

<https://doi.org/10.34024/prometeica.2025.32.20135>

EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LA MINERÍA AURÍFERA MEDIANTE EL ENFOQUE VIA

UN CASO DE ESTUDIO EN LA SUBCUENCA DEL RÍO INAMBARÍ, PERÚ

ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT OF GOLD MINING USING THE VIA APPROACH

A case study in the Inambari river sub-basin, Peru

AVALIAÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL DA MINERAÇÃO DE OURO POR MEIO DA ABORDAGEM VIA

Um estudo de caso na sub-bacia do rio Inambari, Peru

Manuel Michael Beraún-Espíritu

(Universidad Continental, Perú)

mberaun@continental.edu.pe

Ketty Marilú Moscoso-Paucarchuco

(Universidad Nacional Autónoma Altoandina de Tarma, Perú)

kmoscoso@unaat.edu.pe

Recibido: 19/02/2025

Aprobado: 22/07/2025

RESUMEN

La minería aurífera en la subcuenca del río Inambari, en Madre de Dios, Perú, representa una de las principales actividades económicas, pero también una de las más perjudiciales para el medio ambiente. Este estudio analiza los impactos ambientales generados por la minería artesanal y de pequeña escala, aplicando una metodología de evaluación basada en el Valor del Impacto Ambiental (VIA). Se identificaron 858 impactos distribuidos en los medios físico, biológico y socioeconómico, siendo la contaminación hídrica y la deforestación los más significativos. Se determinó que los métodos de extracción con mayor afectación incluyen dragas, shutes y tracas, los cuales intensifican la degradación ecológica. La jerarquización de los impactos permitió establecer criterios para la gestión y mitigación ambiental en la región. Los resultados evidencian la necesidad de implementar estrategias de monitoreo ambiental, regulación de la actividad minera y promoción de alternativas sostenibles para reducir el daño ecológico. Este análisis multidimensional aporta información clave para la toma de decisiones en la planificación territorial y la conservación del ecosistema amazónico.

Palavras-chave: minería aurífera. impacto ambiental. Madre de Dios. subcuenca del Inambari. degradación ecológica.

ABSTRACT

Gold mining in the Inambari River sub-basin, located in Madre de Dios, Peru, is one of the main economic activities but also one of the most environmentally harmful. This study analyzes the environmental impacts caused by artisanal and small-scale mining, using an assessment methodology based on the Environmental Impact Value (VIA). A total of 858 impacts were identified, distributed across the physical, biological, and socioeconomic spheres, with water pollution and deforestation being the most significant. The most harmful extraction methods include dredges, shutes, and tracas, which accelerate ecological degradation. The impact ranking allowed the establishment of criteria for environmental management and mitigation in the region. The findings highlight the urgent need to implement environmental monitoring strategies, regulate mining activities, and promote sustainable alternatives to reduce ecological damage. This multidimensional analysis provides key information for decision-making in territorial planning and the conservation of the Amazon ecosystem.

Keywords: gold mining. environmental impact. Madre de Dios. Inambari sub-basin. ecological degradation.

RESUMO

A mineração de ouro na sub-bacia do rio Inambari, em Madre de Dios, Peru, é uma das principais atividades econômicas, mas também uma das mais prejudiciais ao meio ambiente. Este estudo analisa os impactos ambientais causados pela mineração artesanal e de pequena escala, aplicando uma metodologia de avaliação baseada no Valor do Impacto Ambiental (VIA). Foram identificados 858 impactos distribuídos nos meios físico, biológico e socioeconômico, sendo a contaminação da água e o desmatamento os mais significativos. Determinou-se que os métodos de extração com maior impacto incluem dragas, shutes e tracas, que intensificam a degradação ecológica. A hierarquização dos impactos permitiu estabelecer critérios para a gestão e mitigação ambiental na região. Os resultados evidenciam a necessidade urgente de implementar estratégias de monitoramento ambiental, regulamentação da atividade mineradora e promoção de alternativas sustentáveis para reduzir os danos ecológicos. Esta análise multidimensional fornece informações essenciais para a tomada de decisões no planejamento territorial e na conservação do ecossistema amazônico.

