁽¹⁰⁾ con 4. Otros estudios, como los de Pozo-Rivera et al.⁽²⁾, Escudero et al.⁽⁸⁾ y Páliz et al.⁽⁹⁾, registran entre 2 y 1 citas. En contraste, investigaciones recientes como las de Orejuela-Romero et al.⁽⁷⁾ y Andrade et al.⁽⁵⁾ aún no presentan citas, lo cual puede atribuirse a su reciente publicación o a la falta de difusión en bases de datos internacionales.

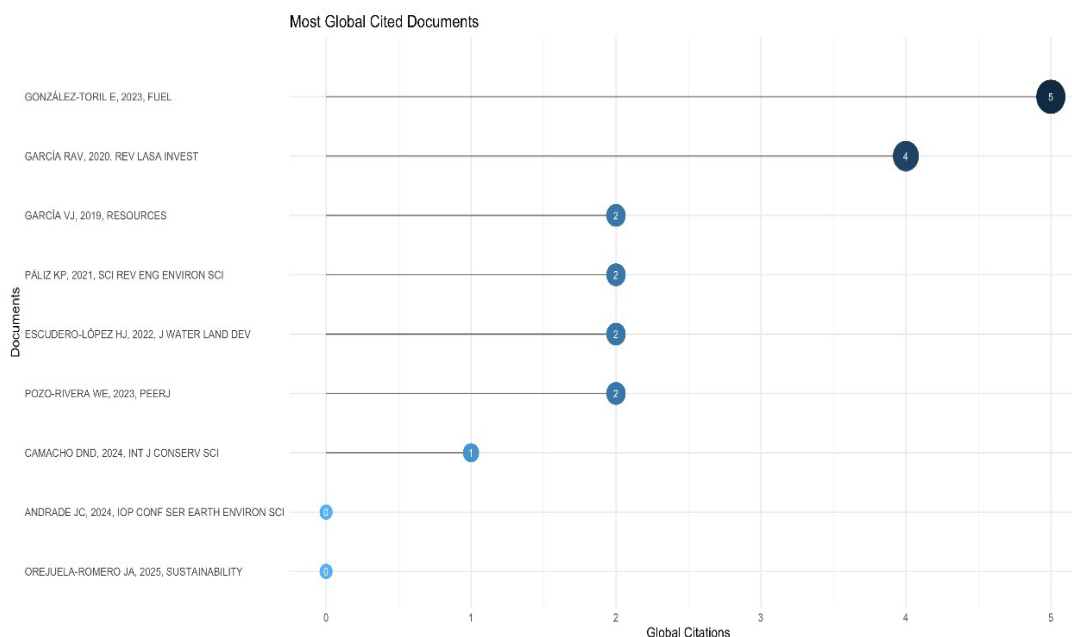


Figura 11. Numero de Citas en los estudios de Ecuador

El análisis de las redes de colaboración científica sobre biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos en Ecuador en los últimos cinco años presenta una participación constante entre instituciones nacionales como internacionales. Las coautorías reflejan un trabajo interdisciplinario, pero no se evidencia una conexión significativa entre los autores. Las instituciones nacionales más destacadas son la Universidad de las fuerzas armadas, la Universidad nacional de Chimborazo, Universidad Técnica de Manabí y centros de Independent researcher, siendo actores claves para la generación de conocimientos científicos. Por otro lado, se evidenciaron cooperaciones internacionales con instituciones de países como España, Italia, Brasil y Venezuela que, con aportes metodológicos, análisis avanzados, desarrollo microbiano, validación de modelos y financiamiento han contribuido en el desarrollo de los estudios ecuatorianos.

Los resultados reflejan que, si bien existen grupos de investigación que abordan la temática de biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos en Ecuador, la colaboración entre autores no es aún significativa. Como se aprecia en la figura 12,

la mayoría de las coautorías están conformadas por pequeños grupos aislados, sin una red consolidada de interacción académica nacional. Esta fragmentación limita la posibilidad de conformar consorcios científicos robustos que impulsen agendas comunes de investigación interdisciplinaria.

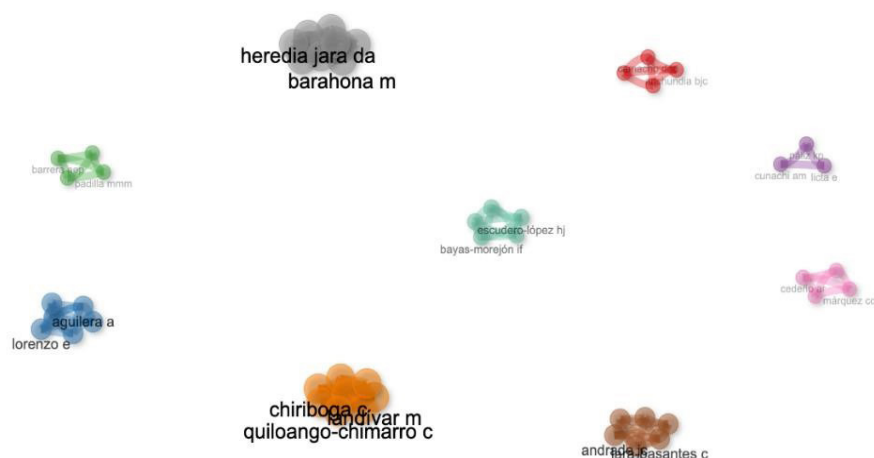


Figura 12. Coautorías de estudios de Ecuador

Por otro lado, la afiliación institucional revela que la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE), la Universidad Nacional de Chimborazo y la Universidad Técnica de Manabí lideran la producción científica en esta línea temática figura 13. También se evidencia una participación de investigadores independientes, lo cual puede interpretarse como una apertura del campo a diferentes modalidades de producción académica.

