



Universidad César Vallejo

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Efectividad de las técnicas de restauración ecológica en la  
recuperación de suelos degradados por actividades mineras en la  
región Latinoamericana: Una Revisión Sistemática.

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
Ingeniero Ambiental**

**AUTORES:**

Mamani Chura, Kenny Marwin (orcid.org/0000-0002-1785-2715)  
Paucar Pacheco, Edison (orcid.org/0000-0002-0661-2839)

**ASESOR:**

Dr. Lozano Sulca, Yimi Tom (orcid.org/0000-0002-0803-1261)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Desarrollo Sostenible y Adaptación al Cambio Climático

**LIMA – PERÚ**

**2023**

## DEDICATORIA

MAMANI C URA ENNY MAR IN

El presente trabajo va dedicado a mi madre Marcelina, que desde el cielo me ilumina para cumplir todos mis logros y objetivos, a mi padre Fredy por los consejos y enseñanzas que día a día me ha brindado y que me permite ser una persona de buenos valores, a mi Esposa e Hijos (Paul y Arlen) Quienes fueron mi motor y motivo para cumplir mis sueños y que viven a mi lado en los días y noches más difíciles durante mis horas de estudio. Todos ellos siempre han sido mis mejores guías de vida.

EDISON PAUCAR PAC ECO

Siempre me he sentido maravillado por la linda familia que tengo, siempre se han preocupado en mi desde el primer en que llegue a este mundo, me han formado para saber cómo luchar y salir victorioso ante las diversas adversidades de la vida. Este trabajo va dedicado a mis padres ERASMO Y ROSA quienes siempre me motivaron a cumplir mis sueños.

## AGRADECIMIENTO

MAMANI C URA ENNY MAR IN

Agradezco a DIOS por ayudarme a llegar hasta esta etapa de mi vida. A la Escuela de Ingeniería Ambiental de la Universidad César Vallejo por permitirme seguir avanzando y darme la oportunidad de poder obtener el título universitario.

EDISON PAUCAR PAC ECO

Agradezco a mi familia por apoyarme siempre en cumplir mis proyectos, también doy gracias a todos mis docentes quienes estuvieron durante todo el proceso de formación con sus mejores deseos.



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Declaratoria de Autenticidad del Asesor**

Yo, LOZANO SULCA YIMI TOM, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA NORTE, asesor de Tesis titulada: "Efectividad de las técnicas de restauración ecológica en la recuperación de suelos degradados por actividades mineras en la región Latinoamericana: Una Revisión Sistemática.", cuyos autores son MAMANI CHURA KENNY MARWIN, PAUCAR PACHECO EDISON, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 18.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

LIMA, 01 de Diciembre del 2023

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
LOZANO SULCA YIMI TOM DNI: 41134872 ORCID: 0000-0002-0803-1261	Firmado electrónicamente por: YTLOZANOS el 01- 12-2023 14:21:08

Código documento Trilce: TRI - 0676213





**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Declaratoria de Originalidad de los Autores**

Nosotros, MAMANI CHURA KENNY MARWIN, PAUCAR PACHECO EDISON estudiantes de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA NORTE, declaramos bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Efectividad de las técnicas de restauración ecológica en la recuperación de suelos degradados por actividades mineras en la región Latinoamericana: Una Revisión Sistemática.", es de nuestra autoría, por lo tanto, declaramos que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. Hemos mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Nombres y Apellidos	Firma
KENNY MARWIN MAMANI CHURA DNI: 44746184 ORCID: 0000-0002-1785-2715	Firmado electrónicamente por: KEMAMANICH el 01-12-2023 18:29:56
EDISON PAUCAR PACHECO DNI: 76125478 ORCID: 0000-0002-0661-2839	Firmado electrónicamente por: EDPAUCARPA el 01-12-2023 18:35:11

Código documento Trilce: TRI - 0676228



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Declaratoria de Autenticidad.....	iv
Declaratoria de Originalidad.....	v
Índice de contenido .....	vi
Índice de tablas.....	vii
Índice de figuras .....	viii
Resumen.....	ix
Abstract.....	x
I.INTRODUCCIÓN .....	1
II.MARCO TEÓRICO.....	6
III.METODOLOGÍA.....	17
3.1.Tipo y diseño de investigación .....	17
3.2. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización.....	17
3.3.Escenario de estudio .....	18
3.4.Participantes .....	18
3.5.Técnica e instrumento de recolección de datos .....	18
3.6.Procedimiento .....	19
3.7.Rigor científico .....	20
3.8. Aspectos éticos.....	20
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	21
V. CONCLUSIONES.....	28
VI. RECOMENDACIONES.....	29
REFERENCIA.....	30
ANEXOS.....	41

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 : Técnicas de restauración ecológica .....	21
Tabla 2 : Efectividad de las técnicas de restauración ecológica.....	23
Tabla 3 : Factores que influyen en la efectividad de las técnicas de restauración ecológica.....	26

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 : Ciclo de conflicto minero.....	11
Figura 2 : Degradación del suelo.....	13
Figura 3 : Restauración ecológica de suelos degradados.....	15
Figura 4 : Criterios de inclusión y exclusión.....	20

## RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la efectividad de las técnicas de restauración ecológica en la recuperación de suelos degradados por actividades mineras en la región Latinoamericana; planteando para ello una metodología de tipo cualitativa con diseño sistemático.

En los resultados se obtuvo que, las técnicas de restauración ecológica más utilizadas en la recuperación de suelos degradados por actividades mineras en la región Latinoamericana son las técnicas físicas; aplicadas en más de un 80% de los estudios analizados. La efectividad de las técnicas de restauración en términos de la recuperación de la biodiversidad y la calidad del suelo dependen del tipo de restauración siendo la restauración activa la más empleada entre los diversos investigadores a nivel de Latinoamérica, además la efectividad en todos los estudios es positivo, presentando alta eficiencia de la restauración ecológica en la recuperación de los suelos degradados por actividades mineras en términos de la recuperación de la biodiversidad y la calidad del suelo. Los factores que influyen en la efectividad de las técnicas de restauración ecológica en la recuperación de suelos degradados por actividades mineras se encuentran los sistemas imperfectos de gobernanza, las dificultades para implementar técnicas de restauración y los aspectos económicos (falta de financiamiento).

**Palabras clave:** restauración, recuperación, minería, degradación

## **ABSTRACT**

The objective of this study was to evaluate the effectiveness of ecological restoration techniques in the recovery of soils degraded by mining activities in the Latin American region, using a qualitative methodology with a systematic design.

The results showed that the most used ecological restoration techniques in the recovery of soils degraded by mining activities in the Latin American region are physical techniques, applied in more than 80% of the studies analyzed. The effectiveness of restoration techniques in terms of biodiversity recovery and soil quality depends on the type of restoration, being active restoration the most used among the different researchers in Latin America. In addition, the effectiveness in all the studies is positive, showing high efficiency of ecological restoration in the recovery of soils degraded by mining activities in terms of biodiversity recovery and soil quality. Factors influencing the effectiveness of ecological restoration techniques in the recovery of soils degraded by mining activities include imperfect governance systems, difficulties in implementing restoration techniques, and economic aspects (lack of financing).

**Keywords:** restoration, reclamation, mining, degradation.

## **I. INTRODUCCIÓN**

Uno de los sectores económicos más importantes de América Latina es la minería, ya que contribuye significativamente al crecimiento económico y al desarrollo social. Sin embargo, esta actividad puede tener impactos negativos en el medio ambiente, especialmente en los suelos, que son el soporte fundamental de la vida y la biodiversidad (Ramos, 2016). La degradación del suelo relacionada con la minería puede dar lugar a importantes problemas medioambientales, como la erosión del suelo, la pérdida de biodiversidad, la pérdida de potencial productivo y la contaminación del aire y el agua (Carranza et al., 2013).

Un problema medioambiental mundial que afecta a muchas naciones es el deterioro del suelo. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) estima que la contaminación, la erosión y la pérdida de materia orgánica son las principales causas de la degradación del suelo en todo el mundo, y representan alrededor de un tercio de toda la degradación del suelo (FAO, 2015). La degradación del suelo es un problema importante en América Latina que afecta negativamente a la calidad de vida de la población local, así como a la biodiversidad y la productividad agrícola (Rodríguez-Luna et al., 2016).

Uno de los principales factores que contribuyen al deterioro del suelo en América Latina son las actividades mineras (Carvajal, 2019). Hay que remover grandes extensiones de tierra para cosechar minerales, y los suelos también deben exponerse a los elementos -lluvia, viento y sol-, lo que puede causar erosión y reducir la capacidad de producción del suelo (Carranza et al., 2013). Además, los metales pesados y otros compuestos peligrosos pueden contaminar los suelos como consecuencia de las actividades mineras, lo que tiene un efecto perjudicial sobre la biodiversidad y el nivel de vida de las poblaciones circundantes (González-Posada et al., 2019).

La degradación del suelo relacionada con la minería tiene efectos perjudiciales para el medio ambiente, la economía y la sociedad. La pérdida del potencial productivo de la tierra repercute en la seguridad alimentaria y la producción agrícola de la población local, y la erosión del suelo puede provocar corrimientos

de tierras y otros desastres naturales catastróficos que amenazan las infraestructuras y la vida humana (Carranza et al., 2013). Además, la contaminación del suelo puede provocar malestar social y político entre las comunidades cercanas y las empresas mineras, así como repercutir en la salud de los residentes locales y los animales (González-Posada et al., 2019).

Las estrategias de restauración ecológica que permiten recuperar los suelos dañados por las explotaciones mineras son imperativas frente a este problema. El objetivo de la restauración ecológica es devolver los ecosistemas dañados o destruidos a su estado original o a uno lo más parecido posible (SER, 2004). En lo que respecta a la minería, la restauración ecológica puede ser un instrumento vital para recuperar los suelos, reactivar los servicios ecosistémicos y restablecer la biodiversidad en las regiones donde se ha practicado la minería (Malla et al., 2018).

No obstante, sigue habiendo desacuerdo sobre la eficacia de los métodos de restauración ecológica para recuperar los suelos latinoamericanos dañados por las explotaciones mineras. Por lo tanto, para evaluar la eficacia de estos métodos y determinar los enfoques y tácticas más apropiados para la restauración ecológica en este entorno concreto, es necesario realizar una evaluación exhaustiva de la bibliografía (Malla et al., 2018).