Palavras-chave: mineração de ouro. impacto ambiental. Madre de Dios. sub-bacia do Inambari. degradação ecológica.

Introducción

La actividad minera en el Perú, especialmente la extracción de oro ha sido históricamente una fuente significativa de ingresos y desarrollo económico (C. et al., 2021) . Sin embargo, este sector también ha generado preocupaciones debido a sus efectos adversos tanto en el medio ambiente como en las comunidades locales, especialmente en regiones como Madre de Dios (Astudillo-Sánchez et al., 2019). En este contexto, la minería aurífera, tanto legal como ilegal, ha generado una serie de desafíos ambientales, sociales y económicos que requieren una atención urgente y exhaustiva (Pisconte et al., 2024).

Madre de Dios, situada en la selva amazónica del Perú, alberga una rica biodiversidad y vastas reservas de oro, convirtiéndola en un punto focal para la actividad minera (Cortés-McPherson, 2019). La minería artesanal y de pequeña escala ha experimentado un crecimiento significativo en esta región, especialmente desde la década de 1980, impulsada por factores como la recesión económica, la migración y la violencia política (Salo et al., 2016).

Sin embargo, esta expansión minera ha traído consigo una serie de impactos adversos, tanto para el medio ambiente como para las comunidades locales (Giraldo Malca et al., 2022). La extracción de oro aluvial, realizada de manera informal e ilegal, ha provocado la deforestación indiscriminada, la contaminación de los cuerpos de agua con mercurio y una serie de conflictos sociales entre comunidades nativas y mineros (Asner & Tupayachi, 2017).

A pesar de los esfuerzos por parte del Estado peruano para regularizar y formalizar esta actividad, persisten importantes desafíos en cuanto a la protección del medio ambiente y los derechos de las poblaciones locales (Killick, 2020). El aumento del precio del oro en los últimos años ha exacerbado estos problemas, incentivando una mayor actividad minera sin una correspondiente responsabilidad ambiental y social (Aranoglu et al., 2022).

En este contexto, el objetivo principal de este artículo es evaluar los impactos ambientales generados por la minería artesanal y de pequeña escala en la subcuenca del río Inambari, una de las zonas más afectadas de Madre de Dios. Se llevará a cabo una evaluación integral de los impactos en los ámbitos socioeconómico, biológico y físico. Asimismo, se realizará una valoración de las técnicas de extracción utilizadas, así como la estimación del área afectada por la actividad minera.

Estudio del área

Ubicado en la región sureste de la Amazonía peruana, el departamento de Madre de Dios se distingue por su invaluable riqueza ecológica, lo que le ha valido la designación de capital de la biodiversidad en el Perú (Nacional et al., 2021). Su extensa diversidad biológica se ha mantenido a lo largo del tiempo, en gran parte gracias a su baja densidad poblacional, lo que ha limitado significativamente el impacto humano en sus ecosistemas (Soto-Benavente et al., 2020).

