

UNEMI

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
FACULTAD DE POSGRADO

INFORME DE INVESTIGACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

MAGÍSTER EN BIOTECNOLOGÍA

TEMA:

Análisis bibliométrico de la investigación sobre contaminación por metales pesados en sedimentos fluviales y su aplicación en el estudio de los sedimentos del río Teaone, de la ciudad de Esmeraldas.

Autor:

ING. ANA NICOLE GALLÓN DÍAZ

Director:

Dr. GUEVARA VIEJÓ JORGE FABRICIO

Milagro, 2025

Derechos de autor

Sr. Dr.
Fabricio Guevara Viejó
Rector de la Universidad Estatal de Milagro
Presente.

Yo, **Ana Nicole Gallón Díaz** en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de este informe de investigación, mediante el presente documento, libre y voluntariamente cedo los derechos de Autor de este proyecto de desarrollo, que fue realizada como requisito previo para la obtención de mi Grado, de **Magíster en Biotecnología**, como aporte a la Línea de Investigación **Gestión Ambiental y Evaluación de Riesgos** de conformidad con el Art. 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, concedo a favor de la Universidad Estatal de Milagro una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservo a mi favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizo a la Universidad Estatal de Milagro para que realice la digitalización y publicación de este Proyecto de Investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

El autor declara que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.

Milagro, 17 de junio del 2025

Ana Nicole Gallón Díaz
080451861-1

Aprobación del tutor del Trabajo de Titulación

Yo, **Jorge Fabricio Guevara Viejo** en mi calidad de director del trabajo de titulación, elaborado por **Ana Nicole Gallón Díaz** cuyo tema es **Análisis bibliométrico de la investigación sobre contaminación por metales pesados en sedimentos fluviales y su aplicación en el estudio de los sedimentos del río Teaone, de la ciudad de Esmeraldas**, que aporta a la Línea de Investigación **Gestión Ambiental y Evaluación de Riesgos** previo a la obtención del Grado **Magíster en Biotecnología**. Trabajo de titulación que consiste en una propuesta innovadora que contiene, como mínimo, una investigación exploratoria y diagnóstica, base conceptual, conclusiones y fuentes de consulta, considero que el mismo reúne los requisitos y méritos necesarios para ser sometido a la evaluación por parte del tribunal calificador que se designe, por lo que lo **APRUEBO**, a fin de que el trabajo sea habilitado para continuar con el proceso de titulación de la alternativa de Informe de Investigación de la Universidad Estatal de Milagro.

Milagro, 17 de junio del 2025



Firmado electrónicamente por:
**JORGE FABRICIO
GUEVARA VIEJO**
Validar únicamente con FirmaEC

PhD. Jorge Fabricio Guevara Viejo

0917882961

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
FACULTAD DE POSGRADO
ACTA DE SUSTENTACIÓN
MAESTRÍA EN BIOTECNOLOGÍA

En la Facultad de Posgrado de la Universidad Estatal de Milagro, a los veintiocho días del mes de julio del dos mil veinticinco, siendo las 11:30 horas, de forma VIRTUAL comparece el/la maestrante, ING. GALLON DIAZ ANA NICOLE, a defender el Trabajo de Titulación denominado " **ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO DE LA INVESTIGACIÓN SOBRE CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN SEDIMENTOS FLUVIALES Y SU APLICACIÓN EN EL ESTUDIO DE LOS SEDIMENTOS DEL RÍO TEAONE, DE LA CIUDAD DE ESMERALDAS.**", ante el Tribunal de Calificación integrado por: Ph.D. VALENZUELA COBOS JUAN DIEGO, Presidente(a), Msc GARCES MONCAYO MARÍA FERNANDA en calidad de Vocal; y, Dra. NORIEGA VERDUGO DELIA DOLORES que actúa como Secretario/a.

Una vez defendido el trabajo de titulación; examinado por los integrantes del Tribunal de Calificación, escuchada la defensa y las preguntas formuladas sobre el contenido del mismo al maestrante compareciente, durante el tiempo reglamentario, obtuvo la calificación de: **98.67** equivalente a: **EXCELENTE**.

Para constancia de lo actuado firman en unidad de acto el Tribunal de Calificación, siendo las 12:30 horas.



Ph.D. VALENZUELA COBOS JUAN DIEGO
PRESIDENTE/A DEL TRIBUNAL



Msc GARCES MONCAYO MARÍA FERNANDA
VOCAL



Dra. NORIEGA VERDUGO DELIA DOLORES
SECRETARIO/A DEL TRIBUNAL



ING. GALLON DJAZ ANA NICOLE
MAGÍSTER

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a Dios, por ser mi guía en cada paso, por darme fortaleza en los momentos difíciles y por llenar mi vida de oportunidades y propósitos. Sin su voluntad, nada de esto habría sido posible.

A mi familia, por su amor incondicional, su apoyo constante y sus palabras de aliento que me impulsaron a seguir adelante.

A mi madre por ser el pilar fundamental y apoyo incondicional en todo momento para lograr esta meta. Gracias por creer en mí.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo representa no solo el cierre de una etapa académica, sino también el reflejo del esfuerzo, la fe y el amor que me han acompañado en este camino.

A Dios, por ser mi fuerza en los momentos de cansancio y mi luz cuando el camino parecía incierto. Gracias por cada oportunidad, cada aprendizaje y cada día que me regalaste para seguir adelante.

A mi familia, por ser mi pilar más firme. A mi madre, por su inmenso amor, por sus sacrificios y por enseñarme con el ejemplo el valor de la perseverancia y la humildad.

A mis tías y primos, por su cariño constante y por estar presentes en cada etapa de mi vida.

A mi novio, por su apoyo incondicional, su paciencia en los momentos difíciles y por caminar a mi lado con amor y comprensión.

A mi tutor por el apoyo y guía para el desarrollo de este trabajo.

A todos ustedes, gracias por ser parte de este logro.

Resumen

La polución de los sedimentos de los ríos por metales pesados constituye una creciente amenaza para el medio ambiente, debido a su persistencia en el ecosistema y sus efectos en la salud de los organismos vivos. En Ecuador, este fenómeno ha recibido escaso estudio, especialmente en zonas como la cuenca del río Teaone y la ciudad de Esmeraldas, donde hay historial de contaminación debido a actividades industriales.

Esta investigación adoptó un enfoque mixto, documental y transversal, basado en el análisis bibliométrico de 35 publicaciones científicas nacionales comprendidas entre los años 2015 y 2025. La búsqueda se realizó en bases de datos académicas como Scopus y Web of Science, utilizando combinaciones de términos como: “metales pesados” AND “sedimentos fluviales” AND “Ecuador”. Para el análisis de los datos se emplearon las herramientas *VOSviewer* y *Bibliometrix* (RStudio), con el fin de identificar tendencias temáticas, actores relevantes y vacíos en la literatura.

Los hallazgos mostraron un incremento gradual en la producción científica desde 2019, una implicación enfocada en escasos investigadores e instituciones, y una cobertura temática enfocada principalmente en efectos mineros. La zona litoral, en particular el río Teaone, está poco representada en los estudios evaluados.

El análisis permitió generar una visión integral sobre el desarrollo del conocimiento científico nacional en esta temática, aportando bases para futuras investigaciones y estrategias de monitoreo ambiental.

Palabras clave: Metales pesados, Sedimentos fluviales, Contaminación, Bibliometría, Gestión ambiental.

Abstract

The pollution of river sediments by heavy metals is a growing threat to the environment, due to its persistence in the ecosystem and its effects on the health of living organisms. In Ecuador, this phenomenon has received little study, especially in areas such as the Teaone river basin and the city of Esmeraldas, where there is a history of contamination due to industrial activities.

This research adopted a mixed, documentary and cross-sectional approach, based on the bibliometric analysis of 35 national scientific publications comprised between the years 2015 and 2025. The search was conducted in academic databases such as Scopus and Web of Science, using combinations of terms such as: “heavy metals” AND “fluvial sediments” AND “Ecuador”. The VOSviewer and Bibliometrix (RStudio) tools were used to analyze the data in order to identify thematic trends, relevant factors and gaps in the literature.

The findings showed a gradual increase in scientific production since 2019, an involvement focused on few researchers and institutions, and a thematic coverage focused mainly on mining effects. The littoral zone, in particular the Teaone River, is poorly represented in the evaluated studies.

The analysis allowed us to generate an integral vision of the development of national scientific knowledge on this subject, providing a basis for future research and monitoring strategies.

Key-words: Heavy metals, Fluvial sediments, Contamination, Bibliometrics, Environmental management.

Lista de Figuras

Figura 1. Número de publicaciones relacionadas con la contaminación por metales pesados en sedimentos fluviales en Ecuador, período 2015 – 2025.....	31
Figura 2. Tipo de publicaciones realizadas sobre contaminación por metales pesados en sedimentos fluviales en Ecuador, período 2015 – 2025	32
Figura 3. Revistas con mayor número de publicaciones relacionadas con la contaminación por metales pesados en sedimentos fluviales en Ecuador, período 2015 – 2025.	33
Figura 4. Publicaciones más citadas en Ecuador relacionadas con la contaminación por metales pesados en sedimentos fluviales, con énfasis en estudios aplicados al río Teaone, Esmeraldas, período 2015 – 2025.	34
Figura 5. Autores con mayor producción científica en Ecuador sobre metales pesados en sedimentos fluviales, 2015–2025.....	35
Figura 6. Redes de coautoría entre investigadores en Ecuador.	36
Figura 7. Instituciones ecuatorianas con mayor producción científica en el área, 2015–2025.	37
Figura 8. Principales palabras clave utilizadas en las publicaciones sobre contaminación por metales pesados en sedimentos fluviales en Ecuador, período 2015 – 2025.	38
Figura 9. Mapa de coocurrencia de palabras clave o clústeres temáticos.	39

Lista de Tablas

Tabla 1. Revisión de estudios en relación de la polución de sedimentos de los cauces fluviales por metales pesados	14
---	----

Índice / Sumario

Derechos de autor.....	II
Aprobación del tutor del Trabajo de Titulación.....	III
Aprobación del tribunal calificador.....	IV
Dedicatoria.....	V
Agradecimientos.....	VI
Resumen.....	VII
Abstract.....	VIII
Introducción.....	1
CAPÍTULO I: El Problema de la Investigación.....	4
1.1. Planteamiento del problema.....	4
1.2. Delimitación del problema.....	5
1.3. Formulación del problema.....	6
1.4. Preguntas de investigación.....	7
1.5. Objetivos.....	7
1.5.1 Objetivo general.....	7
1.5.2 Objetivos específicos.....	7
1.6. Hipótesis.....	8
1.6.1. Hipótesis Nula.....	8
1.6.2. Hipótesis Alternativa.....	8
1.7. Justificación.....	9
1.8. Declaración de las variables (Operacionalización).....	9
1.8.1. Variables Independiente.....	9
1.8.2. Variable Dependiente.....	10
CAPÍTULO II: Marco Teórico Referencial.....	11
2.1. Antecedentes Referenciales.....	11
2.1.1. Investigaciones Internacionales.....	11
2.1.2. Relevancia de la cooperación internacional en el estudio de c.....	11
2.1.3. Investigaciones Naciones en Ecuador.....	11

2.1.4. Tendencias en la Investigación	11
2.1.5. Vacíos en la Literatura	15
2.2. Marco Conceptual.....	15
2.2.1. Contaminación por Metales Pesados	15
2.2.2. Sedimentos Fluviales.....	17
2.2.3. Bibliometría	17
2.2.4. Impacto Ecológico y Sanitario de la Contaminación por Metales P.	17
2.2.5. Vacíos en la Literatura Científica Nacional	17
2.3. Marco Teórico.....	20
2.3.1. Teoría de la Contaminación por Metales Pesados.....	20
2.3.2. Impacto de la Contaminación por Metales Pesados en los Sediemntos Fluviales.....	20
2.3.3. El Papel de Iso Sediementos Fluviales en la Evaluación Ambiental	20
2.3.4. La Bibliometría como Método de Invetsigación Científica.....	23
2.3.5. Los Vacíos en la Invetsigación Científica Nacional	20
2.3.6. Posicionamiento Teórico-epistemológico del Estudio.....	20
CAPÍTULO III: Diseño Metodológico.....	26
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	26
3.2. La población y la muestra.....	27
3.3. Los métodos y las técnicas	28
3.4. Procesamiento estadístico de la información.....	30
CAPÍTULO IV: Análisis e Interpretación de Resultados.....	31
4.1. Análisis e Interpretación de Resultados.....	31
CAPÍTULO V: Conclusiones, Discusión y Recomendaciones.....	41
5.1. Discusión	41
5.2. Conclusiones	43
5.3. Recomendaciones.....	46
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48

ANEXOS..... 52

UNEMI

Introducción

La contaminación por metales pesados en sedimentos de ríos se ha transformado en un asunto ambiental de preocupación creciente a escala mundial, debido a la persistencia, toxicidad y capacidad de bioacumulación de estos componentes en los ecosistemas acuáticos (Förstner & Wittmann, 2012). Los sedimentos funcionan como reservorios y portadores de contaminantes, con la capacidad de liberar metales del agua bajo alteraciones fisicoquímicas, impactando la calidad del medio ambiente y la biota acuática (Salomons & Förstner, U., 1984). El estudio de esta problemática es esencial para comprender la dinámica de los contaminantes, su influencia en la biodiversidad y su repercusión en las comunidades humanas que dependen de los recursos de agua (López-Maldonado, 2022).