Realidad problemática: Una de las zonas más afectadas por las actividades mineras, que han provocado la erosión del suelo y el declive de la biodiversidad, es América Latina. Incluso con la aplicación de métodos de restauración ecológica, la recuperación del suelo sigue siendo difícil debido a la escasez de datos sobre la eficacia de estos métodos. El objeto de estudio son las técnicas de restauración ecológica utilizadas en la recuperación de suelos degradados por actividades mineras en la región Latinoamericana, con el fin de evaluar su efectividad en la recuperación de la biodiversidad y la calidad del suelo. La falta de información sobre la efectividad de estas técnicas impide la toma de decisiones informadas sobre cómo abordar la degradación del suelo en la región, lo que puede tener graves consecuencias ambientales y económicas.

Los profesionales de América Latina que trabajan en los campos de la gestión ambiental y la restauración ecológica deberían tomar nota de esta revisión

sistemática, ya que les proporcionará información sobre métodos y mejores prácticas para la restauración ecológica en regiones impactadas por la minería. Además, la formulación de políticas públicas y planes de gestión ambiental en la zona puede beneficiarse de este estudio, que puede ayudar a las empresas mineras, las autoridades y los residentes locales a tomar decisiones bien informadas (Malla et al., 2018).

Por lo cual para determinar que tratamiento es el más efectivo se plantea el siguiente problema general:

¿Cuáles son las técnicas más efectivas para recuperar los suelos degradados por actividades mineras en la región Latinoamericana?

Así mismo los siguientes problemas específicos:

) ¿Cuáles son las técnicas de restauración ecológica más utilizadas en la recuperación de suelos degradados por actividades mineras en la región Latinoamericana?

) ¿Cuáles son las técnicas de restauración ecológica que se utilizan actualmente en la región Latinoamericana para recuperar los suelos degradados por la actividad minera?

) ¿Cuál es la efectividad de las técnicas de restauración ecológica utilizadas actualmente en la región Latinoamericana para recuperar los suelos degradados por la actividad minera?

De acuerdo a ello se plantea el siguiente objetivo general:

Evaluar la efectividad de las técnicas de restauración ecológica en la recuperación de suelos degradados por actividades mineras en la región Latinoamericana.

Mientras que los objetivos específicos son:

) Identificar las técnicas de restauración ecológica más utilizadas en la recuperación de suelos degradados por actividades mineras en la región Latinoamericana.

) Evaluar la efectividad de las técnicas de restauración ecológica en la recuperación de los suelos degradados por actividades mineras en términos de la recuperación de la biodiversidad y la calidad del suelo.

) Identificar los factores que influyen en la efectividad de las técnicas de restauración ecológica en la recuperación de suelos degradados por actividades mineras.

El presente estudio presentará una justificación Teórica: Esta investigación contribuirá a llenar el vacío de conocimiento sobre la efectividad de las técnicas de restauración ecológica en la recuperación de suelos degradados por actividades mineras en la región Latinoamericana, lo que puede proporcionar

Justificación práctica: La información generada a través de esta investigación será útil para los profesionales de la ingeniería ambiental y otros expertos en el campo de la restauración ecológica, ya que permitirá identificar las técnicas más efectivas para recuperar los suelos degradados por actividades mineras en la región Latinoamericana. Esto puede ayudar a mejorar la eficacia de las prácticas de restauración ecológica, lo que a su vez puede contribuir a una mayor protección del medio ambiente y a la mejora de la calidad de vida de las comunidades locales.

Justificación social: La actividad minera en la región Latinoamericana ha tenido un impacto negativo en las comunidades locales, que han sufrido la pérdida de sus medios de subsistencia y la disminución de la calidad de vida debido a la degradación ambiental. Esta investigación puede ayudar a mejorar la efectividad de las técnicas de restauración ecológica, lo que a su vez puede contribuir a la recuperación de la biodiversidad y la mejora de la calidad de vida de las comunidades locales.

Justificación ambiental: Uno de los principales factores que contribuyen al deterioro del medio ambiente en América Latina son las actividades mineras, que han provocado una disminución de la calidad del suelo y de la biodiversidad. La implementación de técnicas de restauración ecológica puede ayudar a recuperar los suelos degradados y a restaurar la biodiversidad de la región, lo que puede tener un impacto positivo en el medio ambiente a largo plazo.

Justificación económica: Para la nación en su conjunto y el área latinoamericana en concreto, la minería es una fuente importante de ingresos. Sin embargo, las economías local y nacional pueden verse perjudicadas por los daños medioambientales que causa esta actividad. La implementación de técnicas de restauración ecológica efectivas puede ayudar a minimizar este impacto negativo, al tiempo que se promueve la sostenibilidad ambiental y económica. Además, esta investigación puede contribuir a la identificación de prácticas más eficientes y rentables de restauración ecológica, lo que puede ser beneficioso para las empresas mineras y otras empresas involucradas en la actividad económica de la región.

## II. MARCO TEÓRICO

La sección de antecedentes es fundamental para establecer un contexto histórico y teórico que permita comprender el problema de investigación y su relevancia. Con la revisión de los antecedentes, se podrán identificar vacíos en el conocimiento y proponer soluciones innovadoras que contribuyan al avance científico.

Ante ello, se presenta a nivel internacional los siguientes antecedentes:

Comín et al. (2008), en su trabajo tuvo como objetivo de evaluar la eficacia de la restauración ecológica de suelos degradados por la minería en la Península Ibérica. En la metodología, los estudios fueron clasificados según las estrategias de restauración empleadas y se evaluaron sus efectos en la biodiversidad, la calidad del suelo y la estabilidad del ecosistema. En los resultados; los autores encontraron que la restauración ecológica fue efectiva para mejorar la biodiversidad y la calidad del suelo en los suelos degradados por la minería en la Península Ibérica. Además, la combinación de varias estrategias de restauración fue más efectiva que la aplicación de una sola estrategia. El estudio destaca la importancia de realizar monitoreo a largo plazo para evaluar la efectividad de la restauración. En resumen, Los hallazgos de este estudio sugieren que la restauración ecológica es una estrategia efectiva para recuperar suelos degradados por la minería en la Península Ibérica. Estos resultados podrían ser valiosos para el desarrollo de estrategias de restauración en otras regiones del mundo con actividades mineras importantes y similares impactos ambientales. Asimismo, el estudio resalta la necesidad de utilizar una combinación de estrategias de restauración y de realizar un seguimiento a largo plazo para evaluar adecuadamente la eficacia de la restauración ecológica.

Ramírez-Valiente et al. (2015), tuvo en su trabajo como objetivo evaluar la efectividad de tres estrategias de restauración ecológica en suelos degradados por la minería en el sureste de España. En los resultados; los autores encontraron que la siembra de semillas recolectadas en la región fue la estrategia más efectiva para recuperar la diversidad vegetal en los sitios restaurados, aumentando significativamente la riqueza y abundancia de especies en comparación con los sitios no restaurados. Este estudio destaca la

importancia de utilizar especies autóctonas en la restauración ecológica para aumentar la probabilidad de éxito y puede ser útil para el desarrollo de estrategias de restauración en la región latinoamericana, donde la recuperación de la diversidad vegetal es un objetivo importante en la restauración de suelos degradados por la minería.

El estudio de Bala et al. (2018), El objetivo de este estudio era evaluar la eficacia de diversas estrategias de restauración ecológica para recuperar la calidad del suelo y la biodiversidad en regiones indias dañadas por la minería. Los autores compararon en la metodología tres enfoques de restauración: siembra directa, aplicación de compost enriquecido con microbios y restauración natural. La estrategia de aplicación de compost enriquecido con microorganismos demostró ser la más eficaz para mejorar la calidad del suelo y aumentar la variedad y cantidad de especies vegetales en las regiones recuperadas. Los autores han demostrado que la aplicación de compost enriquecido con microorganismos es un método eficaz para restaurar regiones dañadas por la minería en la India. Además, la técnica puede tener aplicaciones potenciales en la región latinoamericana para la restauración de la biodiversidad y la calidad del suelo. Para maximizar la eficacia de la restauración ecológica, este estudio subraya la importancia de utilizar estrategias de restauración adaptadas a las características locales únicas de cada lugar degradado.

El objetivo general del estudio de Rodríguez-Malagon et al. (2019) fue evaluar la eficacia de diversos métodos de restauración ecológica en México para restaurar suelos dañados por la minería. Para evaluar los resultados se utilizaron mediciones de la cubierta vegetal, la diversidad y composición de las especies y la calidad del suelo. Los resultados demostraron que, en comparación con las técnicas de siembra directa de semillas o la aplicación de compost por sí solas, la combinación de estos dos métodos tuvo un mayor impacto en la restauración de la calidad del suelo, la cubierta vegetal y la diversidad de especies. Los autores llegan a la conclusión de que, en las regiones de México donde la minería ha deteriorado el medio ambiente, es necesaria una combinación de estrategias de restauración para que la restauración ecológica tenga éxito, y que estos resultados pueden tener implicaciones para la restauración del suelo en toda América Latina. Este estudio destaca la importancia de la selección

adecuada de técnicas de restauración ecológica y su combinación para lograr una restauración efectiva y sostenible de suelos degradados por la minería en la región latinoamericana.

El objetivo general del estudio de Cerdà (2016) fue evaluar la eficacia de diversos métodos de restauración ecológica para recuperar suelos europeos dañados por las explotaciones mineras. La metodología empleada por el autor consistió en un estudio de la literatura científica y un análisis de casos prácticos para evaluar la eficacia de técnicas de restauración como la bioingeniería, la revegetación y el uso de enmiendas orgánicas. Los resultados muestran que la bioingeniería es útil para estabilizar los taludes de las minas, mientras que la revegetación es un método eficaz para recuperar la estructura del suelo y la retención de agua. Se ha demostrado que añadir adiciones orgánicas al suelo puede mejorar su fertilidad, ayudarle a retener el agua y disminuir la erosión del suelo. El autor concluye que una combinación adecuada de técnicas de restauración es necesaria para lograr una recuperación sostenible de suelos degradados por la actividad minera en Europa. El estudio de Cerdà es importante porque proporciona una guía útil para la selección de técnicas de restauración adecuadas en la región latinoamericana, que comparte similitudes con Europa en términos de condiciones climáticas y tipos de suelos.