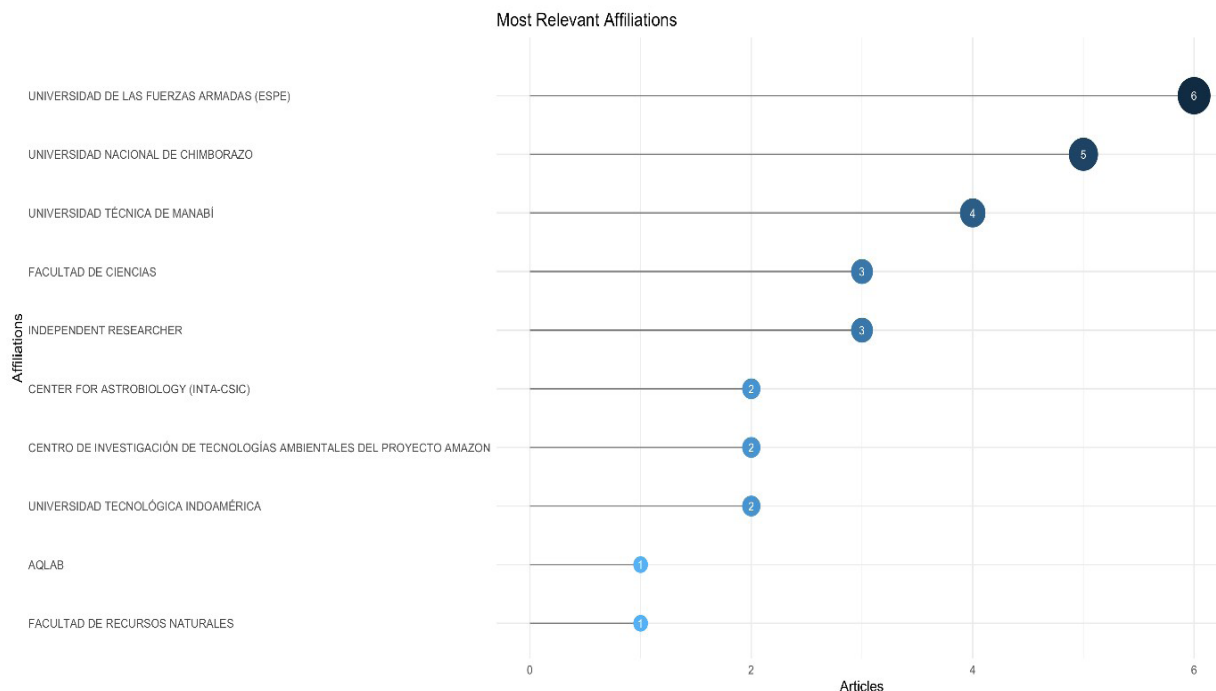


Figura 13. Afiliaciones Institucionales en publicaciones científicas de Ecuador

Y en un contexto más amplio, al comparar con el resto de Latinoamérica, se observa que instituciones como el Instituto Politécnico Nacional de México, la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco y la Universidad Técnica Federico Santa María de Chile concentran una producción científica considerablemente superior figura 14. Estas universidades destacan por su volumen de publicaciones, sino también por el establecimiento de redes cooperativas consolidadas, lo que representa un referente regional en cuanto a estrategias colaborativas y generación de conocimiento aplicado a la biorremediación.

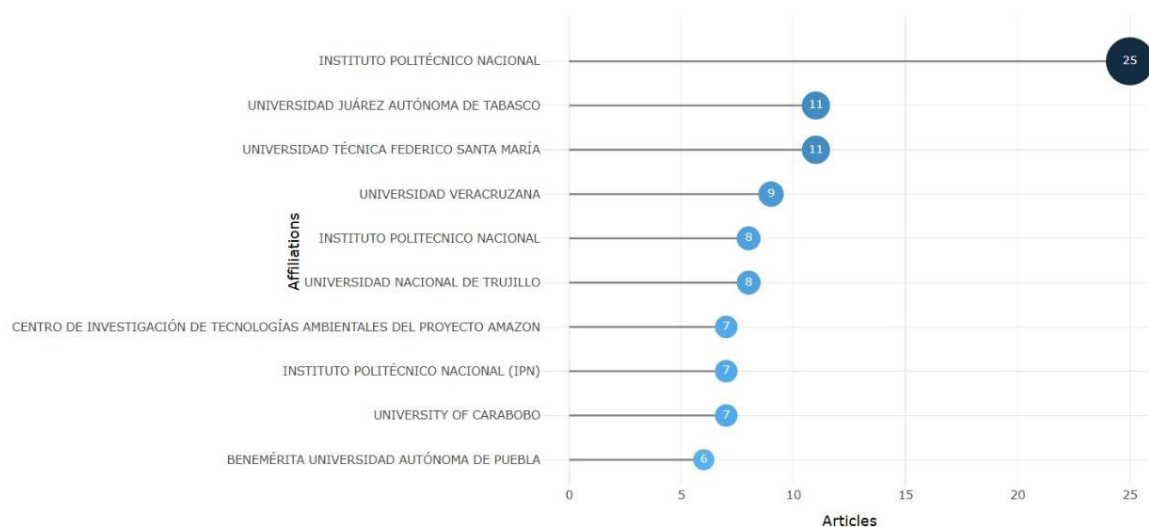


Figura 14. Afiliaciones más relevantes de estudios científicos sobre biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos en América Latina

Estos hallazgos permiten identificar la necesidad de fortalecer la cooperación institucional y científica en Ecuador, tanto a nivel nacional como internacional, a través de redes colaborativas que integren capacidades.