En los últimos años, la investigación sobre metales pesados en sedimentos ha experimentado un notable crecimiento, impulsada por el incremento de actividades industriales, agrícolas y urbanas que generan descargas de contaminantes a los ríos (Peng, 2018). Sin embargo, esta producción científica se encuentra dispersa en múltiples disciplinas, lo que hace necesario realizar análisis bibliométricos que permitan sistematizar el conocimiento existente, identificar tendencias de investigación, áreas prioritarias y vacíos de estudios (Donthu N. e., 2021). El análisis bibliométrico constituye así una herramienta metodológica clave para evaluar de manera cuantitativa la evolución de un campo científico y orientar futuras investigaciones de manera más eficiente.

En el caso del río Teaone, en la ciudad de Esmeraldas, ubicada en Ecuador, ilustra de manera clara la problemática de contaminación por metales pesados. Diversos

estudios han reportado la presencia significativa de plomo (Pb), cadmio (Cd) y mercurio (Hg) en los sedimentos del Teaone, atribuidos principalmente a descargas industriales, vertidos urbanos sin tratamiento y actividades portuarias (Betún & Illapa, J, 2023). La universidad de Cuenca (2017) documentó la acumulación de metales pesados en el río Teaone, encontrando niveles que superan los límites permisibles establecidos por normas internacionales. Además, informes periodísticos han evidenciado episodios de mortalidad masiva de peces, lo que refleja alteraciones severas en la calidad del agua y daños a la biodiversidad (La Hora, 2022).

Entre las principales causas de esta contaminación se encuentra la falta de sistemas de tratamiento de aguas residuales en Esmeraldas, el crecimiento urbano no planificado, la descarga directa de residuos industriales, y las actividades económicas informales a lo largo del río (Cedeño, Cabrera, L, & Mendoza, J, 2020).

Estas condiciones favorecen la movilización y acumulación de metales pesados en los sedimentos, generando riesgos tanto ecológicos como sanitarios para las poblaciones humanas que utilizan el agua del río para el consumo, la pesca y la recreación.

Frente a este escenario, surge la necesidad de desarrollar investigaciones que no caractericen la magnitud de la contaminación del río Teaone, sino que también contextualicen estos hallazgos dentro del marco global de la investigación científica sobre el tema. Por ello, este proyecto plantea como problema de investigación la falta de una sistematización adecuada del conocimiento científico sobre contaminación por metales pesados en sedimentos fluviales, así como la limitada implementación de estos saberes al caso particular del río Teaone.

Para abordar este problema, se sugiere un diseño metodológico combinado que incluye dos etapas fundamentales. Primero, se llevará a cabo un estudio bibliométrico de la producción científica nacional relacionada con metales pesados en sedimentos de ríos, empleando bases de datos reconocidas como *Scopus* y *Web of Science*. Para el tratamiento y visualización de los datos bibliométricos se emplearán herramientas como *VOSviewer* y *Bibliometrix* (Aria & Cuccurullo, C, 2017).

Esta etapa permitirá identificar los principales temas de investigación, autores más relevantes, redes de colaboración y tendencias emergentes en el área. En segundo lugar, se realizará un estudio específico en el río Teaone, realizando un análisis profundo de investigaciones sobre la contaminación de sedimentos del Teaone a causa de los metales pesados.

En resumen, el presente trabajo busca contribuir al conocimiento científico sobre la contaminación por metales pesados en sedimentos fluviales, a través de un análisis bibliométrico, con ello se logrará proporcionar datos esenciales que apoyen el proceso de toma de decisiones para la recuperación ambiental del río Teaone en la ciudad de Esmeraldas.

CAPÍTULO I: El Problema de la Investigación

1.1. Planteamiento del problema

Los sedimentos de los ríos juegan un rol crucial en los ecosistemas acuáticos, actuando como depósitos de contaminantes que evidencian el efecto acumulativo de las actividades humanas en las cuencas de los ríos (Wang, Zhang, et al., 2019). Los metales pesados entre los contaminantes más relevantes, destacan por su persistencia, toxicidad y tendencia a la bioacumulación, representando un riesgo significativo para la biodiversidad acuática y la salud de las personas. Aunque en diversas regiones del mundo se han implementado estrategias de monitoreo y control, persisten vacíos de información en países latinoamericanos, donde los estudios sobre la contaminación de sedimentos son aún limitados (Yuan, y otros, 2021).

La creciente producción científica sobre metales pesados en sedimentos fluviales ha permitido identificar tendencias de investigación, áreas críticas de impacto y avances metodológicos relevantes (Donthu N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M., 2021). No obstante, estos datos están dispersos en varias fuentes y no están sistematizados, lo que complica su empleo práctico en la toma de decisiones medioambientales. Los análisis bibliométricos surgen como una herramienta fundamental para ordenar este conocimiento, evaluar su evolución histórica, y detectar brechas o temas emergentes que requieren mayor atención.

El río Teaone simboliza una circunstancia alarmante en el Ecuador, este se encuentra situado en la ciudad de Esmeraldas, atraviesa zonas densamente pobladas e industrializadas, recibiendo aportes de contaminantes de diversas fuentes, como descargas domésticas, actividades portuarias y procesos industriales (Betún & Illapa,

J, 2023). Recientes investigaciones señalan la existencia de metales pesados como plomo (Pb) y cadmio (Cd) que exceden los límites sugeridos para preservar los ecosistemas acuáticos, exponiendo tanto la salud ambiental como el bienestar de las comunidades vecinas. (Cedeño, Cabrera, L, & Mendoza, J, 2020). Sin embargo, estos estudios son aislados y carecen de un marco comparativo nacional que permita dimensionar adecuadamente la gravedad del problema.

Ante este escenario, surge la necesidad de estudiar sistemáticamente el estado de la investigación nacional referente a la contaminación de sedimentos por metales pesados y aplicar dicho conocimiento para el diagnóstico ambiental del río Teaone. Esta estrategia permitirá contextualizar el caso de estudio en un marco más amplio, identificar métodos de evaluación más adecuados y establecer bases sólidas para futuras acciones de mitigación. Así, el problema de investigación se define en dos niveles: por un lado, la carencia de un análisis bibliométrico exhaustivo de la producción científica sobre la temática; y por otro, la necesidad de evaluar la contaminación actual del río Teaone mediante un enfoque comparativo y basado en evidencia científica.

Este planteamiento busca establecer una base sólida para entender tanto el panorama general de la investigación en esta área como la situación particular del río Teaone, permitiendo orientar de manera más efectiva futuras investigaciones y políticas ambientales en la región.

1.2. Delimitación del problema

Se realiza un análisis bibliométrico de la producción científica sobre contaminación por metales pesados en sedimentos fluviales, publicada en los últimos 10 años (2015–

2025). El objetivo es identificar las principales tendencias de investigación, autores, instituciones, temas recurrentes y métodos más utilizados, mediante el uso de herramientas bibliométricas como *VOSviewer* y *Bibliometrix*. La delimitación temática se enfoca exclusivamente en estudios que abordan metales pesados como plomo, cadmio, mercurio y arsénico en sedimentos de ríos y cuerpos de agua dulce.

La aplicación de los resultados se orienta a contextualizar el caso del río Teaone en Esmeraldas, un sistema fluvial afectado históricamente por actividades industriales y urbanas que han generado preocupación ambiental. Sin embargo, este trabajo no realizará mediciones directas ni análisis físico-químicos, sino que tomará como referencia estudios previos disponibles y tendencias nacionales detectadas a través del análisis bibliométrico. De esta manera, se busca establecer un marco teórico actualizado que sirva de base para futuras investigaciones ambientales en la región.

1.3. Formulación del problema

La contaminación de sedimentos fluviales por metales pesados es un problema ambiental creciente que ha motivado numerosas investigaciones a nivel nacional. Sin embargo, no existe una sistematización clara de las tendencias, enfoques y vacíos de investigación en este campo. Para el caso del río Teaone, en Esmeraldas, los datos acerca de la contaminación son limitados y fragmentados. Por lo tanto, se presenta la necesidad de llevar a cabo realizar un análisis bibliométrico que facilite responder la interrogante: ¿Qué tendencias, actores principales y vacíos de investigación caracterizan la producción científica sobre contaminación de sedimentos fluviales por metales pesados, y de qué manera este conocimiento puede guiar futuras investigaciones en el río Teaone?

1.4. Preguntas de investigación

Basándonos en este problema, se formulan las siguientes preguntas de investigación:

1. ¿Cómo ha evolucionado la producción científica nacional sobre la contaminación por metales pesados en sedimentos fluviales en los últimos años?
2. ¿Cuáles son los enfoques, metodologías y actores principales que han liderado la investigación sobre metales pesados en sedimentos fluviales en el ámbito nacional?
3. ¿Qué hallazgos del análisis bibliométrico de la investigación nacional pueden aplicarse al estudio y gestión de la contaminación por metales pesados en el río Teaone, en Esmeraldas?

1.5. Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Efectuar un análisis bibliométrico de las investigaciones científicas nacionales acerca de la polución por metales pesados en sedimentos de ríos, con el propósito de determinar las tendencias predominantes de investigación y los métodos más utilizados, y aplicar estos descubrimientos en el contexto de los sedimentos del río Teaone, en la ciudad de Esmeraldas.

1.5.2 Objetivos específicos

1. Analizar la evolución temporal de la investigación sobre la contaminación por metales pesados en sedimentos fluviales a nivel nacional,

- identificando las principales publicaciones, autores e instituciones involucradas.
2. Determinar y categorizar las técnicas más empleadas en las investigaciones sobre la contaminación por metales pesados en sedimentos de ríos en el ámbito nacional, resaltando los métodos más utilizados.
 3. Aplicar los hallazgos de la investigación bibliométrica para recomendar áreas de futuros análisis y del estudio bibliométrico para plantear áreas de análisis futuros y manifestar estrategias de administración ambiental en el río Teaone, fundamentándose en las tendencias y vacíos identificados en la bibliografía científica nacional.

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis Nula

No existe una evolución significativa en la producción científica nacional sobre la contaminación por metales pesados en sedimentos fluviales en los últimos años, y los enfoques y metodologías utilizadas en la investigación no muestran tendencias claras que puedan aplicarse a la gestión de los sedimentos del río Teaone, en Esmeraldas.

1.6.2. Hipótesis Alternativa

La producción científica nacional sobre la contaminación por metales pesados en sedimentos fluviales ha mostrado una evolución significativa en los últimos años, resaltando tendencias metodológicas y enfoques que pueden utilizarse directamente para el análisis y el manejo de los sedimentos contaminados del río Teaone, en la ciudad de Esmeraldas.

1.7. Justificación

La contaminación por metales pesados en sedimentos fluviales constituye una amenaza para la salud pública y el equilibrio ambiental debido a la acumulación y persistencia de estos elementos. En Ecuador, varios ríos atraviesan zonas industriales, mineras y urbanas, facilitando la presencia de contaminantes como plomo, cadmio, mercurio y arsénico. Sin embargo, existe poca sistematización de la investigación nacional que aborde esta problemática de manera integral.

Por esta razón, este análisis propone como principal necesidad llevar a cabo un análisis bibliométrico de la producción científica nacional acerca de la contaminación por metales pesados en sedimentos de ríos. Este análisis permitirá identificar avances, enfoques metodológicos y vacíos en la investigación, sirviendo de base para futuras acciones académicas y de gestión ambiental.

La importancia de este trabajo radica en su aporte al conocimiento aplicado, especialmente para el caso del río Teaone en Esmeraldas, un ecosistema afectado por actividades humanas y con limitada información disponible. Además, el análisis bibliométrico se presenta como una estrategia eficaz para conocer el estado actual del conocimiento y orientar nuevas investigaciones en contextos donde el monitoreo ambiental directo es restringido.

1.8. Declaración de las variables (Operacionalización)

En esta investigación, se identifican dos tipos de variables:

1.8.1. Variables Independiente

Corresponde a las características temáticas y geográficas de las investigaciones científicas sobre contaminación por metales pesados en sedimentos fluviales. Esta incluye aspectos como los tipos de metales estudiados (plomo, cadmio, mercurio, arsénico, entre otros), los enfoques

metodológicos empleados (estudios experimentales, modelaciones, revisiones bibliográficas), las zonas geográficas abordadas, así como el abordaje ambiental y académico que presentan los documentos analizados.

1.8.2. Variable Dependiente

Producción científica nacional relacionada con la contaminación por metales pesados en sedimentos fluviales. Se toman en consideración indicadores como: publicaciones por año, las palabras clave más utilizadas, los autores e instituciones más productivas, el tipo de documento publicado y la frecuencia con que se mencionan casos específicos como el del río Teaone.

CAPÍTULO II: Marco Teórico Referencial

2.1. Antecedentes Referenciales

2.1.1. Investigaciones Internacionales

A nivel internacional, los estudios sobre la contaminación por metales pesados en sedimentos fluviales han sido extensos debido a la gravedad de este problema en ecosistemas acuáticos. Varios estudios se han centrado en identificar la concentración de metales pesados en sedimentos, su relación con los ecosistemas acuáticos y las posibles rutas de exposición para organismos acuáticos y humanos (Panagos, et al., 2018).