El objetivo general del estudio de Guevara-Álvarez (2020) fue realizamos un análisis exhaustivo de la literatura científica para determinar si los métodos de restauración ecológica son útiles para restaurar los suelos latinoamericanos debilitados por la minería. En su investigación, los autores utilizaron la base de datos Web of Science para localizar los artículos pertinentes y, a continuación, examinaron la información para determinar los mejores métodos de restauración. Los resultados muestran que la bioingeniería es útil para estabilizar taludes y reducir la erosión del suelo, mientras que la revegetación es un método eficaz para reconstruir la estructura del suelo y aumentar la biodiversidad. Se ha demostrado que la adición de enmiendas orgánicas puede mejorar la fertilidad del suelo y la retención de agua. Los autores concluyen que una combinación adecuada de técnicas de restauración, adaptadas a las condiciones específicas de cada sitio, es esencial para lograr una recuperación sostenible de suelos degradados por la actividad minera en América Latina.

El objetivo general del estudio de Moreno (2017) fue examinar la literatura científica para averiguar a qué obstáculos se enfrenta la restauración ecológica de los ecosistemas dañados. El enfoque adoptado fue un estudio metódico de la literatura científica. Según los resultados, los principales obstáculos a la restauración ecológica son la falta de financiación, el desconocimiento de la ecología del lugar, la falta de cooperación y compromiso de las partes interesadas y la falta de evaluación a largo plazo de los proyectos. Los autores llegan a la conclusión de que para garantizar el éxito de la restauración ecológica es necesario mejorar la planificación y el diseño de los proyectos, así como la participación activa de todas las partes interesadas. La investigación de Moreno-Mateos et al. es pertinente para la tesis que nos ocupa porque ofrece valiosas perspectivas sobre las limitaciones asociadas a la rehabilitación ecológica de los suelos dañados por las minas en América Latina.

El objetivo general del estudio de García-Orenes et al., (2013) fue evaluar la eficacia de diversos métodos de restauración ecológica en la recuperación de suelos debilitados por explotaciones mineras en la zona mediterránea de España. Se evaluaron varias estrategias de restauración, como la aplicación de enmiendas orgánicas, la plantación de plantas autóctonas y la revegetación con materiales orgánicos, utilizando una metodología de diseño cuasi-experimental. Los resultados muestran que los métodos de restauración aumentaron considerablemente la variedad y abundancia de especies vegetales, disminuyeron la erosión del suelo y mejoraron su calidad. Los autores llegan a la conclusión de que la restauración de suelos dañados en la zona mediterránea de España mediante el uso de técnicas de restauración ecológica puede ser un planteamiento acertado. La investigación tiene importancia para la tesis que nos ocupa, ya que aporta valiosos conocimientos sobre la eficacia de diversas metodologías de restauración ecológica en la rehabilitación de suelos deteriorados por la explotación minera en una región que comparte características con América Latina.

El objetivo general del estudio de López et. al. (2008) fue evaluar cómo afecta la restauración hidrológica a la capacidad de los ríos de montaña de los Pirineos españoles para restaurar la calidad de sus aguas. Se evaluaron varias estrategias de restauración hidrológica, como la construcción de terrazas y la

revegetación de las riberas, utilizando una metodología de diseño experimental. Los resultados muestran que la diversidad y riqueza de organismos acuáticos, así como las concentraciones de nutrientes y partículas en suspensión, mejoraron considerablemente con los métodos de restauración hidrológica. Los autores llegan a la conclusión de que mejorar la calidad del agua de los ríos de montaña de los Pirineos españoles mediante la restauración hidrológica puede ser una táctica acertada. El estudio es pertinente para la tesis que nos ocupa porque ofrece datos útiles sobre la eficacia de la restauración hidrológica para recuperar la calidad del agua de los ríos de montaña, lo que puede ser importante para recuperar la calidad del agua de las regiones mineras latinoamericanas.

El objetivo del estudio de Córdova, et. al. (2022) fue para evaluar la eficacia de diversos métodos de restauración ecológica en el restablecimiento de la calidad del suelo en regiones mexicanas dañadas por la minería. Se identificaron lugares degradados y se aplicaron varios tratamientos de restauración, como la fertilización y la enmienda del suelo con materia orgánica. Según los resultados, el mejor método para restaurar la calidad del suelo en regiones donde la minería ha dañado el suelo es suplementar el suelo con materia orgánica. Los autores llegaron a la conclusión de que la restauración ecológica puede ser un plan de recuperación exitoso para lugares de México que han sido perjudicados por la minería. Debido a que se concentra en variables de investigación comparables y ofrece detalles útiles sobre las estrategias de restauración ecológica que pueden tener éxito en la recuperación de la calidad del suelo en zonas de América Latina afectadas por la minería, este estudio es pertinente para la tesis que nos ocupa.

Cabe destacar que una de las principales fuentes de degradación de los suelos en América Latina es la industria minera, a pesar de que la restauración ecológica ha surgido como un instrumento crucial para la recuperación de los suelos dañados por las operaciones mineras (Joniec et al., 2019).

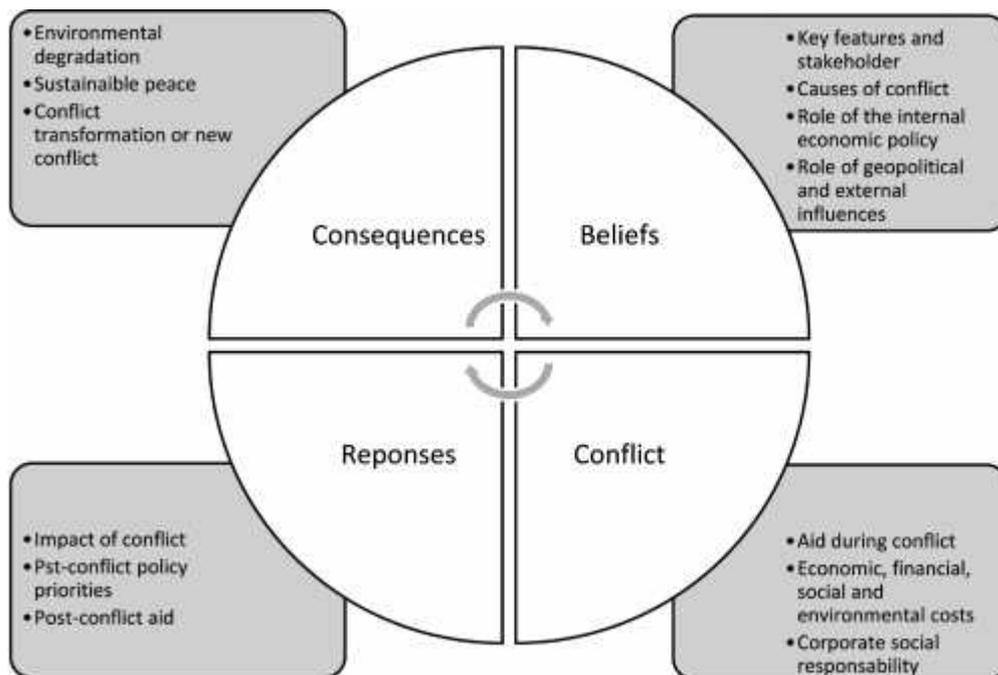
Ante ello, la promoción de la minería bajo el enfoque extractivista ha permitido apropiarse y construir espacios intranacionales en beneficio de las empresas y a costa de la población y los territorios que ocupan, con un crecimiento desigual entre regiones geográficas (Uribe et al., 2021).

Así lo demuestra la industria minera peruana; el cual crece al mayor ritmo de la historia moderna y genera actualmente casi el 50% de las divisas del país, el 20% de sus ingresos fiscales y el 11% de su PIB (Rossini et al., 2012).

A pesar de la creciente preocupación por los problemas sociales y medioambientales que plantean las explotaciones mineras, la expansión económica sigue considerándose una condición previa más importante para el desarrollo que la búsqueda de soluciones a los problemas de degradación (Ayeh y Bleicher, 2021).

El Observatorio de Conflictos Mineros en América Latina (OCMAL) ha identificado operaciones de conflictos mineros, que pueden organizarse según creencias, conflictos, reacciones y resultados como se aprecia en la figura 1 adaptado por Doussoulin et al., (2022).

Figura 1. Ciclo de conflicto minero



Fuente: Adaptado de Doussoulin et al., (2022).

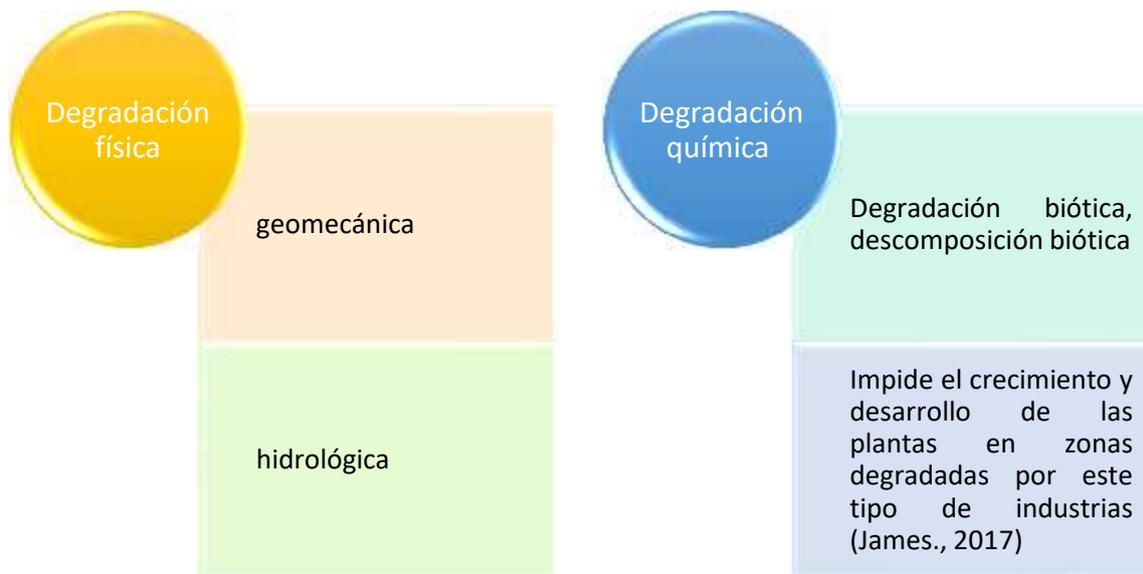
Como consecuencia, una creciente preocupación mundial es el deterioro de la fertilidad del suelo en las regiones mineras, que presenta graves amenazas para la productividad agrícola y el entorno natural (Wang et al., 2021).