Tabla 6. Cooperaciones internacionales en los estudios de Ecuador		
Estudio	Países	Actividad
Orejuela-Romero et al. ⁽⁷⁾	Italia	Soporte metodológico. Análisis avanzados. Visibilidad académica.
Pozo-Rivera et al. ⁽²⁾	Brasil	Aporto con metodologías y análisis.
González-Toril et al. ⁽⁶⁾	España	Desarrollo microbiano. (Consorcio Riutort). Pruebas de laboratorio-Análisis genético. Financiamiento
García et al. ⁽¹⁰⁾	México	Aporte de conocimientos y experiencias.
García et al. ⁽¹¹⁾	Venezuela	Validación y desarrollo del modelo espectroscópico.



Figura 15. Mapa de la distribución de las cooperaciones Internacionales con los estudios de Ecuador

Este mapa mundial destaca las afiliaciones internacionales que Ecuador ha establecido importantes vínculos de cooperación científica con diversos países, como se observa en el Mapa de Colaboraciones Internacionales figura 15. La mayor intensidad de color sobre el territorio ecuatoriano refleja su rol central como país de origen de los estudios sobre biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos. Entre los países con los que se han identificado colaboraciones destacan España e Italia, cuyas instituciones han contribuido en aspectos metodológicos, análisis avanzados y validación de modelos. Asimismo, se evidencian

vínculos con naciones latinoamericanas como Brasil, México, Colombia y Venezuela, lo que refuerza una dinámica regional orientada a enfrentar problemáticas ambientales compartidas.

Estas alianzas científicas han permitido fortalecer las capacidades técnicas y académicas de los equipos ecuatorianos, propiciando un enfoque interdisciplinario y multicultural en el desarrollo de soluciones sostenibles.

Las fuentes científicas usadas en los estudios de biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos en Ecuador presentan un conjunto diverso de revistas, tanto especializadas en medio ambiente como multidisciplinarias. Las publicaciones se enfocaron en fuentes como Sustainability (Switzerland), PeerJ y Resources se encuentran en cuartil (Q1), lo que representa un buen respaldo científico y académico, siendo fuentes reconocidas y de alto impacto; la fuente que se encuentran en los cuartiles (Q2 y Q3) como de International Journal of Conservation Science representan una calidad científica aceptable y las revistas que se encuentran en el cuartil (Q4) son de menos impacto, generalmente tienen un proceso de revisión menos exigente.