Por ejemplo, estudios realizados por (Liu, et al., 2019) han tratado el impacto de metales pesados como el plomo, mercurio, cadmio y arsénico afectan los ecosistemas acuáticos, especialmente los sedimentos de los ríos. Estas investigaciones manejaron métodos de análisis químico y técnicas estadísticas para estudiar los grados de polución en varios ríos a escala global, tales como el río Yangtze en China (Zhou, et al., 2020), el río Amazonas en América del Sudamérica y diversos ríos en Europa. La información obtenida permitió no solo mapear las concentraciones de metales pesados, sino también identificar las fuentes de contaminación, como la actividad minera, la industria y los desechos urbanos (Buczek, Michalik, A., & Kostecki, M, 2018)

Un ejemplo clave de esta área es el estudio realizado por (Liu, et al., 2020), que exploró los impactos ecológicos de la contaminación por metales pesados en los sedimentos del río Pearl en China. En este estudio, se utilizó un enfoque cuantitativo para medir los niveles de metales pesados y evaluar los efectos a largo plazo sobre

la biota acuática. Este tipo de investigación ha sido útil para orientar políticas de gestión ambiental en áreas afectadas por la minería y la urbanización.

Otro aspecto importante que ha sido estudiado internacionalmente es el comportamiento de los metales pesados en los sedimentos fluviales y su movilización hacia la columna de agua o los organismos acuáticos. La investigación de (Buczek, et al., 2018) y (Vega, et al., 2019) ha demostrado cómo los metales pesados, en condiciones de pH y salinidad específicas, pueden movilizarse desde los sedimentos hacia la fase líquida, aumentando la toxicidad en los cuerpos de agua.

2.1.2. Relevancia de la cooperación internacional en el estudio de la contaminación

Los estudios sobre la contaminación por metales pesados en Ecuador, especialmente en ríos como el Teaone, se benefician enormemente de la colaboración con instituciones internacionales que cuentan con más recursos y experiencia. Se evidencia cómo los acuerdos de colaboración internacional han ayudado a mejorar los conocimientos y recursos para el monitoreo ambiental (Galea & Schifano, A, 2019)

2.1.3. Investigaciones Nacionales en Ecuador

En el territorio ecuatoriano, las investigaciones en relación a la polución por metales pesados en los sedimentos fluviales son aún escasas, aunque han empezado a incrementar su significancia en los últimos años debido a la inquietud sobre la contaminación en ríos significativos como el río Guayas, el río Coca, y el río Teaone, siendo el último citado el objeto de estudio en la presente investigación.

Un estudio realizado por (Vásquez, et al., 2020) se centró en la evaluación de la calidad de los sedimentos del río Guayas, considerando los niveles de metales pesados como el plomo, mercurio y cadmio. El análisis bibliométrico de este trabajo mostró que la mayoría de los estudios sobre metales pesados en Ecuador están limitados a unas pocas cuencas fluviales, y que la investigación sobre el comportamiento de estos metales en los sedimentos fluviales sigue siendo una temática marginal dentro de la ciencia ambiental ecuatoriana.

Otro trabajo significativo en el ámbito nacional es el de (Torres, et al., 2021), que abordó el análisis de la contaminación por metales pesados en sedimentos del río Coca, que es un río amazónico influenciado por la actividad minera. Este estudio mostró que los sedimentos de dicho río contenían niveles elevados de metales como el mercurio, afectando tanto a los ecosistemas acuáticos como a las comunidades que dependen de sus recursos. Sin embargo, los resultados de la investigación también reflejaron un vacío significativo en la sistematización de los datos sobre otros ríos ecuatorianos, como el río Teaone.

A pesar de estos esfuerzos, en Ecuador aún existen grandes vacíos en la literatura relacionada con la contaminación por metales pesados en los sedimentos fluviales. Las investigaciones disponibles se han centrado principalmente en algunos de los ríos más contaminados, mientras que las cuencas menos estudiadas, como la del río Teaone, han sido menos exploradas. Esta falta de información representa una oportunidad para realizar una investigación bibliométrica que permita identificar los avances científicos en este campo y destacar las áreas menos exploradas.

Tabla 1. Revisión de estudios en relación de la contaminación de sedimentos de los cauces fluviales por metales pesados

Autor	Ubicación	Metales pesados	Hallazgos
		Analizados	Generales
Liu, et al. (2019)	Río Yangtze -China	Hg, Cd, As, Pb	Elevadas concentraciones de metales por actividades del ser humano.
Zhou, et al. (2020)	Río Yangtze -China	Pb, Cd	Identificación de fuente de contaminación con el método de Modelación geoestadística.
Buczek, et al. (2018)	Europa Diversos ríos	Diversos metals	Movilidad de metales bajo ciertos factores ambientales.
Vásquez, et al. (2020)	Río Guayas Guayas-Ecuador	Pb, Hg, Cd	Contaminación presente, pocos estudios.
Torres, et al. (2021)	Río Coca Oriente- Ecuador	Hg, Cd	Afectación por minería y riesgos a comunidades
Cedeño, et al. (2020)	Río Teaone Esmeraldas-Ecuador	Pb, Cd	Alta contaminación por fuentes urbanas e industriales

Nota. Elaboración propia con base en (Liu, et al., 2019), (Zhou, et al., 2020), (Buczek, et al., 2018), (Vásquez, et al., 2020), (Torres, et al., 2021) y (Cedeño, et al., 2020).

2.1.4. Tendencias en la Investigación

Una tendencia común en los estudios nacionales e internacionales es la utilización de metodologías cuantitativas y cualitativas combinadas, como evaluación de datos de campo junto y la modelación numérica para valorar los riesgos vinculados con la contaminación por metales pesados (Serrano, Álvarez, L., & Jiménez, R., 2020).

Diversos investigadores emplearon modelos geoespaciales y técnicas estadísticas para identificar patrones de contaminación en sedimentos y prever sus efectos a largo plazo. Sin embargo, un tema recurrente en estos estudios es la falta de monitoreo sistemático y coordinado de los metales pesados en los sedimentos, lo que dificulta la creación de políticas de manejo ambiental efectivas a nivel nacional (García, López, A., & Rodríguez, B., 2018).

2.1.5. Vacíos en la Literatura

Un vacío significativo en la literatura científica tanto nacional como internacional es la falta de estudios que combinen un análisis bibliométrico con un enfoque geoespacial para evaluar la distribución de metales pesados en los sedimentos fluviales a lo largo del tiempo (Ramírez, et al., 2021). Esto podría ofrecer una visión más amplia de cómo los contaminantes se dispersan en las cuencas y permitir una mejor planificación para mitigar su impacto en los ecosistemas.

Además, la escasez de estudios específicos sobre el río Teaone subraya la necesidad de investigaciones adicionales sobre este ecosistema particular, especialmente en términos de su vulnerabilidad a los contaminantes industriales y urbanos. La falta de monitoreo y análisis detallado en ríos pequeños o menos estudiados contribuye a que existan grandes vacíos en el conocimiento que pueden tener implicaciones en la gestión de recursos hídricos a nivel local y nacional (González, et al., 2020).

2.2. Marco Conceptual

2.2.1. Contaminación por Metales Pesados

La polución por metales pesados constituye una de las formas más duraderas y riesgosas de alteración ambiental en los ecosistemas acuáticos. Se define

como la presencia excesiva de elementos metálicos con densidad relativamente alta y que, en concentraciones elevadas, pueden resultar tóxicos para los organismos vivos, incluso en dosis bajas (Alloway, 2013). Entre los metales pesados más comunes en ambientes fluviales contaminados se encuentran el plomo (Pb), mercurio (Hg), cadmio (Cd), arsénico (As), cromo (Cr) y níquel (Ni), los cuales son introducidos en el medio ambiente principalmente a través de actividades humanas como la minería, la industria, la agricultura intensiva y la expansión urbana sin control (Tchounwou et al., 2012).

Estos metales, una vez liberados en el ambiente, tienen la capacidad de unirse a las partículas sólidas y acumularse en los sedimentos fluviales. A diferencia de otros contaminantes, no se degradan con el tiempo, sino que se integran a los ciclos geoquímicos del ecosistema, pudiendo permanecer activos durante décadas. Esta persistencia genera riesgos prolongados de toxicidad, ya que los cambios en condiciones físico-químicas (como el pH, la temperatura o el potencial redox) pueden provocar la movilización de los metales desde los sedimentos hasta la columna de agua (Zhang et al., 2020), incrementando de esa manera su biodisponibilidad para los seres vivos.

En términos ecológicos y de salud pública, los metales pesados afectan negativamente la biodiversidad acuática, alteran los ciclos biogeoquímicos y pueden bioacumularse a lo largo de la cadena trófica, llegando incluso a afectar a los seres humanos a través del consumo de agua contaminada o peces tóxicos (Ali et al., 2019). Además, varios de estos metales están clasificados como carcinógenos o mutagénicos por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2021), lo que agrava su importancia como contaminantes prioritarios.

En el caso específico de los ríos ecuatorianos, como el Teaone, la falta de estudios integrales y monitoreos sistemáticos limita la comprensión del alcance real de esta contaminación. Por ello, el estudio de los metales pesados en sedimentos fluviales mediante un enfoque bibliométrico permite no solo identificar qué tan documentado está el problema en la literatura científica nacional, sino también entender la dirección de los estudios, las deficiencias de los vacíos existentes y el nivel de visibilidad de esta amenaza ambiental (Islam, et al., 2020).

2.2.2. Sedimentos Fluviales

Los sedimentos hídricos son sustancias sólidas que se encuentran flotando o depositadas en el fondo de los ríos y cuerpos de agua, y son el producto de la erosión del terreno, el desplazamiento de partículas por el agua, y la actividad biológica en el ambiente acuático (Zhang, et al., 2021). Los sedimentos de ríos tienen una gran capacidad de adsorción, lo que significa que pueden acumular y concentrar contaminantes como metales pesados provenientes de fuentes industriales, agrícolas y urbanas. Se consideran estos sedimentos como matrices ambientales esenciales para valorar la calidad del agua y la salud de los ecosistemas acuáticos. (García et al., 2017).

El comportamiento de los metales pesados en los sedimentos fluviales depende de varios factores, como el pH, la temperatura del agua, la composición del sedimento y la presencia de materia orgánica. Estos factores determinan la facilidad con que los metales pesados pueden ser liberados o permanecer adsorbidos en los sedimentos, lo que influye directamente en su movilidad y biodisponibilidad (Li et al., 2020). En este contexto, los sedimentos

se consideran no solo un indicador de la contaminación por metales pesados, sino también un reservorio potencial para estos contaminantes.

2.2.3. Bibliometría

La bibliometría es una disciplina dentro de la ciencia de la información que se ocupa del análisis cuantitativo de la producción científica, con el propósito de evaluar la dinámica del conocimiento en una determinada área de investigación (Vega-Rodríguez, et al., 2022). Esta herramienta permite identificar patrones, tendencias, redes de colaboración y la evolución temporal de la literatura publicada, facilitando así una comprensión estructurada del desarrollo científico (Pritchard, 1969; Broadus, 1987).

Su utilidad radica en la posibilidad de medir indicadores como el número de publicaciones, las citas recibidas, los autores más productivos, las instituciones con mayor actividad investigativa y las revistas de mayor impacto. Estos indicadores no solo facilitan la valoración de la importancia de las investigaciones científicas, sino también la identificación de vacíos temáticos, líneas de investigación en ascenso y potenciales oportunidades de colaboración académica (Zupic & Čater, 2015).

En la actualidad, la utilización de programas informáticos como *VOSviewer*, *Bibliometrix (R)* o *SciMAT* ha facilitado la realización de análisis bibliométricos más sofisticados, incluyendo métodos como el estudio de coocurrencia de términos clave, coautoría o cocitación, que ayuden a visualizar de mapas científicos y redes de conocimiento.

En el contexto de estudios ambientales, la bibliometría se ha convertido en una metodología clave para comprender cómo ha evolucionado la investigación en torno a problemas críticos como la contaminación por metales pesados. Su

aplicación permite evaluarse si un tema ha sido suficientemente abordado, identificar los enfoques metodológicos predominantes y conocer el nivel de atención académica que ha recibido en un contexto geográfico o temporal específico.

2.2.4. Impacto Ecológico y Sanitario de la Contaminación por Metales Pesados

El impacto ecológico y sanitario de la contaminación por metales pesados es amplio y afecta a diversas especies de organismos acuáticos y, potencialmente, a los seres humanos. Los metales pesados, debido a su capacidad de bioacumulación, pueden ingresar a las cadenas alimenticias acuáticas a través de los sedimentos y afectar a los peces, moluscos, y otros organismos acuáticos. Esto, a su vez, puede repercutir en las comunidades que dependen de estos recursos para su sustento (Huang, et al., 2021).

En términos ecológicos, los metales pesados pueden alterar el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos al interferir con los procesos biogeoquímicos, reducir la biodiversidad y modificar las interacciones entre las especies (Xu, Zhang, Liu, & Wang, Y., 2020). Desde el punto de vista sanitario, la exposición prolongada a metales pesados en los alimentos acuáticos puede tener efectos adversos en la salud humana, incluyendo intoxicación crónica, daños en el sistema nervioso, y un aumento en el riesgo de cáncer (Hernández et al., 2017).