Esto se debe a que las actividades mineras modifican las propiedades del suelo y generan nuevos usos de la tierra, que dañan el paisaje y los ecosistemas (Cetin et al., 2023).

Por ejemplo; el tipo más grave de daño ecológico directo atribuible a la minería del carbón es el hundimiento del terreno, que agrava la degradación del suelo, le confiere una textura arenosa y aumenta la probabilidad de que se produzcan catástrofes geológicas como corrimientos de tierras y flujos de escombros (Dejun et al., 2016).

Ante ello existen dos tipos de degradación del suelo impulsada por las actividades mineras (Ver gráfico 1).

Gráfico 1. Tipos de degradación de suelo



Elaboración propia

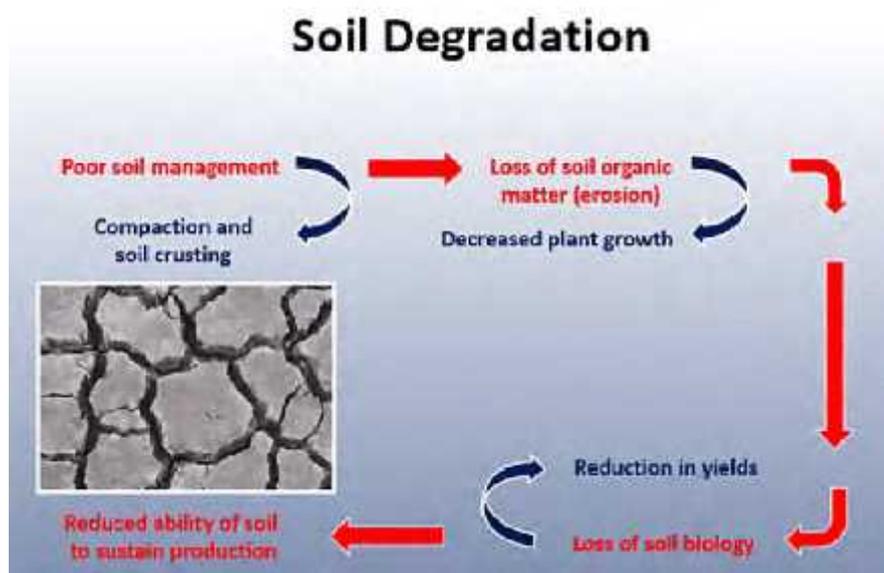
Es por ello, que el agotamiento de las tierras en una delicada ecología de terreno alpino se está convirtiendo en un problema importante en muchas regiones del mundo (Gobinath et al., 2022).

Donde, el suministro mundial de alimentos está en peligro debido a la degradación del suelo, que hace que se pierdan entre 36.000 y 75.000 millones de toneladas de suelo al año, así como a la escasez de agua dulce (Borrelli et al., 2017).

El problema mundial de la degradación del suelo se ve agravado por el aumento de la actividad humana y la presencia asociada de contaminantes, la disminución del contenido de materia orgánica, la menor capacidad de retención de agua y una mayor propensión de los nutrientes del suelo a filtrarse y exportarse (Mitchell et al., 2022).

La degradación del suelo afecta a 1.900 millones de hectáreas de tierra en todo el mundo, y cada año, aproximadamente 24.000 millones de toneladas de suelo son arrastradas irremediablemente (Yousulf et al., 2022).

Figura 2. Degradación del suelo



Fuente: Schahczenski, (2017)

En todo el mundo se produce erosión del suelo, pero en los países Latinoamericanos se han visto especialmente afectadas por la lucha de los agentes agrícolas para reponer los nutrientes y suelos perdidos (Mohamed et al., 2016).

Además, los contaminantes entran en otros componentes de la biosfera, como el agua y la atmósfera, cuando el suelo degradado no cumple sus funciones de filtrado y amortiguación.

Así, las ventajas comparativas de un territorio y su potencial geológico como emplazamiento de importantes yacimientos minerales han sido la base de las políticas nacionales y subnacionales de desarrollo promovidas por algunos

gobiernos latinoamericanos en los últimos años, haciendo hincapié en la dependencia de la explotación del medio ambiente y la maldición de los recursos regionales explotados para prácticas mineras (Uribe-Sierra et al., 2023).

Donde, diversas técnicas de restauración ecológica en 38 sitios mineros en México, encontraron que la combinación de técnicas como la siembra de especies nativas, la remoción de material estéril y la aplicación de compost, resultó en una mayor recuperación de la diversidad biológica y la calidad del suelo (Pérez-Maqueo et al., 2018).

Ante ello, la restauración ecológica de las zonas mineras se refiere a la corrección de los problemas ecológicos provocados por las actividades mineras, como los riesgos geológicos, los daños al suelo y los daños a la vegetación (Asr et al., 2019). Mediante el uso de fuerzas naturales o la intervención humana, con el fin de estabilizar el entorno geológico, recuperar las tierras dañadas y mejorar las funciones del ecosistema (Farjana et al., 2019).

La restauración ecológica minera es un método tecnológico construido sobre la base teórica de la destrucción y restauración de los ecosistemas terrestres; muchos países han prestado gran atención a la importancia de la restauración ecológica minera y la han estudiado a fondo (Hancock et al., 2020).

Uno de los autores más reconocidos en el campo de la restauración ecológica de suelos degradados por la minería es el Dr. Jürgen Bauhus; quien en su estudio evaluó la restauración de suelos degradados por la minería de bauxita en Australia, mediante la plantación de especies nativas y la incorporación de materia orgánica; encontrando que la restauración ecológica aumentó la diversidad de especies vegetales y animales, mejoró la calidad del suelo y redujo la erosión (Bauhus et al., 2014).

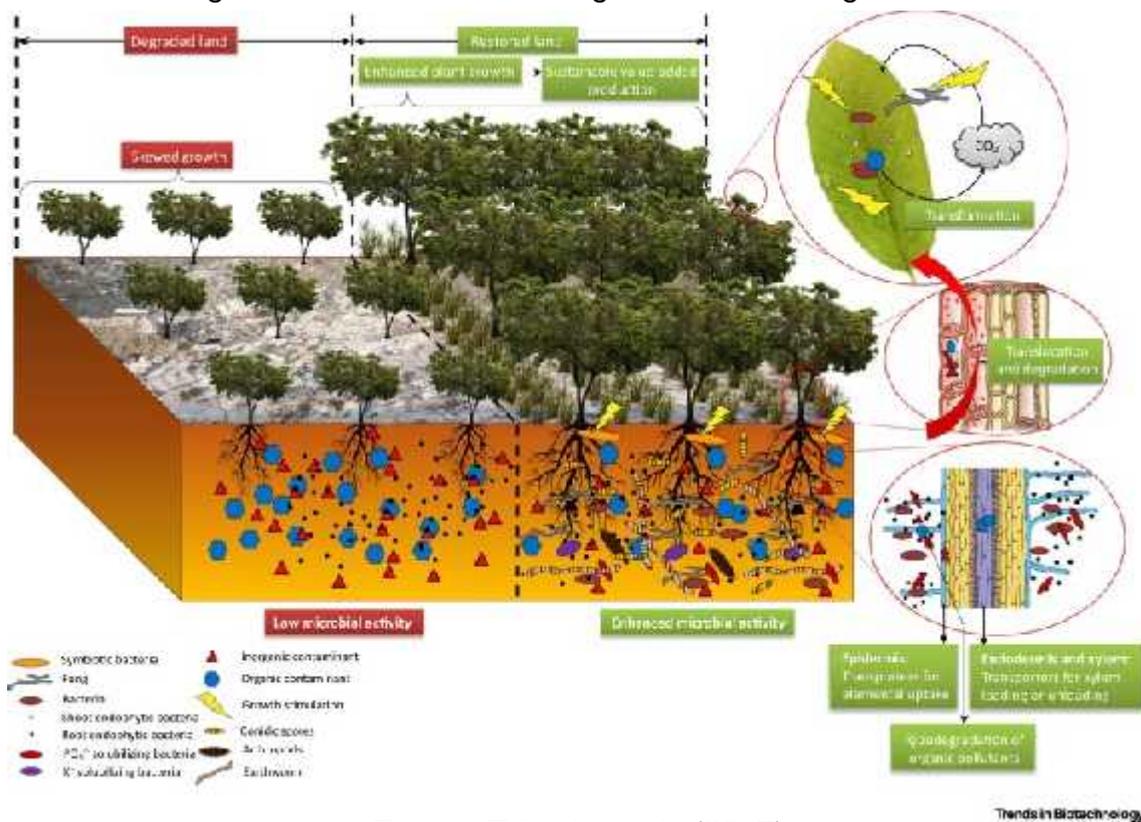
Así también en Indonesia, utilizando técnicas de enriquecimiento de suelos y la plantación de especies nativas se evaluó la restauración de suelos degradados por la minería afirmando que la restauración ecológica mejora la calidad del suelo y la biodiversidad local; además, es preciso destacar la importancia de involucrar a las comunidades locales en los proyectos de restauración ecológica, para

fomentar la apropiación y la sostenibilidad a largo plazo de estas iniciativas (Bauhus et al., 2018).

Además, la combinación de técnicas de revegetación y manejo del agua, puede mejorar significativamente la estabilidad del suelo y reducir la erosión (Serrano-Ortiz et al., 2020). Así como la recuperación de la diversidad biológica, aunque los resultados pueden variar según la región y las técnicas empleadas (Moreno-Perdomo et al., 2021).

Entre estas, la técnica de restauración en suelos mineros demuestra que la siembra de especies nativas y la aplicación de enmiendas orgánicas y minerales son las técnicas más efectivas para mejorar la calidad del suelo y la biodiversidad (Xu et al., 2020).

