

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

Perfil de proyecto de investigación:

"Estrategias de Restauración Ecológica para la Recuperación de Ecosistemas Degradados por Actividades Mineras en Madre de Dios"

Por:

Luis Huaycani Cotrado

Asesor:

Dr. Jorge Juvenal Bravo Hualla

Juliaca, junio del 2025

1. Planteamiento del problema

1.1. Problema

La región de Madre de Dios, en la Amazonía peruana, atraviesa una severa crisis ambiental debido a la minería aurífera ilegal, que ha provocado una degradación ecológica sin precedentes (López Tarabochia, 2016). La minería ilegal en Madre de Dios ha transformado vastas áreas de bosques amazónicos en terrenos áridos y desérticos, afectando la biodiversidad y contaminando cuerpos de agua esenciales para las comunidades locales (Tapia, 2025).

Entre 2021 y 2023, se estima que se perdieron más de 23,000 hectáreas de bosques en Madre de Dios a causa de la minería ilegal, con un incremento del 400 % en la presencia de infraestructura minera, especialmente en zonas críticas como La Pampa (Mongabay, 2023; Interferencia, 2024). Esta deforestación no solo afecta el equilibrio ambiental, sino que amenaza directamente a comunidades indígenas y áreas naturales protegidas (Mongabay, 2023).

Además, a ello se suma el uso indiscriminado de mercurio provocando una grave contaminación de ríos y suelos, afectando la salud de las comunidades locales y la biodiversidad acuática (Chumpitaz, 2023). Por esto Tarazona (2024) añade que la región libera alrededor de 181 toneladas de mercurio al año, afectando la salud de las comunidades locales y la biodiversidad acuática. Estudios recientes concuerdan con lo mencionado anteriormente, afectando también la fauna silvestre, como aves que presentan niveles de contaminación por encima de los límites considerados seguros (Mongabay, 2024).

Entonces, la degradación del suelo por la actividad minera se ha convertido grandes extensiones en terrenos infértiles, inhibiendo la regeneración natural y dificultando cualquier intento espontáneo de recuperación ecológica (PUCP, 2023). La ausencia de una fiscalización efectiva por parte del Estado ha permitido la expansión de estas actividades hacia territorios indígenas y zonas de amortiguamiento, generando no solo pérdidas ambientales, sino también económicas que superan los 500 millones de dólares solo en 2023 (Infobae, 2024).

La actividad minera, especialmente en zonas como La Pampa, ha incrementado significativamente, con un aumento del 400% en la infraestructura minera detectada (Sierra Praeli, 2023). En este contexto, es urgente diseñar e implementar estrategias de restauración ecológica que no solo rehabiliten los ecosistemas afectados, sino también fomentar procesos de gobernanza ambiental inclusiva, fortaleciendo la participación comunitaria y la cooperación interinstitucional para garantizar una recuperación sostenible y duradera en Madre de Dios (Profonanpe, 2025).

1.2. Justificación

La minería, aunque fundamental para el desarrollo económico, ha generado severos impactos ambientales en diversas regiones del mundo. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la exposición a metales pesados como el mercurio y el plomo, comunes en áreas mineras, representa una grave amenaza para la salud humana, afectando el sistema nervioso, respiratorio y reproductivo (OMS, 2021). Asimismo, la degradación del suelo, la contaminación del agua y la pérdida de biodiversidad comprometen gravemente los ecosistemas locales y los medios de vida de las comunidades cercanas (UNEP, 2020).

Esta investigación sobre restauración ecológica en zonas afectadas por la minería es fundamental para diseñar estrategias que permitan recuperar la funcionalidad ecológica, mitigar los daños ambientales y promover un equilibrio sostenible entre el desarrollo económico y la conservación del medio ambiente. Escobar (2018) describe cómo el proyecto de reforestación en Madre de Dios busca restaurar áreas degradadas por la minería mediante la siembra de diversas especies arbóreas, como el shihuahuaco y la lupuna, con el objetivo de recuperar la biodiversidad y los ecosistemas locales.