2.2.5. Vacíos en la Literatura Científica Nacional

Una carencia significativa en la bibliografía científica ecuatoriana es la ausencia de investigaciones sistemáticas acerca de la contaminación por metales pesados en los sedimentos de los ríos, particularmente en ríos menos estudiados como el río Teaone, en la ciudad de Esmeraldas. Aunque existen investigaciones limitadas sobre la contaminación en ríos más grandes como el río Guayas, los estudios son insuficientes para abarcar toda la diversidad de

ecosistemas acuáticos en el país. Esta falta de información en ciertas cuencas fluviales hace que las políticas de gestión ambiental sean menos efectivas, ya que carecen de datos sólidos y actualizados.

El marco conceptual permite precisar y definir los términos clave en el estudio de la contaminación por metales pesados en los sedimentos fluviales y establece las bases para la comprensión de las variables de estudio. Además, pone en evidencia la relevancia del análisis bibliométrico como herramienta para obtener una visión clara sobre el estado del conocimiento y los vacíos existentes en la investigación sobre este tema en el contexto nacional.

2.3. Marco Teórico

2.3.1. Teoría de la Contaminación por Metales Pesados

La teoría de la contaminación por metales pesados se fundamenta en el estudio del comportamiento, origen, transporte y destino de elementos metálicos potencialmente tóxicos que, en concentraciones elevadas, representan un riesgo para los ecosistemas y la salud humana. Estos metales, entre los que se incluyen el plomo (Pb), mercurio (Hg), cadmio (Cd), arsénico (As), zinc (Zn) y cobre (Cu), se caracterizan por su persistencia en el ambiente, su bioacumulación en organismos vivos, y su capacidad de causar efectos tóxicos incluso a niveles bajos de exposición (Kabata-Pendias, 2011; Ali et al., 2013).

Desde el punto de vista teórico, se ha demostrado que los metales pesados tienen una fuerte afinidad con las partículas finas del suelo y los sedimentos, particularmente aquellas que contienen materia orgánica o arcilla, debido a sus propiedades fisicoquímicas como la carga superficial y la capacidad de intercambio catiónico (Förstner & Wittmann, 1981). En los ecosistemas

acuáticos, los sedimentos fluviales actúan como reservorios naturales de estos contaminantes, acumulando metales a lo largo del tiempo mediante procesos de adsorción o precipitación química (Zhou et al., 2020).

La movilización de metales pesados desde los sedimentos hacia la columna de agua puede ser activada por diversos factores ambientales, como los cambios en el pH, la redox, la salinidad o la actividad microbiana, lo cual incrementa su biodisponibilidad y toxicidad. Esto constituye una amenaza ecológica, ya que facilita su incorporación en las cadenas tróficas a través de peces, moluscos y otros organismos acuáticos (Wang et al., 2015).

Un aspecto central de esta teoría es el concepto de especiación química, el cual se refiere a las diferentes formas en las que un metal puede encontrarse en el ambiente (libre, adsorbido, precipitado, entre otros.). La toxicidad y movilidad de un metal no dependen únicamente de su concentración total, sino de su forma química y su capacidad de ser absorbido por los organismos (Sposito, 2008).

En el caso particular de los ecosistemas fluviales urbanos o industrializados, como el río Teaone en Esmeraldas, Ecuador, la contaminación por metales pesados suele estar relacionada con fuentes antrópicas como descargas domésticas e industriales, lixiviados de residuos sólidos, y escorrentía urbana no tratada. Estos aportes generan un impacto acumulativo que puede mantenerse durante décadas, incluso después de eliminarse las fuentes originales de contaminación (Fernández et al., 2019).

A nivel internacional, diversos estudios teóricos y empíricos han abordado esta problemática. Förstner y Salomons (2008) proponen un enfoque de evaluación integral que considera no solo la concentración de metales en los sedimentos,

sino también su fraccionamiento geoquímico, como una medida más precisa del riesgo ambiental. Asimismo, la teoría se ha complementado con modelos de transporte y difusión, los cuales permiten predecir la dinámica de dispersión de contaminantes en función de variables hidrodinámicas y sedimentológicas. La teoría también incorpora un enfoque preventivo, orientado a la gestión de fuentes de contaminación, el monitoreo de sedimentos y la restauración de cuerpos de agua contaminados. En este sentido, la evaluación de la contaminación por metales pesados se considera fundamental dentro de las estrategias de manejo integrado de cuencas hidrográficas y de políticas públicas para la salud ambiental (Rodríguez et al., 2021).

2.3.2. Impacto de la Contaminación por Metales Pesados en los Sedimentos Fluviales

Uno de los principales riesgos de la contaminación por metales pesados es su capacidad para bioacumularse en organismos acuáticos a través de los sedimentos fluviales. Según García et al. (2017), los sedimentos son la principal fuente de contaminación para muchas especies acuáticas, ya que los metales pesados tienden a adherirse a las partículas suspendidas en el agua. Estas partículas, a su vez, son ingeridas por organismos acuáticos como peces, moluscos y crustáceos, lo que provoca efectos adversos sobre su salud, crecimiento y reproducción.

Además, los estudios de Hernández et al. (2017) subrayan que, debido a la persistencia de estos metales en los sedimentos, los sedimentos contaminados no solo afectan a los ecosistemas acuáticos en el presente, sino que pueden continuar siendo una fuente de contaminación a lo largo de los años o incluso décadas. Por ejemplo, el arsénico y el cadmio presentan una

elevada movilidad en algunos tipos de sedimentos, lo que podría provocar que estos metales se liberen de nuevo al agua bajo condiciones determinadas de pH o temperatura, impactando a otras zonas alejadas.

2.3.3. El Papel de los Sedimentos Fluviales en la Evaluación Ambiental

El análisis de los sedimentos fluviales como matrices ambientales para evaluar la contaminación es un enfoque fundamental en el monitoreo ambiental. Los sedimentos no solo sirven como indicadores de la contaminación, sino también como un reservorio de contaminantes que pueden influir en la calidad del agua y en los ecosistemas acuáticos. Según Cifuentes et al. (2016), los sedimentos fluviales tienen la capacidad de almacenar grandes cantidades de contaminantes debido a su alta superficie de adsorción, lo que los convierte en elementos clave en el estudio de la dinámica de la contaminación en ríos y lagos.

Además, el uso de los sedimentos como indicadores de la calidad ambiental ha sido defendido por Martínez et al. (2015), quienes subrayan la relevancia de llevar a cabo estudios de metales pesados en los sedimentos no solo para determinar su toxicidad sino también para anticipar sus potenciales impactos a largo plazo en los recursos de agua.

2.3.4. La Bibliometría como Método de Investigación Científica

La bibliometría, como disciplina, es crucial para el análisis de la producción científica y el estado del conocimiento en áreas específicas de investigación. Pritchard (1969) fue uno de los primeros en conceptualizar la bibliometría como una herramienta para el análisis cuantitativo de la literatura científica, permitiendo identificar patrones de investigación, tendencias y lagunas de conocimiento. Este enfoque ha sido ampliamente utilizado para el análisis de

temas de investigación complejos como la contaminación ambiental, los metales pesados y su impacto en la salud y los ecosistemas.

En el ámbito de la contaminación por metales pesados, la bibliometría permite identificar los principales autores y publicaciones sobre el tema, así como las tendencias emergentes en la investigación científica. Un análisis bibliométrico de los estudios nacionales sobre este tema es vital para entender las áreas que requieren más atención, especialmente en países en desarrollo como Ecuador, donde la falta de estudios exhaustivos limita la toma de decisiones informadas en cuanto a políticas públicas ambientales.

2.3.5. Los Vacíos en la Investigación Científica Nacional

A escala nacional, la bibliografía referente a la polución por metales pesados en sedimentos de ríos es escasa lo que refleja una evidente laguna en los estudios sobre este tema. La mayoría de los estudios disponibles se enfocan en áreas urbanas más grandes y en cuerpos de agua más estudiados, como el río Guayas, mientras que ríos más pequeños, como el río Teaone, han sido escasamente investigados en términos de calidad de agua y contaminación por metales pesados.

González et al. (2018) destacan la falta de estudios sistemáticos en regiones más alejadas, lo que dificulta la implementación de políticas locales de protección ambiental y el desarrollo de estrategias de remediación de la polución en áreas que sufren una acelerada expansión urbana y desarrollo industrial.

2.3.6. Posicionamiento Teórico-epistemológico del Estudio

El enfoque teórico adoptado en esta investigación se basa en una perspectiva ecológica y ambientalista, que reconoce los riesgos de la contaminación por metales pesados como un problema multifacético que requiere abordajes integrales. Se sostiene que los sedimentos fluviales son matrices clave para la evaluación ambiental, y que un análisis bibliométrico puede contribuir significativamente a visibilizar las lagunas en la literatura nacional y, de esta forma, guiar futuros estudios y políticas públicas.

El enfoque metodológico de esta investigación se alinea con la bibliometría como herramienta para proporcionar una panorámica del estado actual del conocimiento sobre el tema. Al mismo tiempo, se mantiene un enfoque crítico respecto a los estudios existentes, cuestionando su alcance y visibilizando los vacíos y limitaciones que existen en la comprensión de la contaminación por metales pesados en sedimentos fluviales, especialmente en los ríos ecuatorianos.

CAPÍTULO III: Diseño Metodológico

3.1. Tipo y diseño de investigación

La presente investigación se inscribe dentro de un enfoque mixto, integrando elementos cuantitativos y cualitativos para alcanzar una comprensión amplia y profunda del fenómeno de estudio. Esta decisión metodológica responde a la necesidad de combinar la solidez estadística de los análisis bibliométricos con la capacidad interpretativa de los enfoques cualitativos aplicados a un contexto territorial específico (Hernández, et al., 2024).

Desde el enfoque cuantitativo, se emplean técnicas bibliométricas para analizar de forma sistemática la producción científica nacional relacionada con la contaminación por metales pesados en sedimentos fluviales (Donthu, et al., 2021). Este tipo de análisis permite cuantificar la frecuencia de publicaciones, los autores más productivos, las redes de coautoría, las palabras clave más comunes, y la evolución de los temas de investigación a lo largo del tiempo. La implementación de programas como *VOSviewer* y *Bibliometrix* mejora la representación y evaluación estadística de estos datos, proporcionando precisión empírica de los hallazgos (Arévalo & Henao, F., 2021). Por su parte, el enfoque cualitativo se aplica en la interpretación contextual de los resultados del análisis bibliométrico, centrándose especialmente en su aplicabilidad al estudio del caso del río Teaone, en la ciudad de Esmeraldas. A través de una revisión crítica de los documentos localizados y su vínculo con el la circunstancia local, se procura hallar vacíos de saberes, limitaciones metodológicas en los estudios modernos y alternativas para orientar nuevas investigaciones (Zhao, et al., 2023).

En cuanto al diseño de la indagación, es de carácter documental, no experimental y de dimensión transversal. Es documental porque se basa en fuentes secundarias (publicaciones científicas y bases de datos académicas); no experimental porque no implica la manipulación de variables ni la realización de pruebas de laboratorio o campo (Hernández, et al., 2014); y transversal porque se limita al análisis de información disponible en un período temporal definido (2015–2025).

3.2. La población y la muestra

La población de esta investigación está conformada por los documentos científicos publicados entre 2015 y 2025, relacionados con la contaminación por metales pesados en sedimentos fluviales en Ecuador, disponibles en fuentes de información como Scopus, Web of Science, Google Scholar.

La muestra fue seleccionada mediante un muestreo no probabilístico intencional, considerando criterios de relevancia temática y disponibilidad. Se incluyeron únicamente documentos que:

- Abordan específicamente metales pesados (Pb, Cd, Hg, As) en sedimentos fluviales.
- Están vinculados a autores o instituciones ecuatorianas.
- Fueron publicados en español o inglés.
- Presentan texto completo y metadatos disponibles.

Se descartaron publicaciones que no estaban vinculadas con cuerpos de agua dulce, sin revisión por colegas o sin acceso total.

La búsqueda fue ajustada para cada base de datos, en Scopus y Web of Science se llevó a cabo utilizando combinaciones de términos clave como: *“metales pesados” AND “sedimentos fluviales” AND “Ecuador”*.

La muestra final estuvo compuesta por 35 documentos científicos, esta cantidad refleja la disponibilidad real de publicaciones nacionales sobre contaminación por metales pesado en sedimentos fluviales del río Teaone. Si bien se trata de un número limitado, responde a tema alarmante especializado y a un ámbito geográfico acotado. Además, evidencia del vacío científico existente en la literatura nacional. Lo que refuerza la pertinencia el análisis realizado.

3.3. Los métodos y las técnicas

En el desarrollo de esta investigación se recurrió a métodos de análisis documental y técnicas bibliométricas, con el objetivo de examinar y organizar la producción académica nacional relacionada con la contaminación por metales pesados en sedimentos de ríos.

El enfoque bibliométrico facilitó la exploración cuantitativa del conocimiento científico en este campo, permitiendo identificar tendencias de publicación, autores relevantes, instituciones con mayor producción, así como los conceptos más recurrentes en la literatura revisada. Este método es conocido por su eficacia en la valoración organizada de la evolución temática y la dinámica de investigación en áreas concretas del conocimiento. (Donthu N. et al., 2021).

Las principales variables bibliometreicas consideradas fueron:

- Producción científica: número de publicaciones por año y por autor.