Figura 3. Restauración ecológica de suelos degradados



Fuente: Tripathi et al., (2017)

De acuerdo con la figura 3, se muestra la recuperación y restauración; donde el círculo simboliza varios mecanismos celulares implicados en la absorción, acumulación y transformación de contaminantes, y la especie vegetal aplicada

en la ilustración muestra el papel de los microbios beneficiosos en la limpieza in situ.

La restauración de suelos mineros mediante la siembra de árboles y la aplicación de compost mejora significativamente la calidad del suelo y la diversidad biológica (Tariq et al., 2018). Como se demostró en Brasil, donde la aplicación de enmiendas orgánicas y la siembra de especies vegetales nativas mejoran significativamente la calidad del suelo y la biodiversidad (Tavares et al., 2021).

Es así como también en la región minera de Asturias, España se evaluó la efectividad de la restauración ecológica en áreas degradadas por la minería del carbón mediante la siembra de especies arbóreas y arbustivas, y encontraron que estas prácticas lograron una significativa recuperación de la calidad del suelo y del hábitat para la fauna local (Rodríguez-Loínaz et al., 2019).

En general, estos antecedentes evidencian que la restauración ecológica puede ser una herramienta efectiva para la recuperación de suelos degradados por actividades mineras en Latinoamérica, y destacan la importancia de la combinación de técnicas y la adaptación a las condiciones específicas de cada sitio. Estos hallazgos contribuyen al objetivo de esta tesis al proporcionar evidencia empírica de la efectividad de las técnicas de restauración ecológica en la recuperación de suelos degradados por actividades mineras en la región latinoamericana.

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y diseño de investigación

##### 3.1.1. Tipo de investigación

Debido a que la recolección y el análisis de datos se utilizan para afinar las preguntas de investigación, este estudio es cualitativo (Baptista, et al., 2014). Previamente, mediante la recolección metódica de datos que permita su análisis e interpretación (Bernardo Zárate et al., 2019).

Pertenece a la categoría lógica, ya que no formula una pregunta, sino que procede de conceptos amplios a instancias específicas. Son precisos e inequívocos después de reconocer las definiciones, postulados y afirmaciones de la teoría sobre circunstancias específicas (Baena Paz, 2017). diseño narrativo, ya que los testimonios, entrevistas y documentos proporcionan los datos (Bernardo Zárate et al., 2019).

##### 3.1.2 Diseño de Investigación

Como indican Sánchez et al. (2018), una revisión sistemática es un diseño no experimental, analítico, bibliográfico, observacional y retrospectivo. Su protocolo de trabajo comienza con la formulación de una pregunta clara y estructurada, junto con la definición de los términos que se utilizarán en la búsqueda de artículos relevantes para abordar la pregunta.

Se buscaron las bases de datos de los artículos originales, se eligieron y se utilizaron los datos recogidos en ellas para los análisis estadísticos, que luego se llevaron a cabo para revelar los hallazgos del estudio (Moreno et al., 2018).

#### 3.2. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización

Se ha creado una matriz que tiene en cuenta los siguientes factores, así como el tema del estudio, a través de las evaluaciones bibliográficas de varios trabajos y proyectos de investigación:



Para una mejor representación la tabla ubicada en Anexo 1 ordenará la información de manera precisa para los fines de la investigación.

### **3.3. Escenario de estudio**

Los laboratorios y el campo donde se realizaron los estudios sobre la elaboración de carbón activado con residuos vegetales secos para la adsorción de cromo en medios acuosos se toman en consideración como lugares de escenario porque el presente estudio, al ser una revisión sistemática, carece de un entorno físico en el que se lleven a cabo los estudios. Estos estudios son artículos científicos extraídos de fuentes indexadas internacionalmente.

### **3.4. Participantes**

Las fuentes de las que se extrajeron las publicaciones y revistas científicas son los participantes en el estudio. Los portales web como las páginas institucionales, las bibliotecas electrónicas y virtuales y las bases de datos bibliográficas son ejemplos de estas fuentes.

Existen numerosas bases de datos que permiten realizar búsquedas científicas, incluidas las de artículos científicos. Este estudio hace uso de Sciencedirect, Scielo y Scopus.

### **3.5. Técnica e instrumento de recolección de datos**

Dado que las pruebas documentales deben conservarse con frecuencia para futuras evaluaciones, el uso del análisis documental es crucial (Calvini et al., 2020, p.1).

En este trabajo se utiliza el enfoque del análisis documental. Según Hartland et al. (2005), el método o métodos utilizados para el análisis documental dependerán principalmente de los objetivos y el contexto de la investigación.

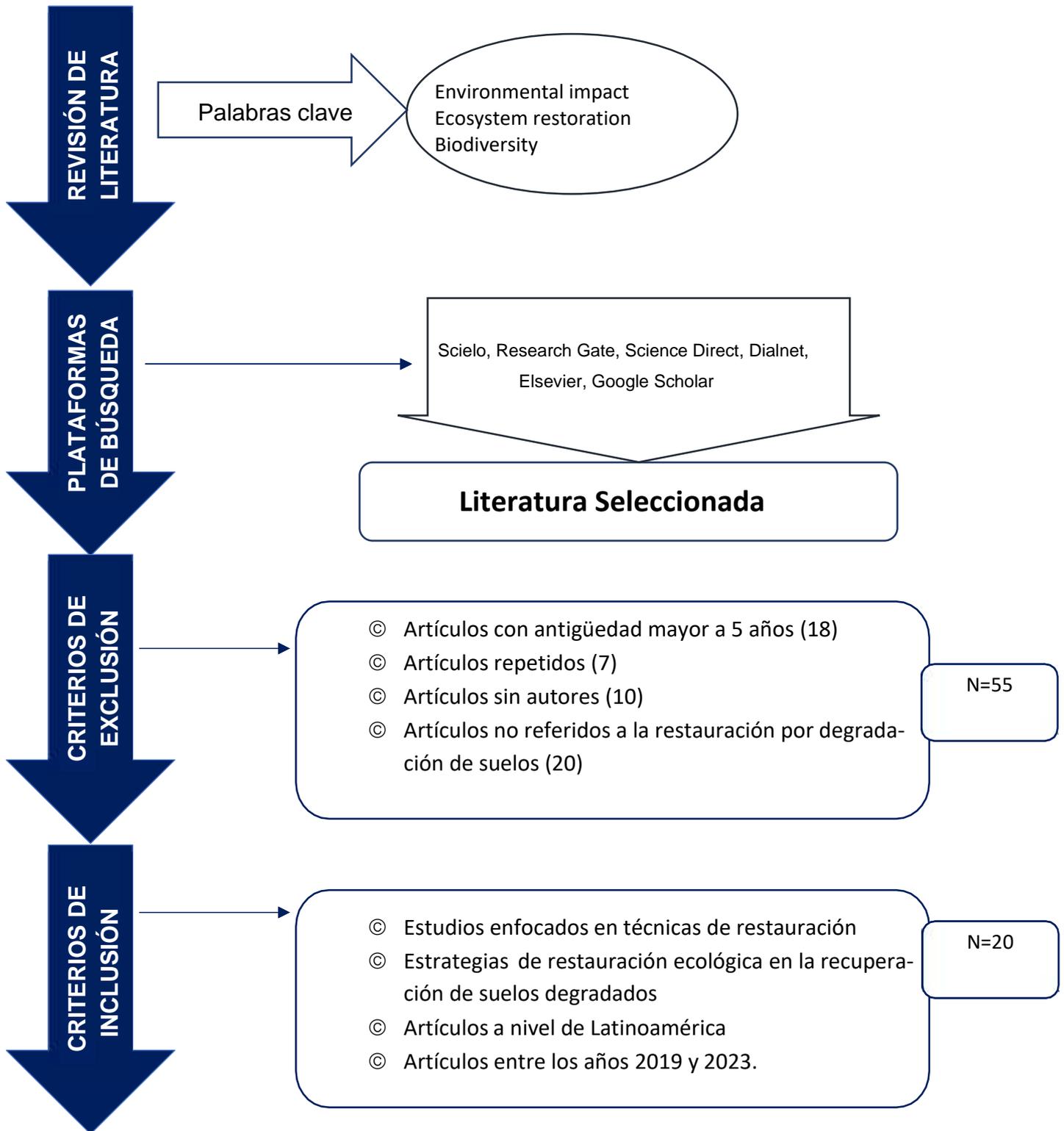
En consecuencia, la investigación utiliza el formulario de análisis de contenido para recopilar datos (véase el anexo 2).

Con la ayuda de diversas técnicas de inferencia, el contenido original puede transformarse automáticamente mediante esta ficha de análisis de contenido, que es una técnica de transcodificación automática. Se detallarán los datos de los documentos utilizados, incluidos los datos del autor, los objetivos, los métodos y los resultados, entre otros detalles que ayuden a la síntesis de los documentos originales.

### **3.6. Procedimiento**

En la figura 3 se esbozan los cuatro pasos que componen la metodología del estudio experimental: la revisión bibliográfica, la plataforma de búsqueda, los criterios de exclusión y los criterios de inclusión.

Figura 4. Criterios de inclusión y exclusión



### **3.7. Rigor científico**

La aplicación de los criterios mencionados. En primer lugar, se ha buscado asegurar la credibilidad y validez de la investigación a través de una revisión exhaustiva de la literatura existente sobre el tema de estudio y la selección de fuentes confiables y relevantes. Además, se ha aplicado la transferibilidad de los resultados mediante la comparación de los hallazgos de la investigación con estudios similares en otros contextos.

Por otro lado, se ha buscado garantizar la fiabilidad o confirmación de los resultados mediante el uso de métodos rigurosos y confiables en la recolección y análisis de datos, así como la aplicación repetida de estos métodos en diferentes etapas de la investigación. Se ha procurado evitar la influencia de intereses personales del autor y mantener la objetividad en el análisis e interpretación de los resultados.

Finalmente, se ha buscado la consistencia de los hallazgos de la investigación con los resultados de otros estudios similares, de manera que se confirme la veracidad de los mismos y se valide la interpretación y conclusiones obtenidas. De esta manera, se puede afirmar que se ha aplicado un riguroso proceso científico en la investigación.