Además, estudios en Madre de Dios han demostrado que la reforestación en áreas impactadas por la minería puede restaurar la biodiversidad y mejorar la calidad del suelo, beneficiando tanto a las comunidades locales como a la fauna silvestre (Escobar, 2018).

La población beneficiaria incluye no solo a las comunidades locales, sino también a futuros habitantes y a la biodiversidad de los territorios intervenidos. Investigaciones en la región han identificado la presencia de más de 150 especies y más de mil corredores de conectividad en áreas impactadas por la minería, lo que resalta la importancia de estas zonas para la conservación de la biodiversidad (Sierra Praeli, 2023).

Este estudio permitirá implementar soluciones sostenibles, basadas en ciencia, que contribuyan a la regeneración del entorno y al bienestar social, económico y ecológico a largo plazo. “El Gobierno peruano ha aprobado el Plan Restauración, con un enfoque multisectorial y participación interinstitucional, para enfrentar la minería ilegal en Madre de Dios y promover el desarrollo sostenible en la región” (Noticias Madre de Dios, 2021).

1.3. Estado de arte

Estudios en La Libertad han demostrado que el uso de enmiendas orgánicas, como compost y microorganismos, mejora la fertilidad de los relaves mineros, logrando más del 80% de cobertura vegetal nativa en 24 meses (Tafur et al., 2019). En Cajamarca, investigaciones han evidenciado que especies como *Polylepis spp.* y *Cortaderia spp.* restauran redes tróficas en un período de 5 años (Gutiérrez, 2021). Además, el Ministerio del Ambiente (MINAM) ha respaldado el uso de enmiendas orgánicas como estrategia clave para la restauración en condiciones áridas (MINAM, 2020).

El Ministerio del Ambiente (MINAM, 2020) promueve la restauración ecológica como un enfoque estratégico para los ecosistemas altoandinos. En Moquegua, proyectos han utilizado *Tillandsia spp.* para absorber metales pesados, una estrategia validada por la OEFA (2022). En Ananea, Puno, la fitorremediación con *Festuca dolichophylla* y tiosulfato de amonio logró una reducción del 82% en la concentración de mercurio en suelos contaminados por minería (Arce Sancho, 2023).

Sin embargo, Zevallos (2018) analizó 15 proyectos en Ancash y halló que el 73% priorizó la cobertura vegetal rápida con gramíneas exóticas, ignorando funciones ecosistémicas; solo el 20% monitoreó la biodiversidad post-cierre. Por otro lado, Lizarzabal (2022) denunció que el 60% de áreas "restauradas" en Cerro de Pasco fueron abandonadas después de la certificación estatal, con degradación recurrente en 8 años. Además, CooperAcción (2021) cuestiona que los PAMAs (Planes de Adecuación Ambiental) no exigen participación comunitaria vinculante, lo que ha llevado a conflictos como en Las Bambas (Apurímac).

1.4. Objetivos

Objetivo general

Desarrollar e implementar acciones de restauración ecológica en zonas afectadas por la minería, mediante el diagnóstico ambiental, la revegetación con especies nativas, la mejora del suelo, el uso de técnicas sostenibles como la fitorremediación, el monitoreo ecológico y la participación comunitaria, con el fin de recuperar la biodiversidad, la funcionalidad del ecosistema y asegurar un equilibrio entre desarrollo económico y conservación ambiental.

Objetivos específicos

Diagnosticar el estado actual de degradación ambiental en zonas intervenidas por la minería, identificando los principales impactos ecológicos.

Diseñar un plan de restauración ecológica basado en criterios científicos y técnicos que incluyan la vegetación, recuperación de suelos y control de erosión.

Implementar prácticas de restauración adaptadas a las condiciones específicas del ecosistema afectado, utilizando especies nativas y técnicas sostenibles.