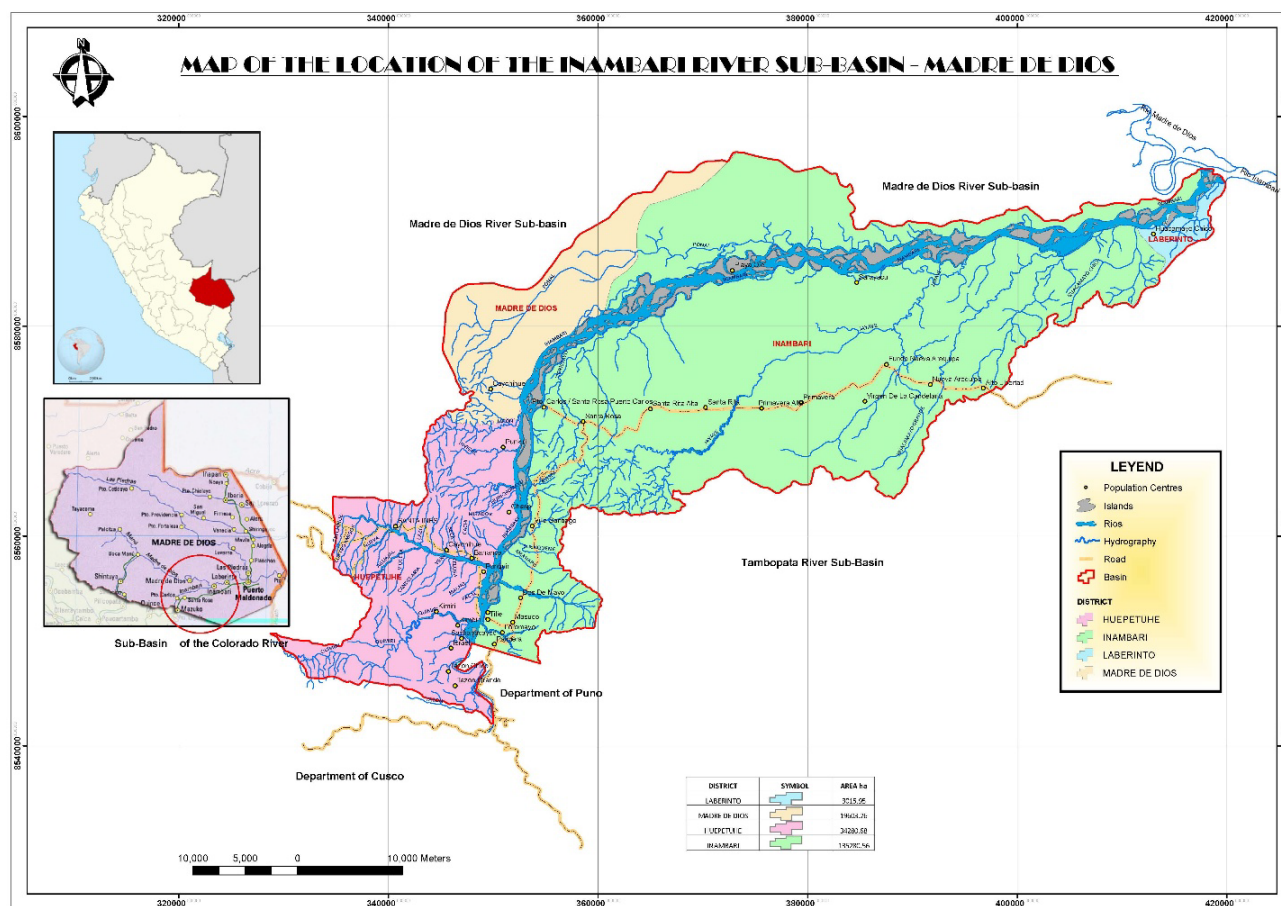
No obstante, este balance se ha visto comprometido debido al aumento de la actividad minera, que ha provocado un incremento en la migración de personas en busca de oro (Alarcón Aguirre et al., 2021). Actualmente, Madre de Dios es responsable del 70% de la producción de oro derivada de la minería artesanal en el país, fenómeno impulsado por el alza sostenida en los precios del metal en los últimos años (Araújo-Flores et al., 2021).

A pesar de su rol clave como área de conservación natural, Madre de Dios posee importantes yacimientos auríferos, lo que ha impulsado la formalización del 90% de los mineros en la región (Coayla et al., 2024). La mayor parte de esta actividad se desarrolla en el sur del departamento, concentrándose en torno a diversos ríos como, Malinowski, Caychive, Huepetuhe, Madre de Dios, Inambari, y Puquiri (Berky et al., 2023). Como consecuencia, la deforestación ha alcanzado niveles alarmantes, pasando de 2,176 hectáreas anuales antes de 2009 a 6,245 hectáreas por año en la actualidad.

En la subcuenca del río Inambari se encuentran diversas microcuencas, entre las que destacan las quebradas Jayave, Dos de Mayo, Guacamayo y Caychive. Estas áreas son reconocidas como las principales zonas de actividad minera en la región. Inicialmente, la extracción aurífera se concentró en el río Inambari debido a su alto potencial, pero con el tiempo, la actividad se extendió hacia sus nacientes y otras quebradas cercanas (Espin, 2023).