### **3.8. Aspectos éticos**

Para el desarrollo del presente trabajo se ha dado cumplimiento del respeto a la identidad, nombrando a cada autor debidamente citado de acuerdo a la Norma ISO 690-II, de quienes se utilizó información, así como el respeto a lo establecido por la guía de productos observables, cumpliendo con los principios fundamentales éticos.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se identificó las técnicas de restauración ecológica más utilizadas en la recuperación de suelos degradados por actividades mineras en la región Latinoamericana, mediante la tabla 1.

Tabla 1. Técnicas de restauración ecológica

<b>Método de restauración</b>	<b>Criterio</b>	<b>País</b>	<b>Fuente</b>
<b>Físico</b>	Reforestación (árboles)	Brasil	Gastauer et al., 2020
<b>Físico</b>	Reforestación (plantas y árboles)	Brasil	Martins et al., 2020
<b>Físico</b>	Reforestación	Perú	Román et al., 2021
<b>Físicos</b>	Restauración (plantación de plántulas forestales)	Brasil	Dos Santos et al., 2023
<b>Físicos</b>	Restauración	Brasil	De Oliveira et al., 2023
<b>Físico</b>	Restauración (plantación de plántulas)	Perú	De souza et al., 2023
<b>Físico</b>	Restauración ecológica de regeneración natural	Brasil	Neto et al., 2021
<b>Físico</b>	Restauración con cambio de uso del suelo	Brasil	De Carvalho et al., 2022
<b>Químico</b>	Agente bioestimulante	Brasil	De souza et al., 2021

<b>Físico</b>	Reforestación (plantas y árboles)	Brasil	De paiva et al., 2020
<b>Físico</b>	Cambio de cobertura	Brasil	Abe et al., 2019
<b>Químico</b>	Fitorremediación	Brasil	Asensio et al., 2019
<b>Físico</b>	Construcción de terrazas	Brasil	Urzedo et al., 2020
<b>Físico</b>	Remediación de suelos	Brasil	Santos y Tubino, 2021
<b>Físico</b>	Restauración ecológica (especies leñosas nativas)	Argentina	Zeberino y Pérez, 2020
<b>Físico</b>	Reforestación (plantas)	Brasil	Pinto et al., 2020

Se puede concluir que las técnicas más utilizadas en la recuperación de suelos degradados por actividades mineras en la región Latinoamericana son las técnicas físicas; aplicadas en más de un 80% de los estudios analizados.

Ramírez-Valiente et al. (2015), presenta respaldo a los resultados obtenidos, afirmando que la restauración física es la ideal para la restauración ecológica; ya que, tuvo en su trabajo como objetivo evaluar la efectividad de tres estrategias de restauración ecológica en suelos degradados por la minería en el sureste de España, donde se encontró que la restauración física mediante siembra de semillas recolectadas en la región fue la estrategia más efectiva para recuperar la diversidad vegetal en los sitios restaurados, aumentando significativamente la riqueza y abundancia de especies en comparación con los sitios no restaurados.

Por su parte, De souza et al., (2023), menciona que la restauración mediante la siembra de plantas y plántulas forestales, es la ideal como técnica de restauración ecológica en la recuperación de suelos degradados por actividades mineras en la región Latinoamericana y también es la más utilizada, respaldado

por Zeberino y Pérez, 2020, Pinto et al., 2020, De paiva et al., 2020, De souza et al., 2023, Dos Santos et al., 2023, Gastauer et al., 2020, Martins et al., 2020

Así también apoyando lo anteriormente dicho, Comín et al. (2008), menciona que la combinación de varias estrategias de restauración fue más efectiva que la aplicación de una sola estrategia para la restauración ecológica, logrando mejorar la biodiversidad y la calidad del suelo en los suelos degradados por la minería.

Pero también la construcción de terrazas es ideal para aplicarse para mejorar los resultados de la restauración del paisaje y, de hecho, la prestación de servicios ecosistémicos en general (Urzedo et al., 2020).

Ello debido a que, la revegetación es una técnica efectiva para recuperar la estructura del suelo y la retención de agua; concluyendo que una técnica o una combinación de técnicas adecuada de técnicas de restauración es necesaria para lograr una recuperación sostenible de suelos degradados por la actividad minera (Cerdà, 2016).

Córdova, et. al. (2022), reafirma que la enmienda del suelo con materia orgánica fue la técnica más que demuestra alta efectividad para la recuperación de la calidad del suelo en áreas degradadas por la minería.

Sin embargo, la recuperación de la biodiversidad y de la calidad del suelo se incluyó a la hora de evaluar la eficacia de las estrategias de restauración ecológica en la recuperación de suelos degradados a causa de las explotaciones mineras. En el cuadro 2 se presenta una evaluación detallada de la bibliografía de América Latina.

Tabla 2. efectividad de las técnicas de restauración ecológica

<b>Criterio</b>	<b>Tipo de restauración</b>	<b>Efectividad de recuperación</b>	<b>Fuente</b>
-----------------	-----------------------------	------------------------------------	---------------

<b>Reforestación (árboles)</b>	Activa	Positiva	Gastauer et al., 2020
<b>Reforestación (plantas y árboles)</b>	Activa	Positiva	Martins et al., 2020
<b>Reforestación</b>	Activa	Positiva	Román et al., 2021
<b>Restauración (plantación de plántulas forestales)</b>	Activa	Positiva	Dos Santos et al., 2023
<b>Restauración</b>	Activa	Positiva	De Oliveira et al., 2023
<b>Restauración (plantación de plántulas)</b>	Activa	Positiva	De souza et al., 2023
<b>Restauración ecológica de regeneración natural</b>	Pasiva	Positiva	Neto et al., 2021
<b>Restauración con cambio de uso del suelo</b>	Pasiva y activa	Positiva	De Carvalho et al., 2022
<b>Agente bioestimulante</b>	Activa	Positiva	De souza et al., 2021
<b>Reforestación (plantas y árboles)</b>	Activa	Positiva	De paiva et al., 2020
<b>Cambio de cobertura</b>	Activa	Positiva	Abe et al., 2019
<b>Fitorremediación</b>	Activa	Positiva	Asensio et al., 2019
<b>Construcción de terrazas</b>	Activa	Positiva	Urzedo et al., 2020
<b>Remediación de suelos</b>	Pasiva	Positiva	Santos y Tubino, 2021

<b>Reforestación (plantas)</b>	Activa	Positiva	Zeberino y Pérez, 2020
<b>Reforestación (plantas)</b>	Activa	Positiva	Pinto et al., 2020

Dependiendo del tipo de restauración, los enfoques de restauración ecológica pueden ayudar a restaurar los suelos degradados causados por las operaciones mineras en términos de biodiversidad y calidad del suelo.

Entre los diversos estudios la restauración activa es la más empleada, así mismo, la efectividad en todos los estudios es positivo, presentando alta eficiencia de la restauración ecológica en la recuperación de los suelos degradados por actividades mineras en términos de la recuperación de la biodiversidad y la calidad del suelo.

Ello debido a que, la restauración activa es el acto de preservar las funciones inherentes a los ecosistemas mediante la intervención humana y el fomento de la creación de mecanismos de recuperación en regiones que han perdido las suyas propias como consecuencia de su alteración o destrucción; como la siembra de semillas, plantación árboles o uso de compost Urzedo et al., 2020, De paiva et al., 2020, Martins et al., 2020, Dos Santos et al., 2023, Pinto et al., 2020; entre otros.

Así en el estudio de Guevara-Álvarez (2020), se da a conocer que la efectividad de la restauración activa mediante la revegetación es una técnica efectiva para restaurar la estructura del suelo y aumentar la biodiversidad; incrementando así la efectividad de la técnica de restauración en términos de recuperación de la biodiversidad y la calidad del suelo degradado por actividades mineras.

García-Orenes et al., (2013), aplicando la técnica de restauración confirma que se mejora de manera efectiva la calidad del suelo, y que aumentan la diversidad y abundancia de especies vegetales y redujeron la erosión del suelo.

Respaldando lo obtenido, por su parte Bala et al. (2018), en su estudio compararon tres técnicas de restauración pasiva y activa: la restauración natural, la siembra directa de semillas y la aplicación de compost enriquecido con microorganismos, donde los resultados mostraron que la técnica de restauración activa con la aplicación de compost enriquecido con microorganismos fue la más efectiva para mejorar la calidad del suelo y aumentar la diversidad y abundancia de especies vegetales en las áreas restauradas.

Resultados similares también menciona López et. al. (2008), afirmando que las técnicas de restauración hidrológica mejoran significativamente la calidad del agua en términos de concentraciones de nutrientes y sólidos suspendidos, así como la diversidad y abundancia de especies acuáticas.

Rodriguez-Malagon et al. (2019), afirma que en la recuperación de suelos degradados por la minería en México aplicando la combinación de las técnicas de siembra directa de semillas y aplicación de compost tuvo un mayor efecto en la recuperación de la calidad del suelo, la cobertura vegetal y la diversidad de especies, en comparación con las técnicas de siembra directa de semillas o la aplicación de compost solas.

Por último, en el cuadro 3 se enumeran las variables que influyen en la eficacia de los métodos de restauración ecológica para restaurar los suelos erosionados por las explotaciones mineras.

Tabla 3. Factores que influyen en la efectividad de las técnicas de restauración ecológica

Factores que influyen	Sistema imperfecto de gobernanza	Descripción	Fuente
		Para incorporar las preocupaciones sociales y ecológicas, la restauración ecológica de los suelos degradados en una zona minera incluye complicadas iniciativas sistémicas que exigen la participación de varias partes	Pinto et al., 2020 Román et al., 2021 Dos Santos et al., 2023

en la efectividad de la restauración ecológica		interesadas, como organizaciones gubernamentales, empresas mineras y miembros de la comunidad local.	
	Dificultades para implementar técnicas de restauración	Si las prácticas de restauración ecológica en una región minera no se basan en hechos científicamente comprobados, con falta de fundamento teórico y una asistencia técnica inadecuada, seguirá habiendo riesgos de fallos de ingeniería.	De Oliveira et al., 2023 De souza et al., 2023 Neto et al., 2021
	Aspectos económicos (falta de financiamiento)	La falta de dinero hace imposible llevar a cabo proyectos de restauración de forma eficaz durante un largo periodo de tiempo, lo que impide el desarrollo de experiencias y prácticas de restauración aceptables a escala nacional. Debido a la escasez de financiación, se invierte menos en investigación, tecnología, innovación y seguimiento ecológico.	Asensio et al., 2019 Urzedo et al., 2020 Santos y Tubino, 2021

Las estructuras de gobernanza imperfectas, las dificultades para poner en práctica las técnicas de restauración y los factores económicos (falta de dinero) influyen en la eficacia de los planteamientos de restauración ecológica para recuperar los suelos degradados por las explotaciones mineras.