Monitorear y evaluar los avances del proceso de restauración mediante indicadores ecológicos y socioambientales, asegurando la efectividad de acciones aplicadas.

Fomentar la participación comunitaria y la educación ambiental entorno a la restauración ecológica y el manejo responsable de los recursos naturales.

1.5. Hipótesis

La aplicación de técnicas de restauración ecológica, como la fitoremediación y la revegetación con especies nativas, en áreas degradadas por actividades mineras, mejora significativamente la calidad del suelo, la biodiversidad, la cobertura vegetal y la estabilidad del ecosistema.

1.6. Variables

Variable independiente

- **Contaminación por metales pesados** (mercurio, plomo, cadmio, arsénico)

liberados durante la extracción minera.

- **Remoción de grandes cantidades de tierra**, lo que destruye la capa fértil del suelo.

- **Pérdida de cobertura vegetal**, que agrava la erosión del suelo.

- **Alteraciones climáticas** (sequías, aumento de temperaturas, precipitaciones irregulares).

- **Escasez de recursos financieros** para ejecutar programas de restauración adecuados.

Variables independientes

- **Contaminación del agua** en ríos y cuerpos hídricos cercanos, afectando ecosistemas y salud humana.

- **Degradación y erosión del suelo**, lo que dificulta la regeneración natural del ecosistema.
- **Pérdida de biodiversidad**, tanto de flora como de fauna local.
- **Procesos de restauración prolongados**, que pueden tomar décadas o siglos.
- **Inestabilidad ecológica**, pérdida de servicios ecosistémicos como la purificación del agua, la fertilidad del suelo y la regulación del clima.

2. Metodología

2.1. Diseño metodológico

La investigación es aplicativa y con enfoque mixto (cuantitativo y cualitativo). Se emplea un diseño cuasi-experimental, aplicando técnicas de restauración ecológica en zonas mineras degradadas. Se recopilan datos mediante observación, análisis de suelo y encuestas, y se analizan comparando el estado del ecosistema antes y después de la intervención.

2.2. Diseño muestral

Este estudio se enfoca en sitios degradados por minería ilegal, específicamente en la zona conocida como La Pampa, ubicada entre los kilómetros 98 de la carretera Interoceánica, en las cercanías de Puerto Maldonado. Esta región es una de las más afectadas por la extracción aurífera ilegal, con severa contaminación por mercurio, deforestación y pérdida de biodiversidad.

La población de estudio está constituida por áreas afectadas por la actividad minera ilegal. La muestra se seleccionará mediante un muestreo no probabilístico por

conveniencia, escogiendo sitios accesibles y representativos que presenten evidencias visibles de deterioro ecológico. El tamaño de la muestra dependerá de la disponibilidad en campo, seleccionándose una parte de la zona de dicho kilómetro, ingresando a un desvío en una zona en donde los mineros ilegales realizan dicho trabajo en una laguna y zona afectada.

Cada unidad de análisis será un sitio minero específico intervenido por actividades ilegales. Se aplicarán criterios de inclusión que consideren áreas abandonadas con alteración severa del suelo y la vegetación, mientras que se excluirán zonas activas o legalmente protegidas.

No se evaluarán humanos ni fauna directamente. El análisis se centrará en muestras de suelo, vegetación y condiciones del ecosistema, permitiendo evaluar el grado de deterioro y la necesidad de estrategias de restauración ecológica.

2.3. Técnicas de Recolección de Datos

Para la recolección de datos se puede recolectar la información, asegurando su validez y confiabilidad mediante procedimientos establecidos. Se emplearán instrumentos validados y metodologías respaldadas por teorías reconocidas. Además, se especificarán los insumos y procedimientos laborales a utilizar, incluyendo marcas y nombres de equipos cuando sea pertinente. La recolección de datos se apoyará en bases de datos especializadas con términos específicos, garantizando un muestreo riguroso y sistemático acorde al objetivo del estudio.