- Colaboración autoral: redes de coautoría.
- Tendencias temáticas: palabras clave frecuente y su concurrencia.
- Impacto científico: número de citas y tipo de documento.

Las herramientas utilizadas posibilitó generar una visión integral de los avances científicos desarrollados en el país durante la última década, ofreciendo información clave para su aplicación en contextos ambientales concretos como el del río Teaone. Como técnica principal se utilizó la revisión sistemática de literatura a partir de búsquedas en bases de datos como Scopus, Web of Science, Scielo, Redalyc y Google Scholar, aplicando filtros de fecha, país, idioma y palabras clave.

En el desarrollo del análisis bibliométrico se recurrió al uso de tres herramientas principales:

- *VOSviewer*: se empleó para crear representaciones gráficas que reflejan la interacción entre los autores, los conceptos y las palabras clave encontradas en las publicaciones. Esta aplicación posibilitó la observación de vínculos entre investigadores y temas habituales dentro del área de estudio.
- *Bibliometrix* (implementado en RStudio): permitió realizar evaluaciones estadísticas más profundas sobre la producción científica, generando visualizaciones temáticas, análisis de tendencias temporales y agrupamientos de términos relevantes.
- *Microsoft Excel*: sirvió como plataforma de apoyo para organizar, limpiar y verificar los conjuntos de datos obtenidos. Su uso fue esencial en la etapa de preprocesamiento, garantizando que la información estuviera libre de duplicaciones y errores antes de ser analizada con las herramientas especializadas.

Los instrumentos utilizados fueron seleccionados considerando su respaldo en investigaciones previas y su aceptación dentro de la comunidad científica. Para garantizar la confiabilidad del análisis, se aplicaron procedimientos rigurosos que incluyeron criterios bien definidos para aceptar o descartar información,

3.4. Procesamiento estadístico de la información

La información se procesó utilizando los datos bibliográficos adquiridos en las bases de datos escogidas, los cuales se exportaron en formatos compatibles (.CSV y .BIB) para su análisis en instrumentos bibliográficos especializados.

Se aplicaron métodos estadísticos descriptivos (Said, et al., 2022), como conteo de frecuencias y análisis de tendencias temporales, a fin de identificar el número de publicaciones por año, autores más relevantes, instituciones significativas, palabras clave comunes y campos temáticos más populares.

El método estadístico se dirigió al análisis de la producción científica nacional relacionada con la contaminación por metales pesados en sedimentos de ríos, tomando en cuenta como factores variables: fecha de publicación, el autor, la afiliación institucional, la categoría de documento, el ámbito académico, el país de publicación y las palabras clave.

Los resultados del análisis cuantitativo se complementaron con una interpretación cualitativa orientada a identificar vacíos de investigación y potencial de aplicación al estudio del río Teaone. Este cruce de datos permitió construir una visión integral del estado actual del conocimiento y su aplicabilidad en el contexto local.

CAPÍTULO IV: Análisis e Interpretación de Resultados

4.1. Análisis e Interpretación de Resultados

En este capítulo se exponen los resultados obtenidos del análisis bibliométrico aplicado al estudio de la contaminación por metales pesados en sedimentos fluviales, con especial atención al caso del río Teaone en Esmeraldas. La investigación se apoyó en el uso de *Bibliometrix (RStudio)* y *VOSviewer* para examinar aspectos como la evolución de la producción científica, las palabras clave más representativas, los autores e instituciones más destacados, así como las redes de colaboración y cocitación. Los resultados se interpretan en función de su relevancia para el contexto local.

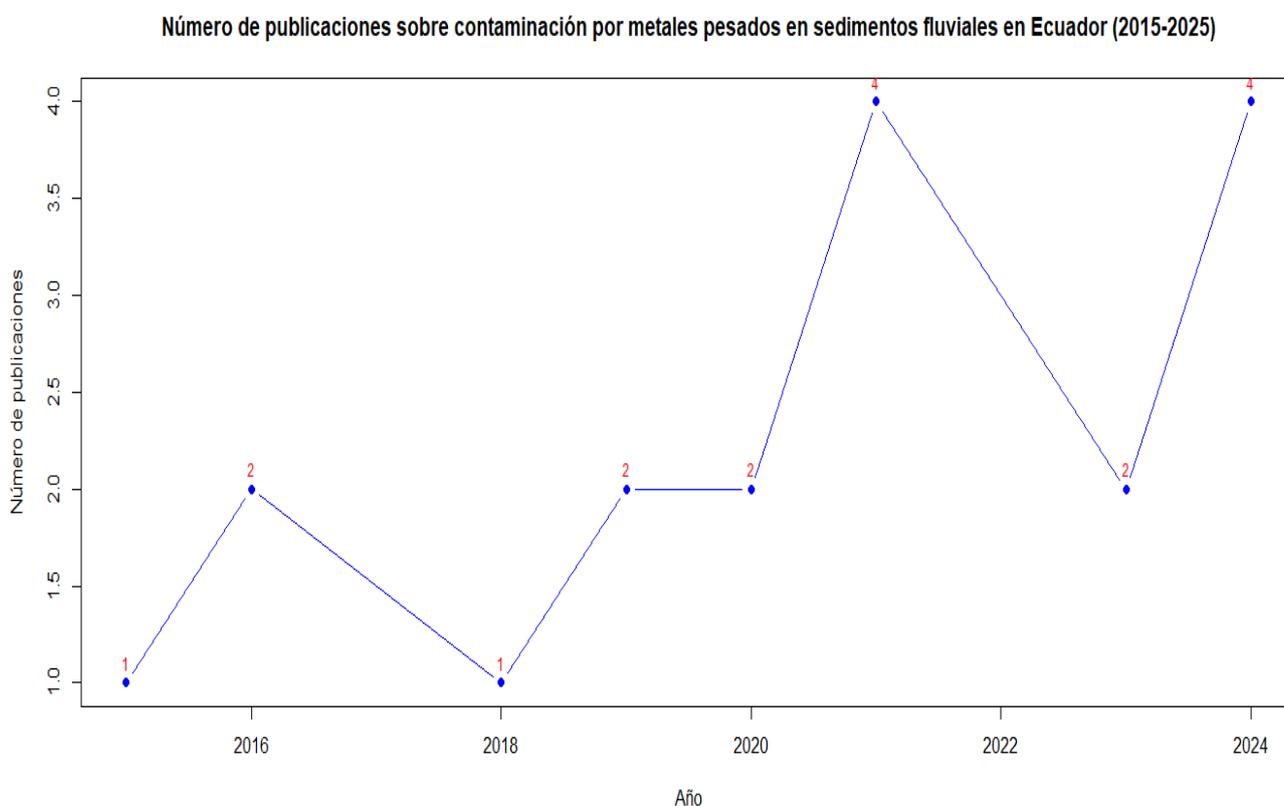


Figura 1. Número de publicaciones relacionadas con la contaminación por metales pesados en sedimentos fluviales en Ecuador, período 2015 – 2025.

La Figura 1 muestra una tendencia ascendente en la producción científica nacional sobre contaminación por metales pesados en sedimentos fluviales entre 2015 y 2025. Si bien en los primeros años (2015 y 2018) la actividad fue mínima, a partir de 2019 se identifica un aumento progresivo, con puntos altos en 2021 y 2024. Este crecimiento puede asociarse al interés creciente por los impactos ambientales de las actividades mineras, industriales y urbanas, especialmente en cuencas vulnerables. En el contexto del río Teaone, ubicado en una zona afectada por dichas actividades en la ciudad de Esmeraldas, estos datos evidencian que, aunque existe una base científica nacional, aún hay una escasa producción local centrada específicamente en este ecosistema. Esta ausencia confirma la pertinencia del presente estudio, al buscar generar conocimiento científico que aporte a la comprensión y gestión de la contaminación en los sedimentos del río Teaone.

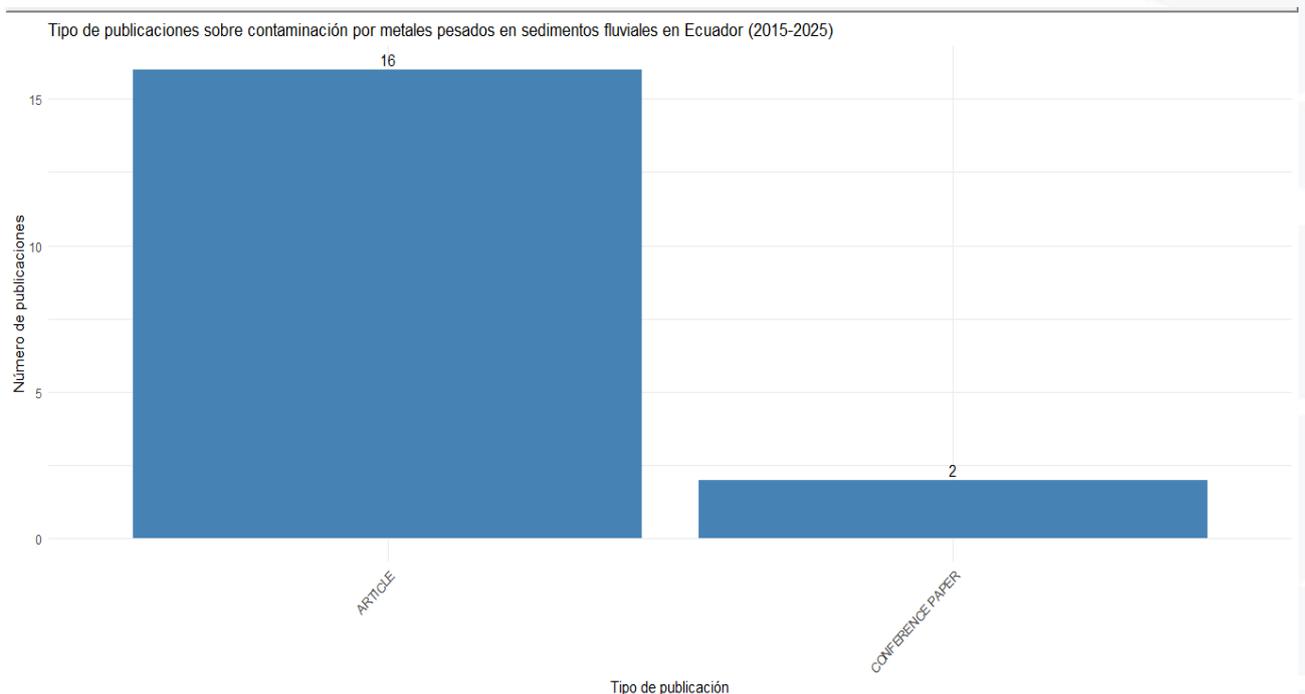


Figura 2. Tipo de publicaciones realizadas sobre contaminación por metales pesados en sedimentos fluviales en Ecuador, período 2015 – 2025

Esta figura presenta la clasificación de las publicaciones según el tipo de documento entre 2015 y 2025, destacando el predominio de artículos científicos (16) frente a solo 2 trabajos presentados en congresos. Esta tendencia revela que la investigación sobre contaminación por metales pesados en sedimentos fluviales en Ecuador se ha orientado principalmente hacia estudios formales, con mayor rigurosidad metodológica y difusión en revistas indexadas. En el contexto del río Teaone, esta distribución pone en evidencia la escasa visibilidad de investigaciones aplicadas localmente, así como la limitada participación en espacios académicos. Lo anterior subraya la necesidad de fomentar la producción científica sobre este cuerpo hídrico, tanto en publicaciones arbitradas como en eventos científicos, para avanzar en el conocimiento y gestión ambiental de la cuenca del Teaone.

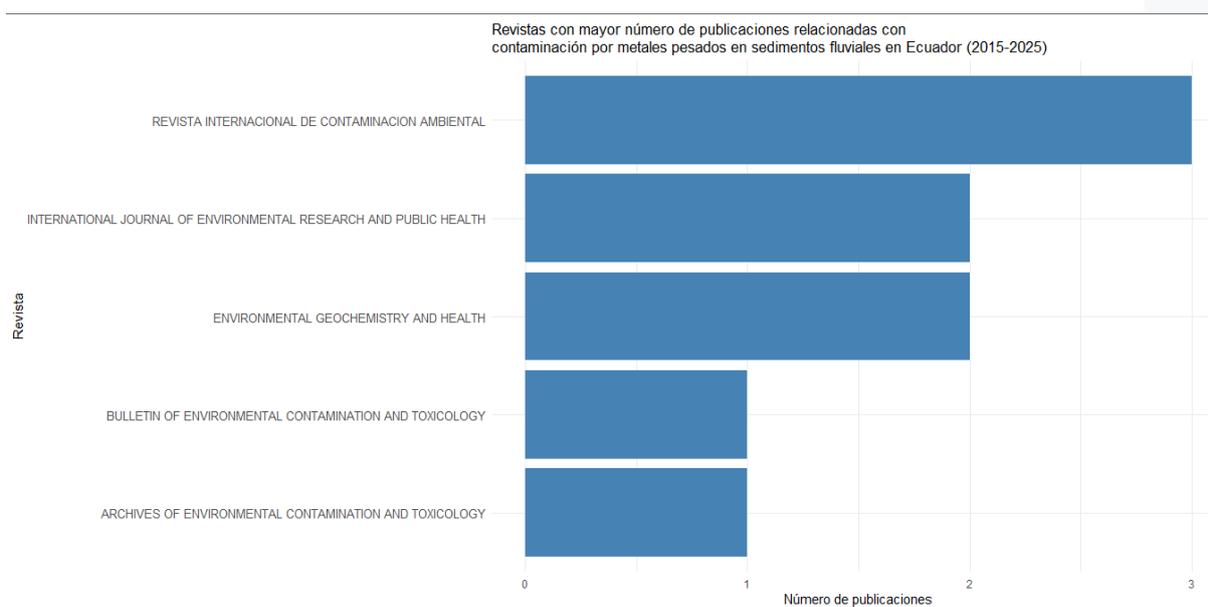


Figura 3. Revistas con mayor número de publicaciones relacionadas con la contaminación por metales pesados en sedimentos fluviales en Ecuador, período 2015 – 2025.