Así apoyando lo mencionado en la tabla 3, en el estudio de Moreno (2017), afirma que las principales limitaciones en la restauración ecológica son la falta de financiación, la falta de conocimiento de la ecología del sitio, la falta de participación y colaboración entre las partes interesadas y la falta de evaluación a largo plazo de los proyectos de restauración.

## **V. CONCLUSIONES**

Se puede concluir que las técnicas de restauración ecológica más utilizadas en la recuperación de suelos degradados por actividades mineras en la región Latinoamericana son las técnicas físicas; aplicadas en más de un 80% de los estudios analizados.

La efectividad de las técnicas de restauración ecológica en la recuperación de los suelos degradados por actividades mineras en términos de la recuperación de la biodiversidad y la calidad del suelo dependen del tipo de restauración siendo la restauración activa la más empleada entre los diversos investigadores a nivel de Latinoamérica, además la efectividad en todos los estudios es positivo, presentando alta eficiencia de la restauración ecológica en la recuperación de los suelos degradados por actividades mineras en términos de la recuperación de la biodiversidad y la calidad del suelo.

Los factores que influyen en la efectividad de las técnicas de restauración ecológica en la recuperación de suelos degradados por actividades mineras se encuentran los sistemas imperfectos de gobernanza, las dificultades para implementar técnicas de restauración y los aspectos económicos (falta de financiamiento).

## **VI. RECOMENDACIONES**

Con el fin de crear estrategias para la restauración eficaz de las tierras degradadas, los científicos deben trabajar con los gobiernos de cada nación para abordar el problema de la degradación del suelo.

El presente estudio resalta la utilización de especies vegetales en la restauración ecológica de suelos degradados por la minería, por lo que, se recomienda realizar una comparación de la eficiencia del uso de especies nativas y aplicar enmiendas orgánicas en la restauración de suelos degradados por la minería y aportan evidencia para sustentar la efectividad de estas prácticas en diferentes regiones del mundo.

Así mismo, se recomienda combinación de técnicas para lograr una restauración ecológica efectiva en suelos degradados por la minería.

## REFERENCIAS

ABE, Camila Andrade, et al. Modeling the effects of land cover change on sediment concentrations in a gold-mined Amazonian basin. *Regional Environmental Change*, 2019, vol. 19, no 6, p. 1801-1813. <https://doi.org/10.1007/s10113-019-01513-8>

Amazon. Ecological Engineering, 169, 106243. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106243>

ASENSIO, V., et al. The potential of a Technosol and tropical native trees for reclamation of copper-polluted soils. *Chemosphere*, 2019, vol. 220, p. 892-899. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.12.190>

ASR, Elmira Tajvidi, et al. A review of studies on sustainable development in mining life cycle. *Journal of Cleaner Production*, 2019, vol. 229, p. 213-231. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.029>

AYEH, Diana; BLEICHER, Alena. One concept fits it all? On the relationship between geoethics and responsible mining. *The Extractive Industries and Society*, 2021, vol. 8, no 3, p. 100934. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2021.100934>

BAUHUS, J., KHANNA, P. K., & BARTH, M. (2014). The way forward: can ecological restoration help mining be less destructive to biodiversity? *Ecological Applications*, 24(5), 994-1007. <https://doi.org/10.1890/13-2230.1>

BAUHUS, J., FUJITA, Y., TOLAN, E., & EDGEWORTH, D. (2018). Forest restoration on post-mining sites in Indonesia: challenges and opportunities. *Forest Ecology and Management*, 418, 44-55. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.02.038>

Bala, A., Singh, S. K., & Bhardwaj, M. K. (2018). Comparative assessment of soil quality and vegetation parameters in restored and degraded mined areas in India. *Journal of Environmental Management*, 207, 100-109.

BHATTACHARYYA, Ranjan, et al. Soil degradation in India: Challenges and potential solutions. *Sustainability*, 2015, vol. 7, no 4, p. 3528-3570. <https://doi.org/10.3390/su7043528>

BORRELLI, Pasquale, et al. An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. *Nature communications*, 2017, vol. 8, no 1, p. 2013. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02142-7>

Carranza, E., Schuler, M., & Weber, R. (2013). Evaluación de la calidad de suelos impactados por la minería en Perú y Bolivia. *Boletín Geológico y Minero*, 124(2), 185-202. <http://hdl.handle.net/11146/560>

Carvajal, L. R. (2019). Análisis de la degradación de suelos por la minería en Latinoamérica. *Revista de Geografía Norte Grande*, (73), 129-145. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022019000200129>

Cerdà, A. (2016). Restoring degraded land from mineral extraction in Europe. *Journal of Soils and Sediments*, 16(3), 861-876.

CETIN, Mehmet, et al. Determination of the Impacts of Mining Activities on Land Cover and Soil Organic Carbon: Altintepe Gold Mine Case, Turkey. *Water, Air, & Soil Pollution*, 2023, vol. 234, no 4, p. 272. <https://doi.org/10.1007/s11270-023-06274-z>

Comín, F. A., Soriano, A., García-Meléndez, E., Martínez-Taberner, A., & Sebastiá, M. T. (2008). Restauración ecológica de suelos degradados por la

minería en la Península Ibérica: revisión y síntesis de resultados. *Ecosistemas*, 17(1), 72-89.

Corzo, G.A., Barón, G., Vargas, R., & Márquez, G. (2015). Efectividad de técnicas de restauración ecológica en áreas degradadas por la minería de carbón en Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 63(4), 1145-1159.

DE CARVALHO BARROS, Fernanda, et al. Taxonomic and functional diversity of bird communities in mining areas undergoing passive and active restoration in eastern Amazon. *Ecological Engineering*, 2022, vol. 182, p. 106721. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106721>

DE OLIVEIRA BRITO, Rodrigo, et al. Diversity and community structure of Drosophila (Hexapoda, Diptera) in post-mining sites under different forest restoration techniques in the Brazilian Amazon. *Restoration Ecology*, 2023, p. e13990. <https://doi.org/10.1111/rec.13990>

DE PAIVA SALOMÃO, Rafael, et al. Trajetória da restauração florestal de áreas mineradas ao longo de 17 anos em unidade de conservação na Amazônia/17-year forest restoration of mine areas in Amazon conservation unit. *Brazilian Journal of Development*, 2020, vol. 6, no 1, p. 3588-3609. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n1-258>

DE SOUZA BARBOSA, Rodrigo, et al. Key species selection for forest restoration after bauxite mining in the Eastern Amazon. *Ecological Engineering*, 2021, vol. 162, p. 106190. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106190>

DE SOUZA BARBOSA, Rodrigo, et al. Restoration of riparian ecosystems posterior to tin mining in the Central Amazon: Restoration indicators and

selection of suitable species for planting. *Ecological Engineering*, 2023, vol. 193, p. 107007. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2023.107007>

DEJUN, Yang; ZHENGFU, Bian; SHAOANG, Lei. Impact on soil physical qualities by the subsidence of coal mining: a case study in Western China. *Environmental Earth Sciences*, 2016, vol. 75, p. 1-14. <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5439-2>

DOS SANTOS, Cassio Rafael Costa, et al. Phosphorus adsorption in a degraded soil under forestry recovery after bauxite mining in Paragominas, eastern Amazon, Brazil. *Land Degradation & Development*, 2023, vol. 34, no 7, p. 2110-2123. <https://doi.org/10.1002/ldr.4593>

DOUSSOULIN, Jean Pierre; MOUGENOT, Benoit. Mapping mining and ecological distribution conflicts in Latin America, a bibliometric analysis. *Resources Policy*, 2022, vol. 77, p. 102650. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.102650>

DR. James G. Speight. Chapter Seven - Transformation of Inorganic Chemicals in the Environment. *Environmental Inorganic Chemistry for Engineers*. 2017, Pages 333-382. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-849891-0.00007-2>

FAO. (2015). *Global Soil Partnership: The Global Soil Partnership for Food Security and Climate Change Mitigation and Adaptation (No. 41)*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/3/a-i4894e.pdf>

FARJANA, Shahjadi Hisan, et al. A review on the impact of mining and mineral processing industries through life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 2019, vol. 231, p. 1200-1217. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.264>

GASTAUER, Markus, et al. Vegetative functional traits guide plant species selection for initial mineland rehabilitation. *Ecological Engineering*, 2020, vol. 148, p. 105763. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.105763>

GOBINATH, R., et al. Ecoengineering practices for soil degradation protection of vulnerable hill slopes. En *Computers in Earth and Environmental Sciences*. Elsevier, 2022. p. 255-270. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89861-4.00002-6>

González-Posada, M., Gómez-Espinosa, A., & Jaramillo-López, P. (2019). Evaluación de impactos ambientales por actividad minera: caso Colombia. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35(4), 583-594. <https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.04.05>

González-Palacio, L., Herrera-Mendoza, K., & Guevara-Álvarez, R. (2020). A systematic review of ecological restoration techniques for mining-degraded soils in Latin America. *Journal of Environmental Management*, 266, 110565. doi: 10.1016/j.jenvman.2020.110565

García-Orenes, F., Guerrero, C., Mataix-Solera, J., Navarro-Pedreño, J., Gómez, I., Mataix-Beneyto, J., & Jordán, M.M. (2013). Soil microbial biomass and activity under different agricultural management systems in a semiarid Mediterranean agroecosystem. *Applied Soil Ecology*, 61, 23-34. doi: 10.1016/j.apsoil.2012.09.006

HANCOCK, G. R.; DUQUE, JF Martín; WILLGOOSE, G. R. Mining rehabilitation—Using geomorphology to engineer ecologically sustainable landscapes for highly disturbed lands. *Ecological Engineering*, 2020, vol. 155, p. 105836. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.105836>

JONIEC, Jolanta, et al. Effect of reclamation treatments on microbial activity and phytotoxicity of soil degraded by the sulphur mining industry. *Environmental Pollution*, 2019, vol. 252, p. 1429-1438. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.06.066>

López-Moreno, J.I., Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S., & García-Ruiz, J.M. (2008). A comparative study of the performance of different interpolation methods in the estimation of snow depth in the Spanish Pyrenees. *Hydrological Processes*, 22(18), 3534-3546. doi: 10.1002/hyp.6969

MARTINS, Walmer Bruno Rocha, et al. Survival, growth and regeneration of forest species in mining areas in the Eastern Amazonia. *Scientia Plena*, 2020, vol. 16, no 6. <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2020.060204>

MITCHELL, Kerry, et al. Biochar and its potential to increase water, trace element, and nutrient retention in soils. En *Biochar in Agriculture for Achieving Sustainable Development Goals*. Academic Press, 2022. p. 25-33. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85343-9.00008-2>

MOHAMED, H. H. *Cause and effect of soil erosion in Boqol-Jire Hargeisa, Somaliland*. 2015. Tesis Doctoral. Ph. D Thesis, University of Hargeisa, Somalia.