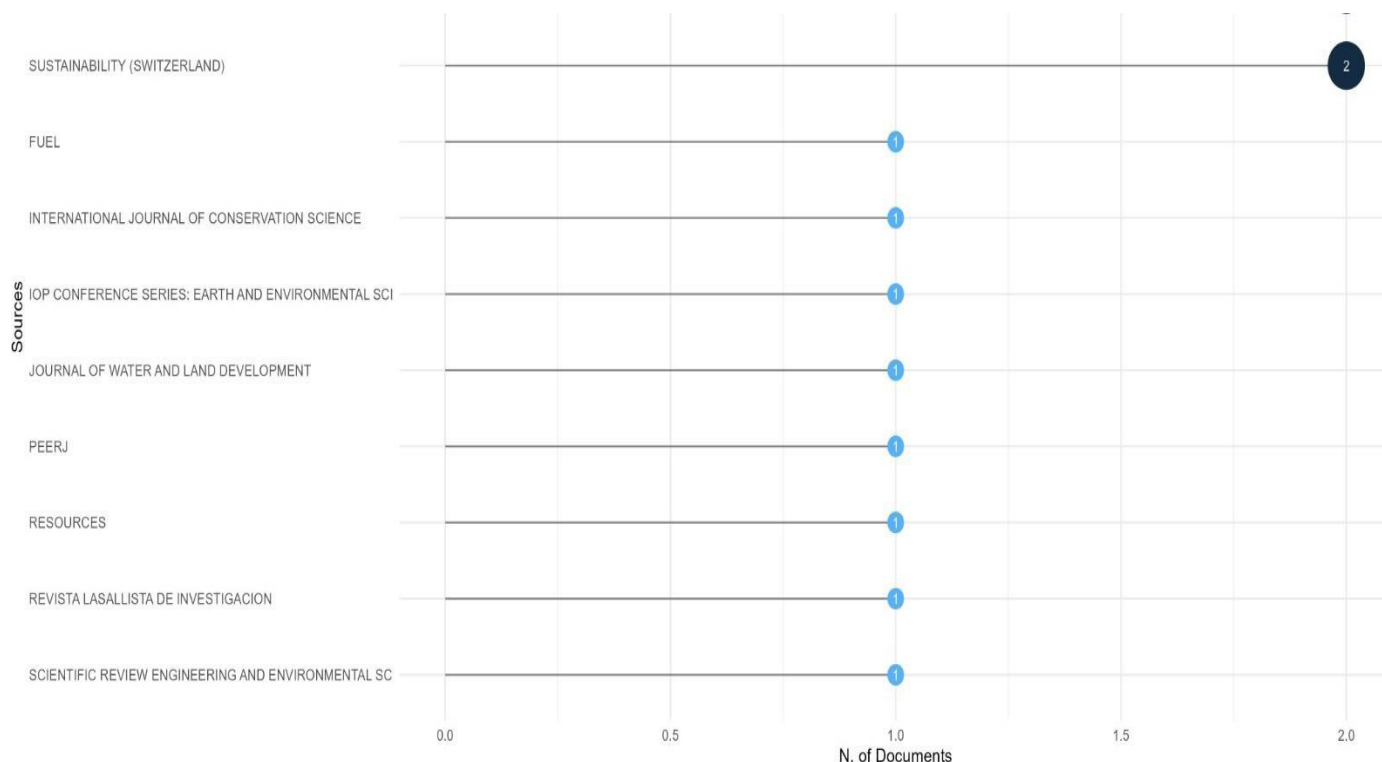


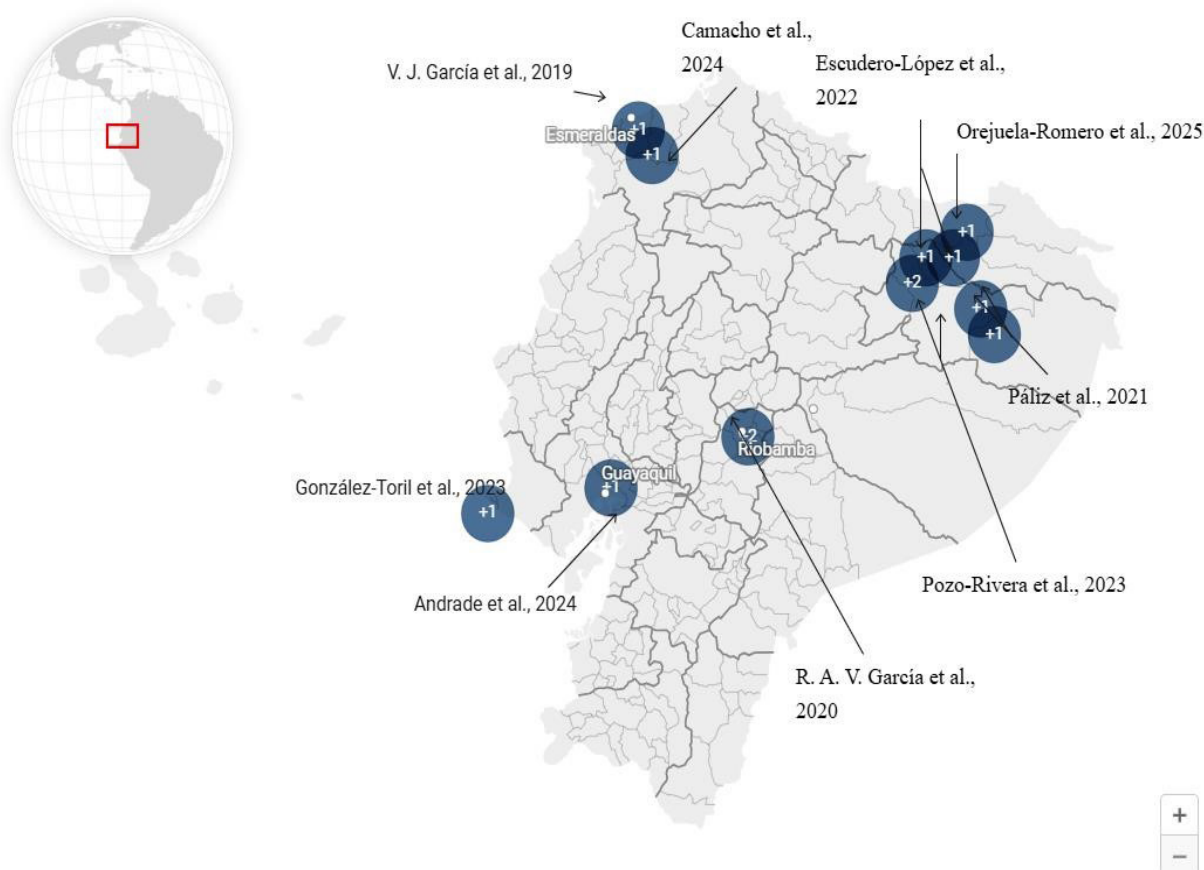
Figura 16. Fuentes principales de los estudios científicos de biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos en Ecuador

Tabla 7. Cuartiles en las fuentes estudios de biorremediación de suelos contaminados en Ecuador (2019-2025)

Estudio	Fuente	Cuartil
Orejuela-Romero et al. ⁽⁷⁾	Sustainability (Switzerland)	Q1
González-Toril et al. ⁽⁶⁾	PeerJ	
García et al. ⁽¹¹⁾	Resources	
Escudero et al. ⁽¹⁰⁾	Journal of Water and Land Development	Q2
Calderon-Tapia et al.	AIMS Environmental Science	
Pozo-Rivera et al. ⁽²⁾	Fuel	Q3
Páliz et al. ⁽⁹⁾	Scientific Review Engineering and Environmental Sciences	
García et al. ⁽¹⁰⁾	Revista Lasallista de Investigación	Q4

La figura 17 presenta la localización geográfica de los estudios realizados en el Ecuador sobre la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos. Se evidencia una mayor concentración de investigaciones en la región amazónica, particularmente en las provincias de Orellana y Sucumbíos, zonas históricamente impactadas por actividades petroleras. Esta alta recurrencia refleja tanto la gravedad de la problemática ambiental en estas áreas como el interés científico por proponer soluciones adaptadas al entorno.

En segundo orden, se destacan estudios en Esmeraldas, Guayas y Chimborazo, donde también se han implementado propuestas de laboratorio con implicaciones prácticas. La distribución es complementada por investigaciones en zonas específicas como la Isla Santay, lo que revela un esfuerzo por cubrir distintas realidades ecosistémicas del país.