La Figura 3 muestra que las publicaciones sobre contaminación por metales pesados en sedimentos fluviales en Ecuador se concentran en revistas especializadas como

la *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, *Revista Internacional de Investigación Ambiental-Salud Pública y Geoquímica Ambiental y Salud*. Este patrón muestra una gran difusión en medios regionales e internacionales de gran relevancia, resaltando la importancia científica del asunto. En relación con el río Teaone, esta tendencia confirma la necesidad de generar estudios locales que cumplan con estándares técnicos rigurosos y puedan ser visibilizados en estas plataformas. No obstante, se evidencia una baja representación de investigaciones enfocadas en ríos del litoral ecuatoriano, lo que refuerza el aporte que representa este trabajo para el conocimiento ambiental en Esmeraldas.

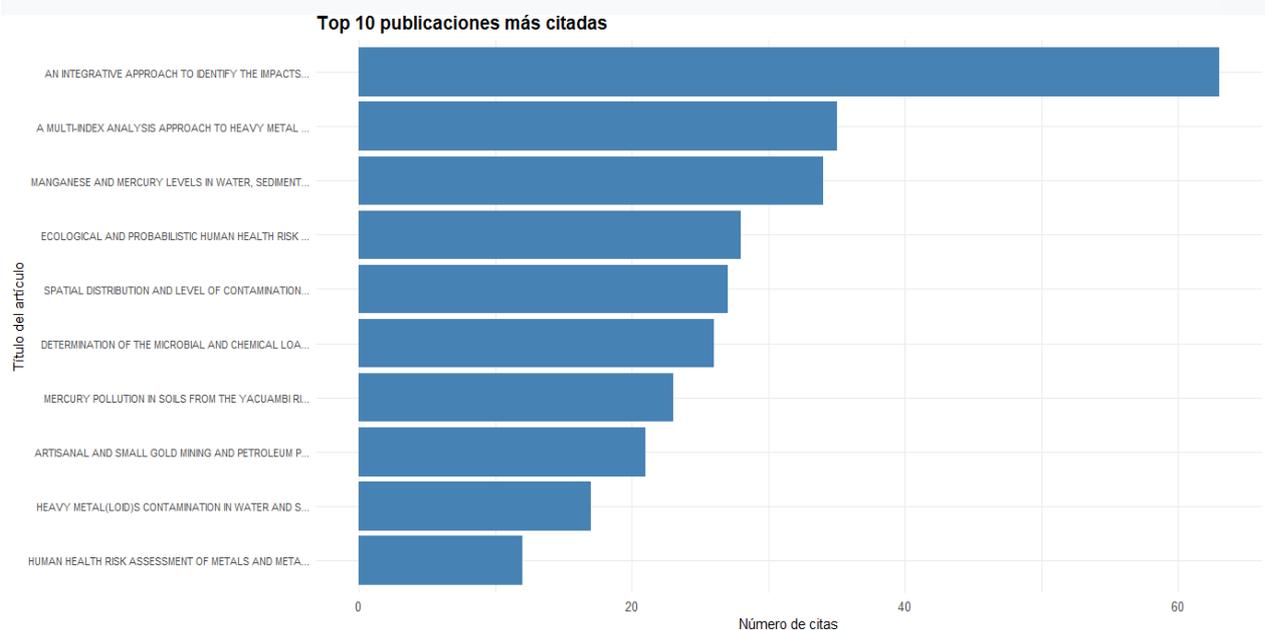


Figura 4. Publicaciones más citadas en Ecuador relacionadas con la contaminación por metales pesados en sedimentos fluviales, con énfasis en estudios aplicados al río Teaone, Esmeraldas, período 2015 – 2025.

La figura muestra los 10 artículos más citados relacionados con la contaminación por metales pesados en sedimentos fluviales en Ecuador. El artículo de mayor relevancia, con más de 60 referencias, sugiere un método integrador para detectar los efectos ambientales. Esto se complementa con otros estudios enfocados en análisis multivariados y niveles de mercurio y manganeso en matrices ambientales.

La alta cantidad de citas sugiere que estos trabajos han sido fundamentales como referencia metodológica y conceptual para investigaciones posteriores. La mayoría de estos estudios incluyen evaluaciones de riesgo ecológico y para la salud humana, lo cual refleja una preocupación no solo ambiental, sino también social.

Aunque el río Teaone no está directamente mencionado en estas publicaciones, los enfoques y resultados presentados son valiosos para estructurar el marco teórico y metodológico de este trabajo. Además, destaca la importancia de abordar el tema desde una perspectiva integral, considerando variables físico-químicas, impactos sobre los ecosistemas y poblaciones locales.

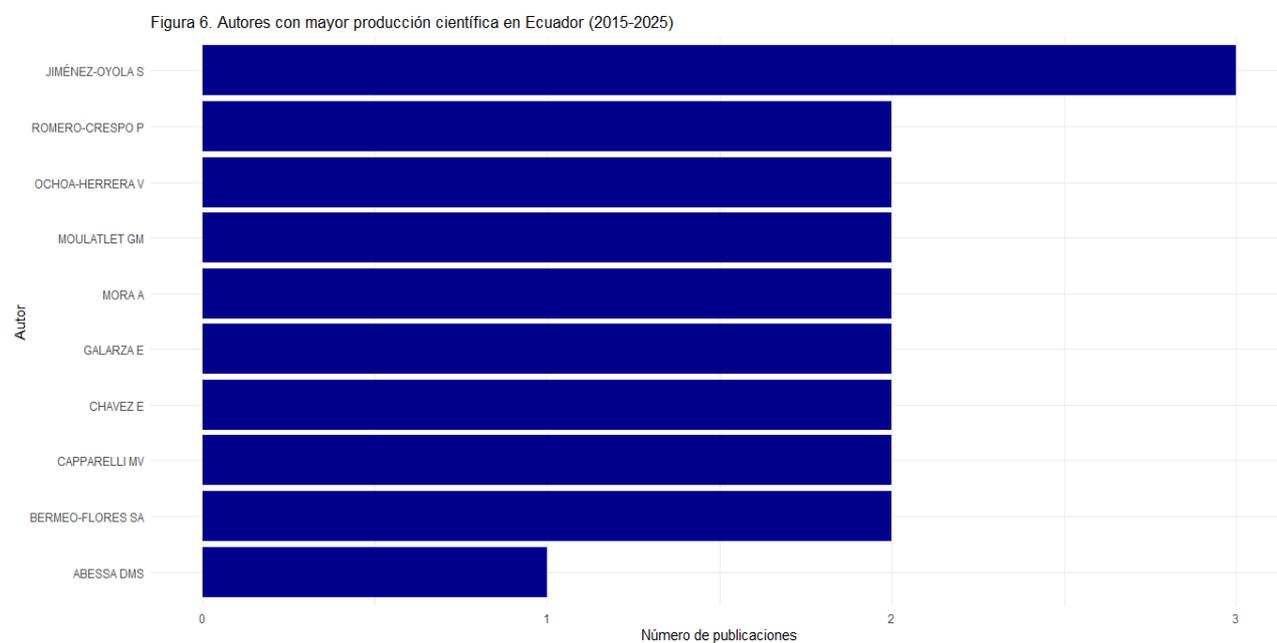


Figura 5. Autores con mayor producción científica en Ecuador sobre metales pesados en sedimentos fluviales, 2015–2025.

La figura destaca a los escritores con más trabajo científico en Ecuador acerca de la contaminación por metales pesados en sedimentos de ríos entre 2015 y 2025, resaltando a Jiménez-Oyola S con 3 publicaciones, seguido por investigadores como Romero-Crespo P, Ochoa-Herrera V y Moulatlet GM. Este patrón evidencia una comunidad investigativa aún limitada, pero activa, con autores clave que concentran gran parte del conocimiento en esta área. Su trabajo representa una base sólida para

investigaciones como la del río Teaone y abre la posibilidad de establecer futuras colaboraciones. Además, su producción refleja un enfoque integral que podría ser útil para abordar los retos ambientales y sociales presentes en la cuenca del Teaone.

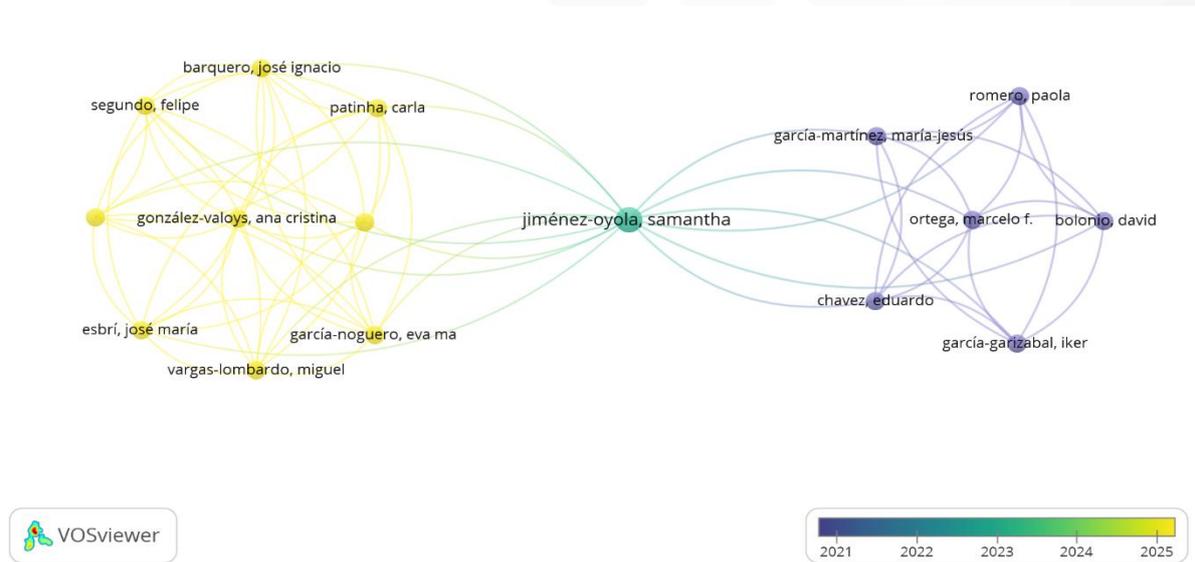


Figura 6. Redes de coautoría entre investigadores en Ecuador.

La red muestra coautorías entre los principales investigadores que han publicado estudios sobre contaminación por metales pesados en sedimentos fluviales en el Ecuador, durante el período 2015–2025. El mapa, generado con VOSviewer, permite identificar clústeres de colaboración científica basados en afinidades temáticas y temporales.

El nodo central más destacado es el de Jiménez-Oyola, Samantha, quien actúa como un puente clave entre dos grupos de colaboración claramente diferenciados:

-Grupo 1 (color amarillo): Corresponde a un clúster de colaboración más temprano (años 2021–2022), integrado por autores como González-Valoys, Ana Cristina; Barquero, José Ignacio; Esbrí, José María; y Segundo, Felipe. Este grupo parece centrarse en estudios conjuntos con una orientación técnica y metodológica consolidada.

-Grupo 2 (color azul/violeta): Representa un conjunto de publicaciones más recientes (2023–2025) con autores como Romero, Paola; Bolonio, David; Ortega, Marcelo F.; y Chávez, Eduardo, quienes también muestran una fuerte interconexión interna.

La figura indica que Jiménez-Oyola no solo destaca por su alta productividad científica, como se observó en la Figura 5, sino que también desempeña un papel fundamental en la articulación entre distintos equipos de investigación, facilitando la transferencia de conocimiento y la colaboración entre redes diversas.

El color de los nodos y enlaces refleja la cronología de las colaboraciones, con una evolución que va desde 2021 (azul oscuro) hasta 2025 (amarillo), demostrando el dinamismo y la continuidad de estas asociaciones científicas.