2.4. Técnicas estadísticas para el procesamiento de la información

Las técnicas estadísticas planificadas para comprobar las hipótesis incluyen análisis descriptivos y inferenciales, adaptados según la distribución de los datos. Se emplearán softwares como SPSS o R para realizar pruebas de normalidad, análisis de varianza, correlaciones y regresiones, garantizando la precisión de los resultados. En caso de datos no normales, se aplicarán pruebas no paramétricas adecuadas. Además, se contemplan métodos cualitativos complementarios si el estudio lo requiere, todo orientado a validar y respaldar las conclusiones con rigor científico.

2.5. Aspectos éticos

La presente investigación se rige por los principios éticos establecidos por la Universidad Peruana Unión (UPeU) y las normativas nacionales vigentes. En caso de involucrar participantes, se requerirá la aprobación previa del Comité de Ética correspondiente y la obtención del consentimiento informado de los participantes, asegurando su voluntariedad, confidencialidad y bienestar. En investigaciones con animales, será indispensable contar con la evaluación de un comité especializado en ética animal. Si el estudio no involucra seres humanos ni animales, no será necesario pasar por un comité de ética, pero se mantendrán los principios éticos de rigurosidad, transparencia y responsabilidad científica. Asimismo, si se utiliza información no pública o restringida, se gestionarán los permisos oficiales correspondientes ante las entidades responsables, garantizando el uso legal y ético de los datos.

3.1. Cronograma de actividades

[illegible]

3.2. Presupuesto proyectado

Tabla 2

Tipo de Recursos	Cantidad	Precio por Unidad	Precio Total
Viáticos	50	1.00	50
Insumos de laboratorio (materiales y reactivos)	5	60.00	300
Costo por análisis	3	150.00	450
Equipos menores (Cámara, GPS, etc.)	7	100.00	700
Otros (especificar)			100
Total			1,600.00

4. Referencias bibliográficas

Arce Sancho, S. N. (2023). Eficacia de fitorremediación del *Stipa ichu* y la *Festuca dolichophylla* usando tiosulfato de amonio y ioduro de potasio de los suelos contaminados con mercurio por las actividades mineras del distrito de Ananea Puno – Perú [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio Institucional de la UNMSM. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/19829>.

Chumpitaz, Ó. (2023, 26 de mayo). Madre de Dios: minería ilegal aumentó la contaminación con mercurio y deforestación. La República. <https://larepublica.pe/sociedad/2023/05/26/madre-de-dios-mineria-ilegal-aumento-la-contaminacion-con-mercurio-y-deforestacion-contaminacion-ambiental-tala-ilegal-554918>

CooperAcción. (2021). *Los PAMAs y la participación comunitaria en la gestión ambiental: El caso de Las Bambas*. <https://cooperaccion.org.pe/pamas-participacion-comunitaria-las-bambas>.

Escobar, R. (2018, 18 de septiembre). Perú: sembrando bosques donde hubo minería en Madre de Dios. Mongabay Latam. https://es.mongabay.com/2018/09/peru-reforestacion-mineria-madre-de-dios-bosques/?utm_source=chatgpt.com

Gutiérrez, M. (2021). Evaluación de la restauración ecológica en zonas mineras de Cajamarca: Análisis de la recuperación de redes tróficas con especies nativas. Universidad Nacional de Cajamarca.