DISCUSIÓN

En este estudio de investigación se permitió realizar un análisis crítico de la producción científica sobre biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos en Ecuador entre 2019 e inicios del 2025, con énfasis en sus tendencias metodológicas, autores implicados y redes de colaboración. Los resultados revelan, la calidad medida por los cuartiles y el impacto medida por citas esto demostró que aún dentro la comunidad científica global, son limitados, este crecimiento aún no se convierte en un desarrollo consolidado ni visible a nivel mundial. La mayoría de las investigaciones se concentran en pocas instituciones, el Ecuador hasta el momento presentan bajos niveles de citación en el ámbito académico de alto impacto, al trabajar únicamente con la base de datos Scopus, se visibiliza con mayor claridad la brecha que existe, la baja frecuencia de publicaciones en revistas de alto impacto, la débil construcción de redes de colaboración interinstitucional, esta realidad demuestra la necesidad urgente de fortalecer el desarrollo estructural. Aunque estos desafíos superan el alcance individual de una sola investigación, el presente trabajo aporta evidencia empírica que puede servir como insumo para políticas públicas, programas de formación, y decisiones institucionales orientadas a cerrar esta brecha que existe entre Ecuador y el mundo.

Uno de los hallazgos más relevantes de nuestro análisis en relación con las técnicas, que se aplican y destacan en los estudios de Ecuador, predomina la bioaumentación y la bioestimulación además se visualizan otras estrategias como fitorremediación, especialmente en zonas rurales o amazónicas. Entre los organismos más utilizados lidera las bacterias del género *Pseudomonas*, que está ampliamente distribuido por el mundo, pero también se ha identificado el uso de cepas bacterianas autóctonas adaptadas a las condiciones ecológicas locales. Además, varios estudios emplean residuos agroindustriales, como el bagazo de palma o la cascarilla de arroz, y aplican métodos de monitoreo mediante bioindicadores. Todo ello refleja una clara orientación hacia soluciones sostenibles, de bajo costo y contextualizadas, que responden a las necesidades socioambientales del país. Esta tendencia se alinea con enfoques internacionales que promueven el uso de recursos locales como elemento clave para la viabilidad técnica, ecológica y social de los procesos de biorremediación y se alinea con lo señalado por Hoang et al.⁽¹²⁾ quienes sostienen que la integración de materiales locales es fundamental para asegurar la viabilidad técnica, ecológica y social de los procesos de biorremediación en territorios vulnerables. Así, pese a las limitaciones en términos de impacto internacional, los enfoques metodológicos adoptados en Ecuador evidencian un camino propio y prometedor, que podría consolidarse mediante un mayor apoyo institucional y científico.

El compostajes combinados con consorcios bacterianos, son otro de los estudios fundamentales dentro de la investigación aplicada en biotecnología del contexto ambiental, ya que no solo buscan comprender fenómenos, sino probar y validar técnicas concretas que puedan ser utilizadas para resolver problemas ambientales reales, como lo hicieron Orejuela-Romero et al.⁽⁷⁾ y Camacho et al.⁽³⁾ los cuales están bien documentados y adaptados al contexto local. De manera complementaria, una revisión regional más amplia realizada por Darío et al.⁽¹³⁾ respalda esta tendencia, al evidenciar que la biorremediación es actualmente la técnica más empleada por su alta eficiencia, con tasas de remoción que oscilan entre el 8,1 % y el 96,4 %, dependiendo de la estrategia aplicada. En ese

análisis, se señala que las bacterias autóctonas representan el 25,9 % de las técnicas utilizadas, lo que guarda coherencia con los resultados encontrados en Ecuador, donde también predominan los microorganismos nativos como agentes clave en los procesos de bioremediación.

A pesar del crecimiento sostenido en la producción científica ecuatoriana sobre biorremediación, su volumen e impacto como ya se ha mencionado aún se encuentran por debajo de países como México, Brasil, Colombia y Chile, donde existen redes científicas consolidadas y mayor disponibilidad de financiamiento para investigación. Este contraste pone en evidencia la necesidad de fortalecer las capacidades estructurales y de cooperación científica en el país.

El análisis complementario de la literatura latinoamericana evidencia que, en al menos ocho países, se identifican buenas prácticas replicables, especialmente en el uso de técnicas combinadas como la bioaumentación con consorcios bacterianos y compostajes orgánicos. Por ejemplo, en Brasil, Rosa et al.⁽¹⁴⁾ documentan una alta eficiencia en la degradación de hidrocarburos mediante el uso de residuos agrícolas y bacterias autóctonas en ambientes amazónicos; en México, estudios como el de Cruz-Hernández et al.⁽¹⁵⁾ integran monitoreo biológico con técnicas de biorremediación, logrando tasas de remoción superiores al 80 %. Estas estrategias no solo evidencian la viabilidad técnica de la biorremediación, sino que ofrecen modelos que pueden ser adaptados al contexto ecuatoriano, particularmente en regiones rurales o amazónicas con limitaciones económicas y alta vulnerabilidad ambiental, reforzando así la validez del enfoque local y facilitando la identificación de buenas prácticas replicables desde otras realidades internacionales. especialmente en el uso de técnicas combinadas como la bioaumentación con consorcios bacterianos y compostajes orgánicos. Por ejemplo, iniciativas desarrolladas en Brasil, México y España han demostrado altos niveles de eficiencia en la remoción de hidrocarburos mediante el aprovechamiento de microorganismos autóctonos, residuos agrícolas y tecnologías complementarias como la espectroscopía o el monitoreo biológico. Estas estrategias no solo evidencian la viabilidad técnica de la biorremediación, sino que ofrecen modelos que pueden ser adaptados al contexto ecuatoriano, particularmente en regiones rurales o amazónicas con limitaciones económicas y alta vulnerabilidad ambiental, reforzando así la validez del enfoque local y facilitando la identificación de buenas prácticas replicables desde otras realidades internacionales.