La expansión de la minería ha propiciado el establecimiento de asentamientos temporales y campamentos improvisados, orientados al comercio y la prestación de servicios en estas zonas de explotación. No obstante, las consecuencias ambientales resultan evidentes, destacando la liberación de mercurio en el aire y el agua, la alteración y deterioro de los ecosistemas, la acumulación de sedimentos en los ríos y la rápida reducción de la cobertura boscosa (Beraún-Espíritu et al., 2023). Además, este fenómeno ha generado efectos sociales adversos, como el incremento de la prostitución, la delincuencia y la corrupción institucional en la región (Ferrer, 2016).

Figura 1: Mapa de la ubicación del río Inambari



Hidrografía

Desde una perspectiva hidrográfica, la zona de estudio está definida por la subcuenca del río Inambari, que constituye la fuente principal de varias microcuencas en la región. Entre ellas, se destacan aquellas que se encuentran en las cercanías del Proyecto, tales como la quebrada Guacamayo y la quebrada Jayave, las cuales juegan un papel relevante en la dinámica hídrica del área.

Figura 2: Hidrografía del río Inambari

SUB-CUENCAS	TRIBUTARIOS
Rio Inambari	Rio huayaqui
	Rio Guacamayo
	Rio caichiue
	Qda. Chiforongo
	Rio Dos de Mayo
	Qda. Amanapu
	Qda. Baenqueme
	Qda. Jayave
	Qda. Tigremayo
	Qda. Guacamayo Grande
	Qda. Guacamayo chico
	Qda. Ponal

Desde la localidad de Mazuko, el río adopta un curso anastomosado antes de alcanzar su desembocadura, donde la explotación aurífera se intensifica significativamente, especialmente en las riberas de los ríos

San Gabán, Caychive y Marcapata. En particular, la microcuenca del río Caychive, con una extensión aproximada de 20 kilómetros antes de unirse al Inambari, se posiciona como la segunda zona con mayor actividad minera en la región de Madre de Dios, solo superada por el área de Huepetuhe.

Este afluente recibe el caudal de diversas quebradas de importancia, entre ellas Candelaria, Santa Inés, Cuatro Amigos, Sace, Aguajal y Nueva, las cuales contribuyen con flujos significativos a su curso. Asimismo, el río Inambari, que se extiende a lo largo de 421 kilómetros, incorpora en su margen derecha las aguas de los ríos Huyaqui y Guacamayo, fortaleciendo su caudal y su dinámica hidrológica en la región. Este sistema fluvial tiene un caudal promedio anual estimado en 1,709.9 metros cúbicos por segundo, lo que lo posiciona como una de las principales arterias hidrográficas en la región, desempeñando un papel crucial en la dinámica de los ecosistemas acuáticos de la zona.

El flujo de agua que proviene de estos ríos es vital no solo para las comunidades locales, sino también para la biodiversidad de la región, pues sustenta diversos ecosistemas acuáticos y terrestres. Sin embargo, la intensificación de la minería en las zonas cercanas a estos ríos ha generado preocupación por los impactos ambientales que podrían afectar la calidad del agua, la biodiversidad y las condiciones de vida de las especies que dependen de estos recursos hídricos.

Figura 3: Principales características de la subcuenca del Inambari

RIO	SUPERFICIE DE CUENCA (Km ²)	LONGITUD TOTAL (Km)	CAUDAL PROMEDIO (m ³ /s)	CONFLUENCIA CON
Inambari	19.905	421	1.709.9	Rio Madre de Dios
Guacamayo	967	98	103.67	Rio Inambari

Condiciones hidrogeológicas

La subcuenca del río Inambari presenta un sistema hidrogeológico influenciado por una litología de baja variabilidad, dominada por areniscas y limonitas, con presencia secundaria de lutitas y calizas. Estas formaciones geológicas se desarrollan en un entorno caracterizado por una elevada precipitación y un terreno irregular, con montañas de poca altitud y colinas de fuertes pendientes, lo que da lugar a una dinámica hidrológica compleja.