Moreno-Mateos, D., Pedrocchi, C., Rodríguez-González, P.M., Palmer, M.A., & Aronson, J. (2017). Restoring degraded wetlands: An example from southern Europe. *Journal of Applied Ecology*, 54(2), 373-381. doi: 10.1111/1365-2664.12730

NETO, Alberto Bentes Brasil, et al. Natural regeneration for restoration of degraded areas after bauxite mining: A case study in the Eastern

Amazon. *Ecological Engineering*, 2021, vol. 171, p. 106392.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106392>

PECO, Jesús D., et al. Abandoned mine lands reclamation by plant remediation technologies. *Sustainability*, 2021, vol. 13, no 12, p. 6555.  
<https://doi.org/10.3390/su13126555>

PINTO, Luiz Fernando Spinelli, et al. Reclamation of soils degraded by surface coal mining. En *Mining techniques-past, present and future*. IntechOpen, 2020. <https://doi.org/10.5772/intechopen.93432>

PIRES, A. L., RIBEIRO, C., RODRIGUES, M. A., MONTEIRO, J., & VASCONCELOS, J. (2019). Ecological restoration of mine soils using native plant species: a case study in the Iberian Pyrite Belt. *Ecological Engineering*, 127, 300-308. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.11.017>

Ramos, A. (2016). Impactos ambientales de la minería en América Latina. *Revista de Ingeniería*, 44(1), 29-35. <https://doi.org/10.15517/ring.v44i1.20472>

Rodríguez-Luna, I. C., Sánchez-Montes, M. L., & Mora-Olivo, A. (2016). Problemática ambiental y social de la degradación del suelo en México. *Investigaciones Geográficas*, (90), 39-49. <https://doi.org/10.14350/rig.51120>

ROMÁN-DAÑOBEYTIA, Francisco, et al. Survival and early growth of 51 tropical tree species in areas degraded by artisanal gold mining in the Peruvian Amazon. *Ecological Engineering*, 2021, vol. 159, p. 106097.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.106097>

ROSSINI, Renzo, et al. Capital flows, monetary policy and forex intervention in Peru. *BIS background papers*, 2012, p. 261. ISBN 92-9197-886-8

PÉREZ-MAQUEO, O., MARTÍNEZ, M. L., VERDÚ, J. R., & CAMACHO-CERVANTES, M. (2018). Restauración ecológica en sitios mineros en México: una revisión. *Ecosistemas*, 27(1), 28-39. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1438>

SANTOS, Rogério Pires; TUBINO, Rejane. Potential evaluation of the use of construction and demolition waste (CDW) in the recovery of degraded soils by mining in Brazil. *Resources, Conservation & Recycling Advances*, 2021, vol. 12, p. 200060. <https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2021.200060>

SCHAHCZENSKI, Jeff; US, How Does Climate Disruption Influence; SOILS, Building Healthy Pasture. *Agriculture, Climate Disruption, and Carbon Sequestration*.  
[https://www.researchgate.net/publication/327919778\\_Building\\_Healthy\\_Pasture\\_Soils\\_2017](https://www.researchgate.net/publication/327919778_Building_Healthy_Pasture_Soils_2017)

SERRANO-ORTIZ, P., NAVARRO-PUENTE, J., NERI, A. L., & MARIMÓN, M. (2020). Soil rehabilitation strategies for mining areas in Mediterranean ecosystems: A review. *Science of The Total Environment*, 738, 140279. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140279>

MORENO-PERDOMO, R., ANAYA-RUIZ, M., ORTÍZ-SÁNCHEZ, A., & ÁVILA-RODRÍGUEZ, M. (2021). Restauración ecológica en suelos mineros en América Latina: Una revisión sistemática. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 73(1), 33-49. <https://doi.org/10.18268/BSGM2021v73n1a3>

PARDO-PRADO, M., LORES, M., & JAVIER GARCÍA-SANTOS, J. (2021). Restauración ecológica de suelos degradados por la minería del carbón en España: una revisión sistemática. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 37(2), 431-450. <https://doi.org/10.20937/RICA.2021.37.02.12>

RODRÍGUEZ-LOINAZ, G., BALLESTEROS, M., CALVO, L., & COBIÁN, G. M. (2019). Ecological restoration of coal mining areas: a case study in the coal mining region of Asturias (Spain). *Restoration Ecology*, 27(2), 258-267. <https://doi.org/10.1111/rec.12871>

TARIQ, S., SHAH, M. T., & ABDULLAH, S. (2018). Restoration of degraded mining sites with plant community, soil health, and socio-economic benefits. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(23), 22671-22687. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2388-x>

TRIPATHI, Vishal, et al. Biotechnological advances for restoring degraded land for sustainable development. *Trends in biotechnology*, 2017, vol. 35, no 9, p. 847-859. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2017.05.001>

Ramírez-Valiente, J. A., Gómez-Aparicio, L., Álvarez-Cansino, L., Mendoza-Fernández, A. J., Pérez-Ramos, I. M., Sánchez-Gómez, D., & Valladares, F. (2015). A regional assessment of the effectiveness of different techniques for ecological restoration of mining areas. *Journal of Applied Ecology*, 52(6), 1416-1425.

Rodriguez-Malagon, M. A., Rangel-Peraza, J. G., & Garcia-Oliva, F. (2019). The combined effect of direct seeding and compost application on the restoration of degraded mining soils in Mexico. *Ecological Engineering*, 129, 29-35

TAVARES, K. C., SILVA, L. R., DA SILVA, F. M., COSTA, M. A., SOARES, M. R., & DE CARVALHO, E. M. (2021). Soil attributes, plant diversity, and ecosystem services in restored areas after bauxite mining in the Brazilian

URIBE-SIERRA, Sergio Elías, et al. Mining, development and unequal regionalization in subnational Latin American contexts. *The Extractive*

*Industries and Society*, 2023, vol. 13, p. 101209.  
<https://doi.org/10.1016/j.exis.2022.101209>

URIBE-SIERRA, Sergio Elías; TOSCANA-APARICIO, Alejandra; BARRÓN-PALOS, Eduardo Javier. Conflictos y resistencias campesinas ante la violencia del extractivismo minero en Salaverna. *RIVAR (Santiago)*, 2021, vol. 8, no 24, p. 36-55. <http://dx.doi.org/10.35588/rivar.v8i24.5166>.

URZEDO, Danilo Ignacio, et al. A global production network for ecosystem services: The emergent governance of landscape restoration in the Brazilian Amazon. *Global Environmental Change*, 2020, vol. 61, p. 102059.  
<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2020.102059>

WANG, Ziguan, et al. Assessment of soil fertility degradation affected by mining disturbance and land use in a coalfield via machine learning. *Ecological Indicators*, 2021, vol. 125, p. 107608.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107608>

XU, W., WANG, C., ZHAO, Z., YANG, W., LI, Z., & QIU, R. (2020). Evaluating the effectiveness of ecological restoration strategies for mined land based on soil physicochemical and microbial indicators: A meta-analysis. *Science of The Total Environment*, 711, 135047.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135047>

YOUSUF, Abrar, et al. Application of WEPP model for runoff and sediment yield simulation from ungauged watershed in Shivalik foot-hills. En *Computers in Earth and Environmental Sciences*. Elsevier, 2022. p. 327-335.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89861-4.00028-2>

ZEBERIO, Juan M.; PÉREZ, Carolina A. Rehabilitation of degraded areas in northeastern Patagonia, Argentina: Effects of environmental conditions and

plant functional traits on performance of native woody species. *Journal of Arid Land*, 2020, vol. 12, p. 653-665. <https://doi.org/10.1007/s40333-020-0021-x>

## ANEXOS

### Anexo 1. Matriz de categorización apriorística

<b>Problema específico</b>	<b>Objetivo específico</b>	<b>Ámbito Temático</b>	<b>Categoría</b>	<b>Subcategoría</b>
¿Cuáles son las técnicas de restauración ecológica más utilizadas en la recuperación de suelos degradados por actividades mineras en la región Latinoamericana?	Identificar las técnicas de restauración ecológica más utilizadas en la recuperación de suelos degradados por actividades mineras en la región Latinoamericana	Técnicas de restauración ecológica	Métodos de restauración	· Físicos
				· Químicos
				· Biológicos
¿Cuáles son las técnicas de restauración ecológica que se utilizan actualmente en la región Latinoamericana para recuperar los suelos degradados por la actividad minera?	Evaluar la efectividad de las técnicas de restauración ecológica en la recuperación de los suelos degradados por actividades mineras en términos de la recuperación de la biodiversidad y la calidad del suelo	Efectividad de las técnicas de restauración ecológica	Tipos de técnicas de restauración	Restauración pasiva
				Restauración activa
				Restauración híbrida
¿Cuál es la efectividad de las técnicas de restauración ecológica utilizadas actualmente en la región Latinoamericana para recuperar los suelos degradados por la actividad minera?	Identificar los factores que influyen en la efectividad de las técnicas de restauración ecológica en la recuperación de suelos degradados por actividades mineras	Factores que afectan la efectividad de la restauración	Factores respecto al suelo	Tipo de suelo
				Tipo de actividad minera
				Condiciones climáticas
			Resultados de la restauración	Indicadores de recuperación del suelo
				Resultados cuantitativos
Resultados cualitativos				