Otro importante resultado que se ha encontrado en el desarrollo del análisis bibliométrico es el porcentaje considerable en la mayoría de las publicaciones ecuatorianas se encuentran en revistas de bajo impacto (Cuartil Q3 y Q4), lo que posiblemente se limite la observación e influencia de los estudios en un contexto internacional. Esta situación es similar en América Latina en el que Velásquez et al.⁽¹⁶⁾ ha desarrollado un análisis sobre las diferentes revistas indexadas en Scopus, Web of Science (WoS) señalando que, aunque haya crecientes, los índices de internacionalización son bajos, registrando una escasa colaboración internacional. Tal realidad manifiesta la necesidad de fortalecer la calidad científica, promover que las publicaciones sean indexadas en revistas de alto impacto (Cuartil Q1), y buscar colaboraciones internacionales.

Las instituciones que lideran los estudios ecuatorianos están, la universidad de las fuerzas armadas ESPE, Universidad Nacional de Chimborazo y centros de investigaciones con destacada participación en los estudios que tienen la finalidad de solucionar los grandes problemas ambientales. Países como España, México, Venezuela e Italia han sido participes en los estudios de Ecuador, aportando con conocimientos, análisis, tecnologías, el flujo de los datos, formación del capital humano, con el fin de buscar estrategias sostenibles. En Brasil se han creado iniciativas como Biota-FAPESP que han logrado la integración de instituciones académicas, gubernamentales, ONGs e incluso sectores privados en proyectos enfocados en mejoras ambientales.⁽¹⁴⁾ Ecuador podría ir aplicando este tipo de modelos a menor escala para permitir el fortalecimiento de consorcios, repositorios nacionales, encuentros entre autores o instituciones que tengan enfoques ambientales y biotecnológicos.

Otra observación destacada del análisis bibliométrico que fue muy notoria al visualizar el mapa de Ecuador y sus estudios, es la ausencia de investigaciones sobre biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos en la región sur del Ecuador. Esta ausencia no necesariamente indica una falta de contaminación ambiental, sino que puede responder a una orientación temática y territorial distinta de las investigaciones realizadas de esa zona. A diferencia del norte, centro y oeste del país donde la actividad petrolera ha tenido una fuerte presencia histórica y, por tanto, genera investigaciones enfocadas en hidrocarburos, el sur de Ecuador provincias como Loja, Zamora Chinchipe o El Oro ha estado más asociado a la minería metálica legal e ilegal, lo cual ha provocado una concentración de estudios centrados en la contaminación por metales pesados, como mercurio, plomo y arsénico, en cuerpos de agua y suelos.

En este contexto, la falta de publicaciones sobre hidrocarburos en el sur puede explicarse por la especialización temática de las instituciones y centros de investigación locales, los cuales responden a problemáticas ambientales prioritarias en sus territorios. Esto evidencia la necesidad de fomentar agendas de investigación más integrales y articuladas territorialmente, que consideren la diversidad de contaminantes y ecosistemas afectados a nivel nacional. Además, se sugiere impulsar investigaciones comparativas que analicen los impactos de distintos tipos de contaminación hidrocarburos vs. metales pesados en el suelo, con el fin de generar soluciones técnicas diferenciadas pero complementarias.

En definitiva, los hallazgos de este análisis bibliométrico no solo permiten comprender el estado actual de la investigación sobre biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos en Ecuador, sino que también abren líneas de reflexión sobre los desafíos estructurales, institucionales y científicos que enfrenta el país. Si bien se identifican avances metodológicos relevantes, una inclinación hacia prácticas sostenibles y una incipiente articulación internacional, los bajos niveles de citación, la concentración institucional del conocimiento, la escasa presencia en revistas de alto impacto y las brechas territoriales ponen de manifiesto la necesidad de consolidar un ecosistema de investigación más robusto, equitativo y articulado. Este trabajo, al ofrecer una visión crítica y respaldada por evidencia empírica, puede servir como insumo para la formulación de políticas científicas, el diseño de estrategias de financiamiento y el fortalecimiento de agendas territoriales e interinstitucionales, contribuyendo así para poder cerrar la brecha entre el conocimiento generado localmente y su inserción en el circuito científico global.

RECOMENDACIONES

Como línea de trabajo futuro, se sugiere ampliar este tipo de análisis bibliométrico incluyendo otras bases de datos científicas como Web of Science, RedALyC, SciELO o Google Scholar. Esto permitiría incorporar estudios relevantes que no aparecen en Scopus y ofrecer una visión más amplia y representativa de la producción científica ecuatoriana sobre biorremediación.

También es fundamental fomentar espacios de encuentro entre investigadores ecuatorianos, ya sea a través de congresos nacionales, seminarios, talleres o plataformas virtuales. Estos espacios pueden facilitar el intercambio de ideas, la construcción de proyectos conjuntos y el fortalecimiento de redes de colaboración entre universidades, centros de investigación y otras instituciones, tanto públicas como privadas. Una opción a considerar es el desarrollo de consorcios científicos similares al modelo de la red Biota en Brasil, que ha demostrado ser eficaz para articular esfuerzos interdisciplinarios.

Desde el ámbito estatal, se recomienda que instituciones como el Ministerio del Ambiente, Energía y Minas incluyan en su normativa ambiental las tecnologías de biorremediación desarrolladas por investigadores locales. Estas soluciones, al basarse en microorganismos autóctonos y tener costos accesibles, pueden ser clave para resolver problemas ambientales de manera sostenible y contextualizada.

Asimismo, sería conveniente establecer alianzas a largo plazo con universidades y centros de investigación de países con experiencia consolidada en esta área, como México, Brasil y España. Estas alianzas pueden favorecer el intercambio de conocimientos, recursos tecnológicos y metodologías.