Las aguas subterráneas en esta región están vinculadas a acuíferos confinados y semiconfinados, delimitados por capas de baja permeabilidad conocidas como acuitardos. Estas unidades hidrogeológicas aseguran una disponibilidad de agua relativamente estable durante todo el año, un factor clave tanto para la sostenibilidad del ecosistema como para el abastecimiento hídrico de las poblaciones locales.

No obstante, la actividad tectónica de la zona provoca fracturas en las formaciones geológicas, facilitando la circulación de agua subterránea y dando origen a manantiales de caudal moderado. Esta condición también incrementa la vulnerabilidad de los acuíferos frente a la contaminación derivada de actividades antrópicas, particularmente la minería aurífera.

Los acuíferos no confinados se localizan principalmente en las terrazas aluviales situadas a lo largo de las riberas del río Inambari y la quebrada Guacamayo, donde desempeñan un papel crucial en la regulación del régimen hídrico. Sin embargo, su conexión directa con la superficie los hace altamente susceptibles a la infiltración de contaminantes, como metales pesados y residuos químicos provenientes de la actividad minera. En particular, la extracción de oro mediante el uso de mercurio y cianuro en operaciones informales y artesanales representa una amenaza significativa para la calidad del agua subterránea y superficial, ya que estos compuestos pueden movilizarse a través de suelos permeables, afectando tanto los ecosistemas acuáticos como a las poblaciones humanas que dependen de este recurso.

En este contexto, la explotación aurífera en la subcuenca del Inambari ha generado severos impactos ambientales que comprometen la calidad y disponibilidad del agua. La remoción del suelo y la alteración del paisaje modifican los patrones de escorrentía y recarga de los acuíferos, reduciendo la capacidad de almacenamiento de agua subterránea. Asimismo, la deforestación asociada a la expansión de la minería disminuye la infiltración natural del agua de lluvia, exacerbando la erosión y la sedimentación en los cuerpos de agua superficiales.

Dado este panorama, resulta imperativo establecer un monitoreo continuo de la calidad del agua en los acuíferos y manantiales de la subcuenca del Inambari para evaluar el impacto de la minería aurífera. La implementación de medidas de mitigación, como la restauración de áreas degradadas y la adopción de tecnologías de extracción más sostenibles, es clave para reducir los efectos negativos sobre los recursos hídricos y garantizar la conservación ambiental de la región.

Zonificación Ecológica y Geográfica de la Región

El área destinada para el desarrollo del proyecto se localiza en la Llanura Amazónica, una vasta región de relieve mayormente plano, con altitudes que oscilan entre los 176 y los 500 metros sobre el nivel del mar (msnm). Esta unidad representa la mayor extensión geográfica de la región, abarcando principalmente el sector oriental, más allá de la cadena montañosa subandina. Su configuración geológica y climática influye significativamente en los ecosistemas locales, la biodiversidad y el potencial de aprovechamiento sostenible de los recursos naturales.

La Llanura Amazónica es una vasta extensión territorial que desempeña un papel clave en la estructura ecológica de Madre de Dios. Su relieve llano, combinado con un clima tropical húmedo, favorece el desarrollo de una biodiversidad excepcional. Además, la proximidad de formaciones montañosas y la presencia de diversas cuencas hidrográficas modulan la composición y distribución de la flora y fauna en la región.

El paisaje se caracteriza por planicies aluviales, sistemas de orillas y terrazas fluviales, así como pequeñas colinas de baja altitud. Esta configuración geográfica influye directamente en las dinámicas hidrográficas, la distribución y el uso del suelo, además de incidir en la biodiversidad. Estos factores son determinantes para la planificación y ejecución de proyectos en la zona, asegurando un enfoque que equilibre la conservación ambiental con el desarrollo sostenible.

Suelos

La subcuenca del río Inambari presenta una gran variedad de formaciones geológicas, reflejo de una evolución morfogénica compleja en la región de Madre de Dios. Esta transformación ha estado influenciada por distintos procesos tectónicos y climáticos de gran impacto, entre los cuales destacan el levantamiento andino ocurrido entre el Plioceno y el Pleistoceno, así como el plegamiento de los materiales sedimentarios de las zonas subandinas que datan del Mesozoico y Cenozoico. Estos fenómenos, sumados a la constante erosión del relieve montañoso y su posterior fragmentación en la llanura amazónica, han dado forma a un entorno dinámico con estructuras de gran amplitud, fallas geológicas y desplazamientos de masa, aspectos que han influido directamente en la conformación del ecosistema forestal de la zona.