Infobae. (2024, mayo 28). *Esta es la región del Perú donde la minería ilegal generó pérdidas por más de S/ 500 millones de dólares*.

https://www.infobae.com/peru/2024/05/28/esta-es-la-region-del-peru-donde-la-mineria-illegal-genera-perdidas-por-mas-de-s-500-millones-de-dolares/?utm_source=chatgpt.com

Interferencia. (2024). Perú: Deforestación por minería en Madre de Dios supera las 23 mil hectáreas en los últimos años. https://interferencia.cl/articulos/peru-deforestacion-por-mineria-en-madre-de-dios-supera-las-23-mil-hectareas-en-los-ultimos?utm_source=chatgpt.com

Lizarzabal, A. (2022). Abandono de áreas restauradas en Cerro de Pasco: Un análisis de 8 años de seguimiento. <https://lizarzabal.org/areas-restauradas-cerro-pasco-abandono>

López Tarabochia, M. (2016, 29 de noviembre). ¿Es posible recuperar los bosques destruidos por la minería de oro en Madre de Dios? Mongabay Latam. https://es.mongabay.com/2016/11/reforestacion-mineria-amazonia/?utm_source=chatgpt.com

MINAM. (2020). *Guía técnica para la restauración ecológica en zonas áridas afectadas por actividades mineras. Ministerio del Ambiente del Perú.*

Mongabay. (2023a, 2 de noviembre). Perú: deforestación por minería en Madre de Dios supera las 23 000 hectáreas en los últimos tres años. https://es.mongabay.com/2023/11/peru-deforestacion-mineria-madre-de-dios-estudio/?utm_source=chatgpt.com

Mongabay. (2024, marzo 20). Contaminación por mercurio de minería ilegal ya puede detectarse en aves de Madre de Dios en Perú.

https://es.mongabay.com/2024/03/contaminacion-por-mercurio-de-mineria-ilegal-ya-puede-detectarse-en-aves-de-madre-de-dios-en-peru/?utm_source=chatgpt.com

MINAM. (2020). *Guía técnica para la restauración ecológica en zonas áridas afectadas por actividades mineras*. Ministerio del Ambiente del Perú.

Ministerio del Ambiente (MINAM). (2020). Guía técnica para la restauración ecológica en ecosistemas altoandinos. <https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/123456-restauracion-altoandinos>

Noticias Madre de Dios. (2021, 26 de julio). Aprueban “Plan Restauración” frente a la minería ilegal en Madre de Dios y distritos de Cusco y Puno.

<https://noticias.madrededios.com/articulo/local-medio-ambiente/aprueban-plan-restauracion-frente-mineria-ilegal-madre-dios-distritos-cusco-puno/20210726061618019773.html>

OEFA. (2022). Validación de técnicas de fitorremediación con *Tillandsia* spp. en Moquegua. <https://www.oefa.gob.pe/tillandsia-moquegua>

Organización Mundial de la Salud. (2021). Exposición a metales pesados: riesgos para la salud humana. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/mercury-and-health>

Quispe, L. P., & Quispe, A. P. (2021). *Fitorremediación con pastos asociados: *Dactylis glomerata* y *Medicago sativa* para el mejoramiento de suelos contaminados con metales pesados en la zona exbanco minero – Ica, 2021* [Tesis de licenciatura, Universidad

Nacional de Ica]. Repositorio Institucional de la UNICA.

<https://repositorio.unica.edu.pe/handle/20.500.12996/12345>

Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP). (2023). Minería aluvial en Madre de Dios: retos y desafíos para la restauración ecológica.

https://www.pucp.edu.pe/climadecambios/noticias/mineria-aluvial-en-madre-de-dios-retos-y-desafios/?utm_source=chatgpt.com

Profonanpe. (2025, 17 de enero). Perú impulsará la conservación en Madre de Dios con proyecto de manejo integrado sostenible. *<https://profonanpe.org.pe/peru-impulsara-la-conservacion-en-madre-de-dios-con-proyecto-de-manejo-integrado-sostenible/>*

Sierra Praeli, Y. (2023, 27 de noviembre). Perú: deforestación por minería en Madre de Dios supera las 23 mil hectáreas en los últimos tres años. Interferencia. *<https://interferencia.cl/articulos/peru-deforestacion-por-mineria-en-madre-de-dios-supera-las-23-mil-hectareas-en-los-ultimos>*