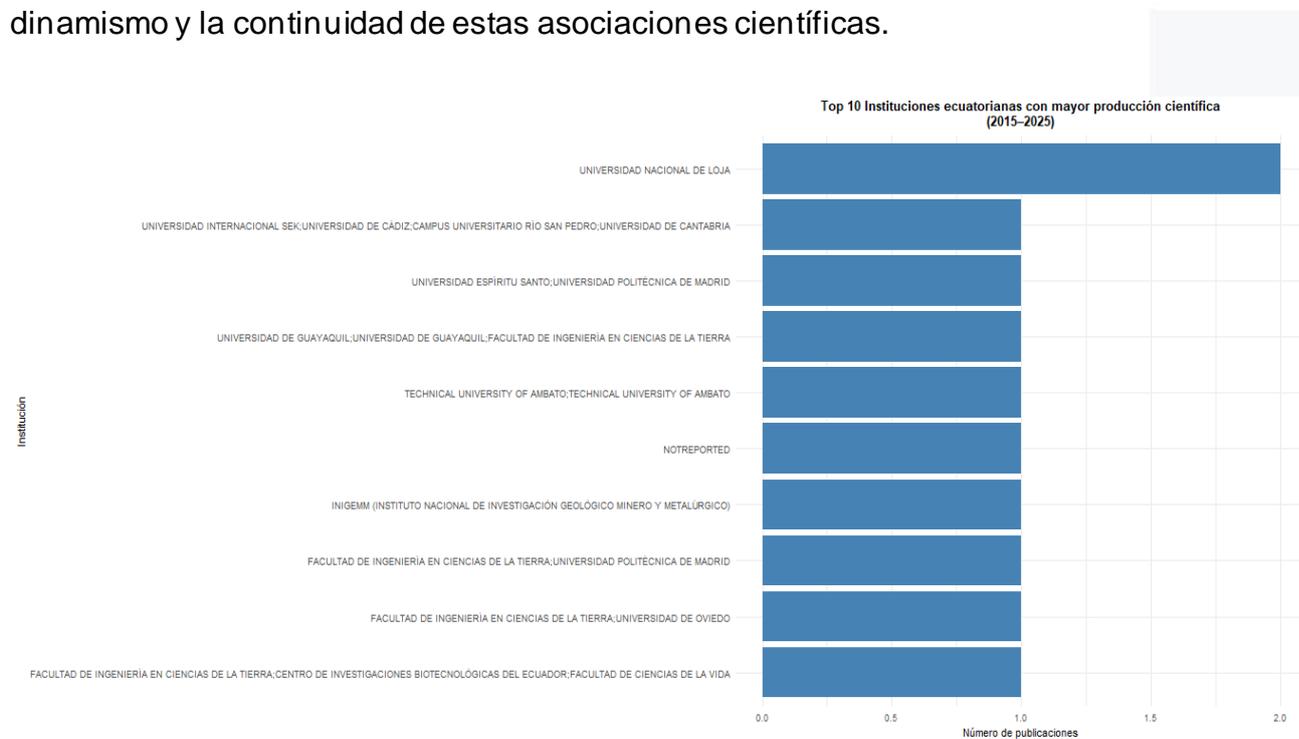


Figura 7. Instituciones ecuatorianas con mayor producción científica en el área, 2015–2025.

La Figura 7 muestra las 10 instituciones con mayor producción científica en Ecuador sobre metales pesados en sedimentos fluviales entre 2015 y 2025. La Universidad Nacional de Loja destaca con 2 publicaciones, siendo la entidad más activa. Las demás instituciones, incluyendo universidades como la de Guayaquil, Espíritu Santo,

Internacional SEK y Técnica de Ambato, además del INIGEMM, registran una publicación cada una.

También se observa una importante colaboración con universidades españolas, como la Politécnica de Madrid, Cádiz, Oviedo y Cantabria, evidenciando una red internacional que fortalece la investigación en esta área. La presencia de la categoría "NotReported" indica que algunas publicaciones no especificaron su afiliación institucional, lo que limita un análisis completo.

En conjunto, la baja cantidad de publicaciones por institución refleja que la investigación en esta temática está en fase inicial en Ecuador, con oportunidades de consolidación mediante redes colaborativas, como las evidenciadas en la Figura 6, que podrían beneficiar estudios locales en el río Teaone y la región de Esmeraldas.

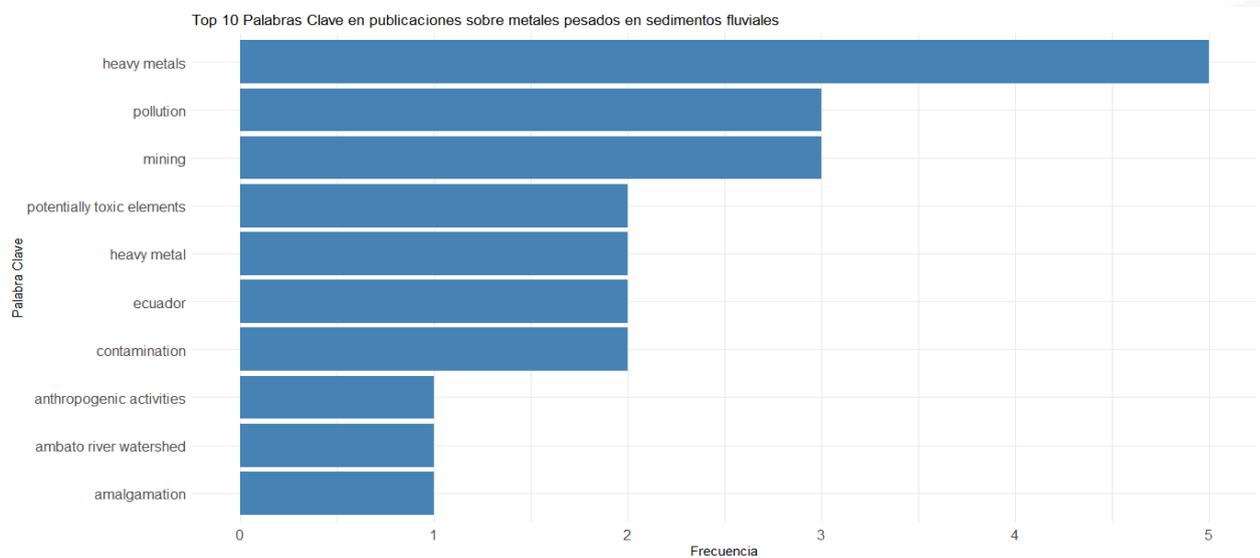


Figura 8. Principales palabras clave utilizadas en las publicaciones sobre contaminación por metales pesados en sedimentos fluviales en Ecuador, período 2015 – 2025.

La Figura muestra un mapa de coocurrencia de palabras clave en estudios sobre metales pesados en sedimentos fluviales, elaborado con VOSviewer. Cada nodo simboliza un término esencial, y los colores señalan el año medio de presencia, desde 2021 (morado) hasta 2023 (amarillo).

Se identifican dos núcleos principales interconectados:

- A la derecha, con tonalidades oscuras, destacan términos como “Ecuador”, “heavy metals”, “concentration (composition)” y “fluvial deposit”, indicando un enfoque reciente en análisis químicos y geospaciales de sedimentos.
- En el centro e izquierda, con colores más claros, aparecen términos asociados a impactos, como “toxicity”, “health risk”, “environmental monitoring” y “human”, reflejando una progresión hacia evaluaciones ambientales y de salud pública.

El término “mining” es un nodo central con muchas conexiones, subrayando su papel como principal fuente contaminante, junto con “gold mining” y “gold mine”, que refuerzan el vínculo con la minería aurífera.

Finalmente, palabras como “rivers” y “river pollution” conectan el aspecto ambiental con las actividades humanas, señalando una preocupación integrada por la contaminación fluvial, relevante para el análisis del río Teaone en Esmeraldas.

CAPÍTULO V: Conclusiones, Discusión y Recomendaciones

5.1. Discusión

El estudio bibliométrico efectuado muestra un incremento gradual en la producción científica nacional acerca de la contaminación por metales pesados en sedimentos de ríos, particularmente desde 2019. Este aumento sugiere una mayor preocupación por los efectos ambientales derivados de actividades industriales, mineras y urbanas, lo cual se alinea con las tendencias internacionales en estudios ambientales.

No obstante, los hallazgos también muestran restricciones significativas en términos de cobertura geográfica y temática. En el caso del río Teaone, ubicado en la ciudad de Esmeraldas, que, a pesar de presentar niveles preocupantes de plomo, cadmio y mercurio, mantiene una escasa presencia en las publicaciones científicas nacionales. Esta deficiencia evidencia la relevancia de orientar siguientes estudios en cuencas menos exploradas, pero muy vulnerables.

En cuanto a las metodologías utilizadas, predominan los enfoques cuantitativos, cualitativos, como análisis geoquímicos y evaluaciones de riesgo ecológico. Aunque estos métodos permiten caracterizar con precisión la contaminación, se observa una limitada integración de perspectivas mixtas o territoriales que podrían ofrecer una visión más integral de los impactos, especialmente en zonas como el río Teaone, donde confluyen problemas ambientales y sociales.

Además, la producción científica se encuentra concentrada en pocos investigadores e instituciones. Si bien se identificaron redes de colaboración con universidades extranjeras, es evidente la necesidad de fortalecer los equipos nacionales, promoviendo estudios contextualizados que atiendan realidades locales como la del Teaone.

El uso de instrumentos como *VOSviewer* y *Bibliometrix* no solo posibilitó el trazado de tendencias y actores principales, sino también la detección de vacíos críticos en el saber. En este contexto, el río Teaone de Esmeraldas se presenta como una urgencia científica y ambiental que necesita atención inmediata, tanto en el ámbito de la investigación como en la organización de medidas para su restauración.

5.2. Conclusiones

La presente investigación permitió analizar de forma integral la producción científica nacional sobre contaminación por metales pesados en sedimentos fluviales, aplicando un enfoque bibliométrico que evidenció tendencias, vacíos y actores clave en el campo. La investigación no solo evidenció el progreso del entendimiento de esta problemática ambiental en el escenario ecuatoriano, sino que también posibilitó la implementación de estos descubrimientos en el caso específico del río Teaone en cual se ubica en la ciudad de Esmeraldas, una cuenca que se ha registrado con elevados grados de contaminación y poca presencia en la bibliografía científica nacional.

Uno de los hallazgos más significativos fue el incremento en el número de estudios académicos vinculados con metales pesados en sedimentos de ríos durante el periodo de 2015 a 2025. A partir del año 2019 se observa un incremento sostenido, lo que evidencia una respuesta por parte de la comunidad científica ante los desafíos ambientales generados por la actividad minera, industrial y urbana. Este comportamiento coincide con el fortalecimiento de políticas públicas ambientales y la consolidación de redes académicas internacionales interesadas en la gestión de los recursos hídricos.

No obstante, se identificó barreras geográficas y temáticas importantes. La mayoría de los estudios se concentran en cuencas ampliamente conocidas, como el río Guayas o el río Coca, a diferencia de cuerpos de agua vitales como es el caso del río Teaone ubicado en Esmeraldas, donde se ha realizado una investigación limitada, aunque es ampliamente reconocido que se ha corroborado la presencia de metales pesados como el plomo, cadmio, mercurio y arsénico en su sedimentación. Esta falta

de representación científica limita las posibilidades de diagnóstico y recuperación ambiental de dicha cuenca, y revela la necesidad de redirigir la atención académica hacia zonas que presentan alta vulnerabilidad ambiental y social.

Otro aporte significativo del estudio fue la caracterización de las metodologías más utilizadas en las investigaciones nacionales. Se observó una fuerte predominancia de enfoques cuantitativos, cualitativos y centrados en análisis geoquímicos y evaluaciones de riesgo ecológico. Si bien estas metodologías permiten obtener datos precisos sobre los niveles de contaminación, se identificó una escasa aplicación de enfoques mixtos e interdisciplinarios que integren dimensiones sociales, territoriales o participativas. Esta carencia limita la capacidad de generar propuestas de gestión ambiental más integrales, especialmente en territorios complejos como la provincia de Esmeraldas, respondiendo a la importancia que representa el afluente del río Teaone, ya que atraviesa la mayoría de los sectores sureños de la ciudad y zonas altamente industrializadas.

El análisis de redes de coautoría y productividad científica mostró que un grupo reducido de investigadores e instituciones lidera la producción académica en esta temática, lo cual representa una oportunidad para consolidar redes de colaboración, aunque también representa un desafío para democratizar la generación del saber. Se identificaron vínculos con universidades extranjeras, principalmente de Europa, lo que evidencia la apertura hacia alianzas estratégicas. No obstante, es urgente promover la formación de equipos de investigación nacionales con enfoque territorial y continuidad temática, que puedan responder a las necesidades locales y contribuir al manejo sustentable de cuencas como la del río Teaone.

En términos metodológicos, la investigación demostró que la bibliometría es una herramienta eficaz para diagnosticar el estado del conocimiento científico, permitiendo identificar vacíos, tendencias emergentes y oportunidades de fortalecimiento académico. La combinación de software como *VOSviewer* y *Bibliometrix* permitió no solo representar gráficamente la producción científica, sino también detectar las principales líneas de investigación, autores influyentes, palabras clave recurrentes e instituciones con mayor participación.

Finalmente, el estudio evidenció que el río Teaone constituye una prioridad ambiental que requiere ser incluida con urgencia en la agenda científica nacional. La falta de estudios sistemáticos sobre su contaminación limita la capacidad de evaluación de riesgos y la formulación de políticas públicas eficaces para su restauración. Al aplicar el análisis bibliométrico a este caso específico, se estableció un marco conceptual y metodológico que puede servir de base para futuras investigaciones, acciones de monitoreo y estrategias de remediación ambiental en la región.

5.3. Recomendaciones

Con base en el estudio realizado, se evidencia la importancia de impulsar nuevas iniciativas de investigación orientadas a fortalecer la comprensión sobre la contaminación por metales pesados en sedimentos fluviales en áreas que desde el enfoque científico han sido escasamente tratados, tan como sucede en el caso del río Teaone, en la ciudad de Esmeraldas. La escasa representación de esta cuenca en la producción académica nacional refleja una brecha que limita la comprensión de su realidad ambiental y, por ende, la posibilidad de desarrollar intervenciones eficaces.