Otro aspecto relevante es impulsar la publicación de los estudios ecuatorianos en inglés y en revistas científicas de alto impacto. Esto contribuiría a visibilizar internacionalmente el trabajo que se realiza en el país y a posicionar a Ecuador como un referente emergente en el campo de la biorremediación.

De igual forma, es importante valorar e integrar los saberes ancestrales y el conocimiento de las comunidades locales en el diseño e implementación de los proyectos de remediación. Estas comunidades, al convivir directamente con los impactos ambientales, poseen experiencias y prácticas que pueden enriquecer las soluciones tecnológicas desde una perspectiva intercultural y participativa.

Para fortalecer el acceso al conocimiento, se propone la creación de una plataforma digital pública en la que se puedan registrar y consultar los resultados experimentales, protocolos, artículos científicos, tesis y otros productos relacionados con la biorremediación en Ecuador. Esta base de datos debe ser de acceso libre y estar disponible para investigadores, estudiantes, tomadores de decisiones y ciudadanía en general.

Además, se recomienda que las universidades y centros educativos prioricen la formación de profesionales en áreas clave como microbiología ambiental, biotecnología, ciencias del suelo, química ambiental y conservación. Esto puede complementarse con políticas de becas, apoyo financiero para movilidad académica y fondos para la publicación de resultados científicos.

Finalmente, se sugiere establecer mecanismos de seguimiento periódico al menos cada tres años sobre la evolución de la producción científica en este campo. Esta evaluación permitiría identificar avances, desafíos persistentes y nuevas áreas de oportunidad, orientando así la toma de decisiones estratégicas con base en datos actualizados.

CONCLUSIONES

El presente estudio bibliométrico sobre biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos en Ecuador permitió evidenciar una evolución sostenida en la producción científica nacional entre 2019 y 2025, en relación al total de los 21 estudios, de los cuales, al aplicar un proceso riguroso de limpieza, validación análisis de relevancia, se seleccionaron 9 artículos científicos enfocados directamente al tema. Las principales tendencias de biorremediación sobre suelos contaminados con hidrocarburos en Ecuador, los resultados evidencian un crecimiento, con realce a partir del 2022 y 2023. Aunque aún mínima frente a otros países latinoamericanos como México o Brasil, este crecimiento muestra un compromiso creciente de la academia y centros de investigación por abordar problemáticas ambientales asociadas a la actividad petrolera, particularmente en la región amazónica.

Se planteó evaluar la evolución temporal y cuantificar el impacto mediante indicadores bibliométricos, se evidenció que si bien es cierto la producción ecuatoriana es modesta en términos cuantitativos, existen signos de consolidación a partir del 2021. A nivel regional, México es el país con más citaciones 142 seguido de Brasil con 132, lo que demuestra el alto trabajo de estos países de investigaciones científicas de biorremediación. En contexto ecuatoriano, el artículo con más citas fue el de Gonzales-Torres et al. con cinco citas, reflejando el bajo nivel de visibilidad de los estudios nacionales en comparación a los de países de América Latina. Sin embargo, este análisis indica una visibilidad de oportunidades para fortalecer la producción científica ecuatoriana a través de estrategias de publicaciones internacionales y cooperaciones académicas.

Las técnicas de mayor frecuencia en los estudios ecuatorianos fueron la bioaumentación, bioestimulación y fitorremediación, con un uso destacado de bacterias autóctonas, especialmente del género *Pseudomonas*. Este patrón coincide con las tendencias latinoamericanas, donde también se priorizan soluciones basadas en microorganismos locales por su eficiencia, bajo costo y adaptabilidad ecológica. Adicionalmente, la incorporación de residuos agroindustriales como el bagazo de palma o la cascarilla de arroz y el uso de tecnologías como la espectroscopía reflejan enfoques integradores, sostenibles e innovadores.

En el enfoque de análisis de red de coautorías y colaboraciones institucionales, se dedujo que los investigadores ecuatorianos tienden a trabajar de manera aislada, sin redes de coautorías consolidadas. No se evidenciaron patrones de coescritoras ni mecanismos que se note la integración entre universidades locales. Los resultados también destacan que, si bien existe producción académica en diversas regiones del país, esta se concentra principalmente en las provincias amazónicas y costeras afectadas por derrames, y está liderada por instituciones como la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE) y la Universidad Nacional de Chimborazo. No obstante, las publicaciones ecuatorianas se ubican predominantemente en revistas de cuartil Q3 y Q4, y muestran redes de colaboración científica aún limitadas, lo cual reduce su impacto e internacionalización. De los 9 artículos seleccionados se evidenció que las principales revistas tres como Sustainability, PeerJ y Resources se encuentran en niveles de alta calidad (Q1), y los demás estudios están en niveles

medios (Q2 y Q3) o de baja calidad (Q4). Estos resultados indican que existen una proporción significativa en revistas de alto impacto, en mayor proporción se encuentran en menor factor de visibilidad. Por ello la elección de revistas con mejor calidad pueden ayudar a que los estudios tengan mejor visibilidad nacional e internacional.

La comparación de estudios latinoamericanos permitió el reforzamiento de los diferentes hallazgos. Los filtros latinoamericanos identificaron patrones similares como las técnicas, donde bioaumentación y fitorremediación son las más usadas, así mismo el implemento de residuos orgánicos. Países como México y Brasil han logrado consolidar redes nacionales, lo que contrasta la realidad de Ecuador donde aún no existen plataformas formales de vinculaciones entre autores e instituciones académicas públicas o privadas.