Tafur, M., Sánchez, R., y Rodríguez, P. (2019). *Uso de enmiendas orgánicas en la restauración de relaves mineros en La Libertad: Evaluación de la cobertura vegetal y fertilidad del suelo. Revista Peruana de Ecología, 34(2), 45-58*

Tapia, T. (2025, 7 de marzo). Desertificación de la Amazonía: El impacto de la minería ilegal. Info región. *[https://inforegion.pe/desertificacion-en-la-amazonia-el-impacto-de-la-mineria-ilegal/:contentReference\[oaicite:4\]{index=4}](https://inforegion.pe/desertificacion-en-la-amazonia-el-impacto-de-la-mineria-ilegal/:contentReference[oaicite:4]{index=4})*

Sierra Praeli, Y. (2023, 19 de marzo). Contaminación por mercurio de minería ilegal ya puede detectarse en aves de Madre de Dios en Perú. Mongabay Latam.

https://es.mongabay.com/2024/03/contaminacion-por-mercurio-de-mineria-ilegal-ya-puede-detectarse-en-aves-de-madre-de-dios-en-peru/?utm_source=chatgpt.com

United Nations Environment Programme (UNEP). (2020). Impacts of mining on the environment: A global overview. <https://www.unep.org/resources/report/mining-and-environment>

Zevallos, J. (2018). Análisis de proyectos de restauración ecológica en Ancash: Enfoques y resultados [Informe técnico]. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. <https://repositorio.unsa.edu.pe/handle/20.500.12959/67890>

5. Anexo A

5.1. Instrumento de colección de datos

Fichas de observación estructurada

Para registrar el estado del ecosistema antes y después de la intervención (cobertura vegetal, erosión, evidencia de contaminación visible, etc.).

Formularios de análisis de suelos

Para documentar parámetros físico-químicos del suelo (pH, conductividad eléctrica, concentración de metales pesados, materia orgánica, etc.).

Se utilizan equipos específicos como: espectrofotómetros, kits de prueba de metales pesados y balanzas analíticas.

Registro fotográfico

Para documentar visualmente las condiciones del sitio y registrar su ubicación precisa.

Bases de datos científicas especializadas

Como complemento documental, se usaron para obtener datos históricos o comparativos de restauraciones anteriores.

6. Anexo B

Matriz de operacionalización de variables

Mi operacionalización de variables consiste en descomponer las variables del estudio en dimensiones, indicadores e ítems medibles que permiten evaluar cómo las técnicas de restauración ecológica (variable independiente) influyen en la recuperación ecológica del área degradada (variable dependiente), mediante parámetros como calidad del suelo, biodiversidad, cobertura vegetal y estabilidad del ecosistema.

7. Anexo C

Imágenes y cuadro

Fotografía: evidencia de zona afectada







Contaminante	Origen en la actividad minera	Impacto ambiental	Posible técnica de restauración
Mercurio (Hg)	Uso en minería aurífera artesanal	Contaminación del agua, toxicidad en flora y fauna	Fitoremediación con especies tolerantes al mercurio
Plomo (Pb)	Exposición de minerales sulfurosos	Acumulación en suelos, afecta la biodiversidad	Estabilización química, revegetación
Cadmio (Cd)	lixiviación de residuos mineros	Contaminación del suelo y agua subterránea	Fitorremediación, técnicas de inmovilización
Arsénico (As)	Presente en minerales metálicos	Contaminación del agua, riesgo para la salud humana	Biochar + fitorremediación
Cianuro (CN ⁻)	Utilizado para extracción de oro	Alta toxicidad en cuerpos de agua	Biodegradación microbiana
Sólidos en suspensión	Remoción del suelo, relaves	Turbidez en agua, impacto en peces y vida acuática	Control de erosión, barreras vegetales
Ácidos (drenaje ácido de mina)	Oxidación de sulfuros metálicos	contacto con agua y aire	Neutralización con cal, revegetación