Es fundamental promover estudios que profundicen en la dinámica de los metales pesados en este ecosistema, tomando en cuenta aspectos como la variabilidad temporal de su concentración, su interacción con las condiciones físico-químicas del río, y las repercusiones en la fauna acuática y en la salud de las comunidades adyacentes. También sería pertinente identificar especies locales que puedan funcionar como indicadores biológicos del estado del ecosistema, así como evaluar el rol de factores climáticos y estacionales en la dispersión o acumulación de contaminantes.

Para alcanzar una visión más completa del problema, se sugiere adoptar enfoques metodológicos que combinen técnicas cuantitativas con perspectivas sociales y territoriales. Integrar herramientas participativas y análisis espaciales puede enriquecer los estudios técnicos y generar soluciones más ajustadas a las realidades del entorno. En este sentido, explorar la viabilidad de estrategias como la biorremediación con microorganismos nativos se presenta como una alternativa prometedora para intervenir de forma sostenible los sedimentos afectados.

Además, es prioritario fomentar la colaboración entre instituciones académicas, entidades públicas y comunidades locales, de forma que el conocimiento generado

sea socialmente útil y territorialmente pertinente. El fortalecimiento de alianzas puede propiciar la realización de estudios colaborativos, la puesta en marcha de sistemas de vigilancia y la creación de planes de gestión ambiental ajustados al entorno del río Teaone.

Es importante señalar que una de las limitaciones de este trabajo fue su carácter exclusivamente documental, basado en el análisis de literatura científica. Por ello, se recomienda que los estudios futuros integren salidas de campo, toma de muestras y análisis empíricos que permitan contrastar lo reportado en las fuentes con la situación actual del ecosistema. Esta combinación entre evidencia bibliográfica y datos del territorio será clave para orientar políticas públicas y acciones de recuperación ambiental más efectivas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arévalo, J. E., & Henao, F. . (2021). Aplicación de análisis bibliométrico en estudios ambientales en Latinoamérica. . *Revista Colombiana de Ciencia*, 30(2), 23–35.
- Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959–975.
- Betún, C., & Illapa, J. (2023). *Determinación de metales pesados en sedimentos del río Teaone, Esmeraldas, Ecuador*. Universidad Nacional de Chimborazo.
- Buczek, A., Michalik, A., & Kostecki, M. (2018). Environmental Monitoring and Assessment. *Impact of physicochemical parameters on heavy metal mobility in river bottom sediments*, 190(11), 669.
- Buczek, K., Michalik, A., & Kostecki, M. . (2018). Mobility of heavy metals in river sediments under variable pH and salinity conditions. *Science of the Total Environment*, 628–629, 400–410.
- Cedeño, J., Cabrera, L, & Mendoza, J. (2020). Impacto de la actividad industrial en la calidad de agua del río Teaone, Esmeraldas. *Revista Ecuatoriana de Ciencias Ambientales*, 7(1), 45–56.
- Cedeño, R., López, S., & Vega, F. (2020). Revisión de metales pesados en el río Teaone: fuentes urbanas e industriales. . *Informe Técnico UNACH*, 14, 1–20.
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133, 285–296.
- Förstner, U., & Wittmann. (2012). *Metal pollution in the aquatic environment*. Springer Science & Business Media.

- Galea, K., & Schifano, A. (2019). The role of international collaboration in environmental research. *Science and Public Policy*, 46(5), 755-762.
- García, M., López, A., & Rodríguez, B. (2018). Análisis estadístico multivariado de metales pesados en sedimentos fluviales de cuencas tropicales. *Revista Ecuatoriana de Ciencias Ambientales*, 12(2), 134–145.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2024). Metodología de la investigación (6.ª ed.). México: McGraw-Hill Education.
- Huang, L., Song, X., Hong, H., & Li, X. (2021). Sources and ecological risk assessment of heavy metals in sediments of urban rivers. *Marine Pollution Bulletin*, 165, 112122.
- Islam, M. S., Ahmed, M. K., Raknuzzaman, M., & Habibullah-Al-Mamun, M. (2020). A global overview of heavy metals in the urban environment: Sources, risks and remediation. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 36071–36098.
- La Hora. (2022). Daño ambiental al río Teaone. *Diario La Hora*.
- Liu, J., Wang, Z., Zhang, Y., Liu, Y., Yuan, W., & Zhang, T. (2019). Distribution and partitioning of heavy metals in a large anthropogenically impacted river, the Pearl River, China. *Acta Geochimica*, 38, 216–231.
- López-Maldonado, Y. (2022). Environmental contamination by heavy metals: A brief review. *Environmental Advances*, 4, 100064.
- Panagos, P., Ballabio, C., Lado, L., & Meusburger, K. (2018). Contamination of European river sediments by heavy metals: A continental-scale analysis. *Science of the Total Environment*, 621, 584–593.
- Peng, J. S. (2018). The remediation of heavy metals contaminated sediment. *Journal of Hazardous Materials*, 357, 1–14.

- Said, A., Shaker, H. M., & El-Sayed, A. . (2022). Statistical techniques in bibliometric analysis: An environmental science perspective. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(5), Article 335.
- Salomons, W., & Förstner, U. (1984). *Metals in the hydrocycle*. Springer-Verlag, Berlín.
- Serrano, D., Álvarez, L., & Jiménez, R. (2020). Aplicación de modelos geoespaciales para evaluar la contaminación por metales pesados en sistemas fluviales. *Revista Latinoamericana de Ciencias Ambientales*, 11(3), 145–160.
- Torres, P., Cruz, C., & Patiño, P. (2021). Impacto de la minería en la calidad de sedimentos del río Coca (Ecuador). . *Revista de Minería y Ambiente*, 5(1), 30–45.
- Vásquez, A., Pérez, J., & Ramos, M. . (2020). Contaminación por metales pesados en sedimentos del río Guayas, Ecuador. *Revista Ecuatoriana de Ciencias Ambientales*, 12(2), 45–60.
- Vega-Rodríguez, M. A., López-Pérez, L. A., & Ramírez-Luna, J. A. (2022). análisis bibliométrico de la investigación sobre contaminación acuática en América Latina. *Revista Iberoamericana de Ciencias Ambientales*, 13(1), 45–60. .
- Xu, J., Zhang, Y., Liu, H., & Wang, Y. (2020). Assessment of heavy metal pollution and health risks in urban river sediments. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 192, 11029.
- Yuan, X., Liu, C., Zeng, G., Zhong, H., Li, J. L., & Lai, X. (2021). Influence of heavy metals and aquatic pollution on microbial communities: A review. *Science of the Total Environment*. 773, 145640.

- Zhang, H., Chen, W., Wang, L., & Cheng, H. (2021). Heavy metals in surface sediments of urban rivers: Pollution assessment and source identification. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(6), 7317–7328.
- Zhao, Y., Lin, X., Wang, L., & Xu, M. (2023). Insights into bibliometric methods for environmental science: A comparative approach using VOSviewer and CiteSpace. *Environmental Technology & Innovation*, 29, 103089.
- Zhou, Q., Chen, L., & Wang, F. (2020). Spatial distribution and source identification of Pb and Cd in Yangtze River sediments. *Journal of Geochemical Exploration*, 208, 10–20.

ANEXOS

Anexo 1. Búsqueda de publicaciones en relación al tema principal, en la base de datos Scopus.

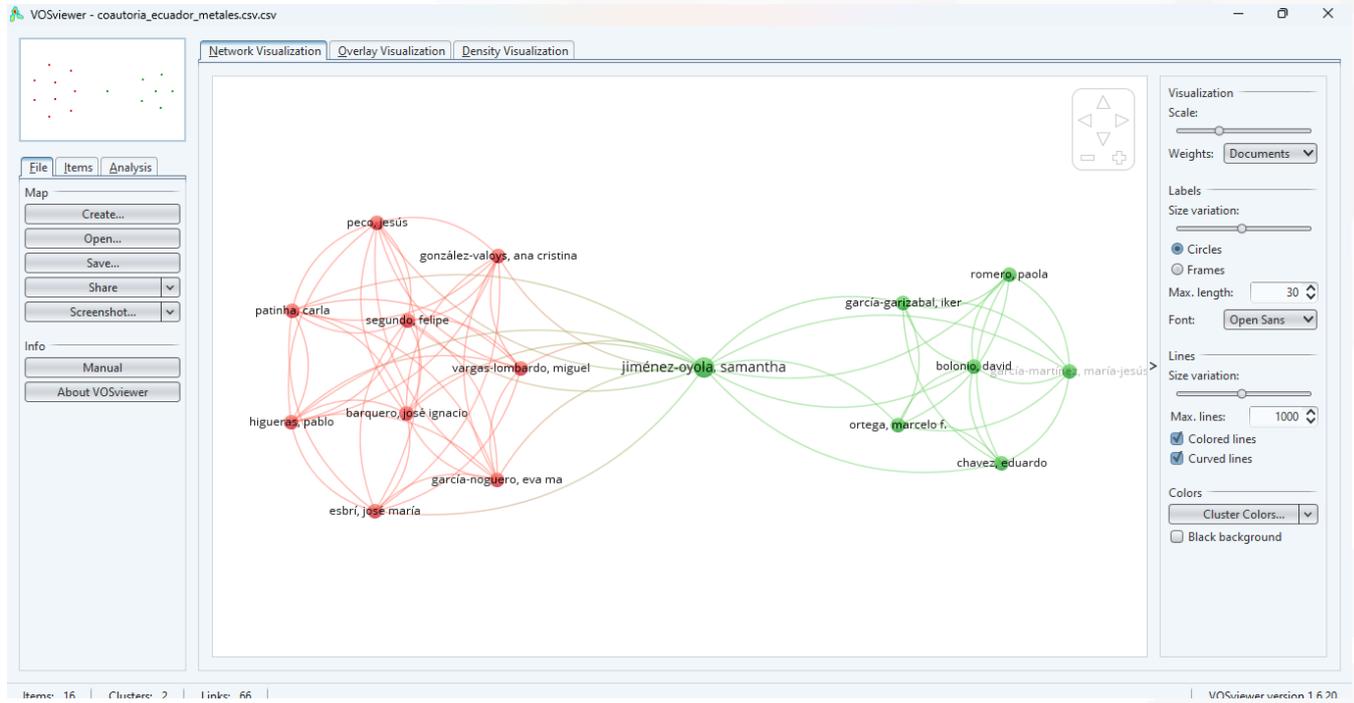
Document title	Authors	Source	Year	Citations
1 Article Comparison of two passive treatments to reduce the concentration of heavy metals in acid mine drainage: Calcium-magnesium and allophane-magnesium COMPARACIÓN DE DOS TRATAMIENTOS PASIVOS PARA DISMINUIR LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN DRENAJE ÁCIDO DE MINAS: CÁLCICO-MAGNÉSICO Y ALOFÁNICO-MAGNÉSICO	Collahuazo, L., Hermosa, P., Buitrón, D., Rojas, C., Guzmán-Martínez, F.	Revista Internacional De Contaminacion Ambiental, 41, pp. 93-103	2025	0
2 Conference Paper Heavy Metal Pollution Assessment in Surface Water and Groundwater in the Ponce Enríquez Mining Area, Ecuador Evaluación de la Contaminación por Metales Pesados en Aguas Superficiales y Subterráneas en el Campo Minero Ponce Enríquez, Ecuador	Villamar-Marozita, K., Zambrano-Anchundia, L., Aguilar, C., ... Garcés, D., Flores, N.	Proceedings of the Laccei International Multi Conference for Engineering Education and Technology, 2023-July	2023	1
3 Article - Open access Presence of heavy metals in raw bovine milk from Machachi	de la Cruz, E., Naranjo, A.	Grupos, 33(1), pp. 21-	2021	7

Anexo 2. Procesamiento de los datos bibliométricos con *Bibliometrix* en RStudio.

```
Avviso:
package 'bibliometrix' was built under R version 4.4.3
> install.packages("ggplot2")
Installing package into 'C:/Users/USER/AppData/Local/R/win-library/4.4'
(as 'lib' is unspecified)
--- Please select a CRAN mirror for use in this session ---
Error en contrib.url(repos, "source"):
trying to use CRAN without setting a mirror
> library(ggplot2)
Avviso:
package 'ggplot2' was built under R version 4.4.3
> # Contar artículos por año
> produccion_por_ano <- table(datos%Año)
> produccion_por_ano_df <- as.data.frame(produccion_por_ano)
> colnames(produccion_por_ano_df) <- c("Año", "Cantidad")
>
> # Gráfico
> ggplot(produccion_por_ano_df, aes(x = Año, y = Cantidad)) +
+   geom_bar(stat = "identity", fill = "steelblue") +
+   labs(title = "Producción Científica por Año",
+        x = "Año",
+        y = "Número de artículos") +
+   theme_minimal()
> |
```

Año	Número de artículos
2015	3
2016	1
2017	5
2018	4
2019	2
2020	2
2021	2
2022	3
2023	7
2024	1

Anexo 3. Análisis bibliométrico con VOSviewer.



UNEMI

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

¡Evolución académica!

@UNEMIEcuador