De manera general, Ecuador presenta una creciente en estudio científicos, con enfoques metodológicos que se adaptan a las condiciones locales, pero enfrenta a importantes limitaciones en citaciones, colaboraciones locales e internacionales. Este trabajo de titulación ha evidenciado la urgente necesidad de fomentar redes de investigaciones, políticas institucionales que apoyen las publicaciones científicas, generar repositorios para autores nacionales y globales. De esta manera será posible ir consolidando un sistema de ciencia y biotecnología que respondan a los desafíos que presenta el país y de esta manera fortalecer soluciones sostenibles a la contaminación de suelos con hidrocarburos. La experiencia de programas regionales como Biota-FAPESP sugiere que Ecuador podría avanzar en la creación de redes de cooperación científica más sólidas, fomentando consorcios interinstitucionales y mayor visibilidad de sus estudios en foros globales.

FINANCIACIÓN

Los autores no recibieron financiación para el desarrollo de la presente investigación.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Conceptualización: Solange del Rocío Lituma Carriel.

Curación de datos: Solange del Rocío Lituma Carriel.

Análisis formal: Solange del Rocío Lituma Carriel.

Redacción – borrador original: Solange del Rocío Lituma Carriel.

Redacción – revisión y edición: Solange del Rocío Lituma Carriel.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Hidalgo-Lasso D, García-Villacís K, Urvina Ulloa J, Marín Tapia D, Gómez Ortega P, Coulon F. Updating risk remediation-endpoints for petroleum-contaminated soils? A case study in the Ecuadorian Amazon region. *Heliyon*. 2024;10(9).
2. Pozo-Rivera WE, Quiloango-Chimarro C, Paredes X, Landívar M, Chiriboga C, Villacís J, et al. Response of dung beetle diversity to remediation of soil ecosystems in the Ecuadorian Amazon. *PeerJ*. 2023;11.
3. Camacho DND, Macías TLS, Riera MA, Anchundia BJC. BIOREMEDIATION OF SOIL SAMPLES CONTAMINATED WITH CRUDE OIL USING RICE HUCK-BASED BIOCARBON (ORYZA SATIVA). *International Journal of Conservation Science*. 2024;15(2):1129–44.
4. Wei Z, Wei Y, Liu Y, Niu S, Xu Y, Wang JJ, et al. Biocharbased materials as remediation strategy in petroleum hydrocarbon-contaminated soil and water: Performances, mechanisms, and environmental impact. *Journal of Environmental Sciences China*. 2024;138:350–72.
5. Andrade JC, Mafla S, Riofrío K, Hernández J, Tobes I, Lara-Basantes C. Hydrocarbon tolerance evaluation of the microbiota associated with the Roystonea oleracea palm from Santay Island (Ecuador). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2024;1434(1).
6. González-Toril E, Aguilera A, Permanyer A, Gallego JR, Márquez G, Lorenzo E. Metagenomic analysis of the microbial community at the Riutort oil shale mine (NE Spain): Potential applications in bioremediation and enhanced oil recovery. *Fuel*. 2023;349.
7. Orejuela-Romero JA, Herrera Cuadrado ZV, Heredia Jara DA, Núñez Moreno MS, Santillán-Quiroga LM, Barahona M, et al. Oil Palm Bagasse as a Treatment for Soils Contaminated with Total Petroleum Hydrocarbons. *Sustainability Switzerland*. 2025;17(2).
8. Escudero-López HJ, Jácome-Pilco CR, Sanaguano-Salguero HDR, Bayas-Morejón IF, Serrano-Carrillo KA. Bacterial selection of the Pseudomonas genus with the capacity to treat water and contaminated soils. *Journal of Water and Land Development*. 2022;(53):238–41.
9. Páliz KP, Licta E, Cunachi AM. Reduction of the soil environmental impact caused by the presence of total petroleum

hydrocarbons (TPH) by using *Pseudomonas* sp. Scientific Review Engineering and Environmental Sciences. 2021;30(4):573–84.

10. García RAV, Barrera AEP, Taco CWT, Padilla MMM. Bioremediation of soils contaminated with hydrocarbons based on bacteria used as bioproducts | Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos a base de bacterias utilizadas como bioproductos. Revista Lasallista De Investigacion. 2020;17(1):177–87.

11. García VJ, Márquez CO, Cedeño AR, Montesdeoca KG. Assessing bioremediation of soils polluted with fuel oil 6 by means of diffuse reflectance spectroscopy. Resources. 2019;8(1).

12. Hoang SA, Seshadri B, Bolan NS, Sarkar B, Lamb D, Vinu A, et al. Mitigation of petroleum-hydrocarbon-contaminated hazardous soils using organic amendments: A review. Journal of Hazardous Materials. 2021;416.

13. Darío T, Velásquez M, Velasquez M. Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos en Latinoamérica: revisión entre 2010-2023. Revista Estudios Ambientales. 2024;12(1):27–43.

14. Rosa C, Baccaro F, Cronemberger C, Hipólito J, Barros CF, De Jesus Rodrigues D, et al. The program for biodiversity research in Brazil: The role of regional networks for biodiversity knowledge, dissemination, and conservation. Anais Da Academia Brasileira de Ciencias. 2021;93(2).

15. Cruz-Hernández MA, Reyes-Peralta J, Mendoza-Herrera A, Rivera G, BocanegraGarcía V. Characterization of a microbacterium sp. Strain isolated from soils contaminated with hydrocarbons in the Burgos Basin, Mexico | Caracterización de una cepa de microbacterium sp. Aislada en suelos contaminados con hidrocarburos de la cuenca de Burgos, Méx. Revista Internacional De Contaminacion Ambiental. 2021;37:227–35.

16. Velásquez TDM, Tocuy O DDJA. Latin American Environmental Journals in Scopus and WoS in 2019: Relationship with Environmental Indicators. Bibliotecas. 2021;39(2).