A lo largo del periodo Cuaternario Antiguo, los cambios climáticos jugaron un papel determinante en la modificación del relieve, particularmente en la selva baja, donde los procesos de acumulación aluvial promovieron la elevación de ciertas áreas. Como resultado de este proceso, se formaron terrazas sedimentarias de gran extensión, las cuales, en la actualidad, continúan siendo modeladas por la acción de factores ambientales como las precipitaciones y la actividad fluvial.

En la zona de estudio, se ha identificado la presencia de suelos heterogéneos, catalogados bajo la denominación de Misceláneo Cauce (CW). Estos se caracterizan por su composición predominantemente fragmentaria o esquelética, con más del 90 % de su estructura constituida por

partículas gruesas, tales como arena de gran calibre, grava, piedras y cascajo. Estos materiales constituyen el lecho del río Guacamayo, así como las quebradas que contribuyen a su flujo de agua. Es relevante señalar que estas formaciones no pueden ser clasificadas estrictamente como suelos, ya que corresponden a áreas de depósito aluvial recientes, compuestas por bancos arenosos y superficies pedregosas que están en constante transformación debido a las crecidas y a los eventos de arrastre generados por la dinámica fluvial.

Adicionalmente, la naturaleza inestable de estos depósitos dificulta el establecimiento de una cobertura vegetal consolidada, lo que, a su vez, repercute en la capacidad de retención de humedad y nutrientes. Este factor influye directamente en la biodiversidad del área, ya que limita la proliferación de especies vegetales con requerimientos específicos de anclaje y desarrollo. Asimismo, el continuo transporte de sedimentos altera la composición del suelo en las zonas ribereñas, afectando la dinámica ecológica de los ecosistemas acuáticos y terrestres vinculados al río Inambari.

Figura 4: Superficies terrestres en la zona de la subcuenca Inambari

SUELOS	GRUPOS	%
Misceláneo	Consociación: Progreso	17.48
Misceláneo	Asociación: Topa-Sarayacu	0.45
Tyic Dystrudepts	Consociación: Progreso	80.28
Tyic Dystrudepts	Asociación: Topa-Saracuya	1.79
Total		100.00

Estructura del bosque y cobertura de vegetación

Los bosques presentes en la zona se distinguen por sus particulares estructuras de cobertura vegetal, las cuales varían en función de su composición y estado de conservación

Bosque de Terrazas Altas Leves – Área Intervenida

En las zonas intervenidas, el potencial forestal ha sufrido una notable reducción debido a la explotación y las alteraciones provocadas por la actividad humana. Estas modificaciones han afectado significativamente la estructura y dinámica de regeneración natural del ecosistema, comprometiendo su biodiversidad y disminuyendo su capacidad de resiliencia. La fragmentación del hábitat y la extracción descontrolada de especies maderables han generado una alteración en la composición florística, afectando la funcionalidad ecológica del bosque.

Bosque Siempre Verde en Terrazas Altas Leves (BsV-TA)

Estos bosques se caracterizan por su densa y exuberante vegetación perenne, con árboles de gran altura y una heterogeneidad florística notable. Son ecosistemas altamente biodiversos, con una amplia variedad de especies maderables de alto valor comercial. Su elevada productividad se refleja en un contenido volumétrico de madera que, en promedio, supera los 140 m³/ha. Esta característica los convierte en un recurso forestal estratégico con un gran potencial para la explotación sostenible, siempre que se implementen prácticas de manejo adecuadas que garanticen la conservación de su estructura y biodiversidad a largo plazo.

Estos ecosistemas no solo cumplen un papel clave en la regulación del ciclo del agua y la captura de carbono, sino que también proporcionan hábitats esenciales para diversas especies de flora y fauna. Por

ello, su preservación y aprovechamiento responsable son fundamentales para mantener el equilibrio ecológico y garantizar la sostenibilidad de los recursos forestales en la región.

Figura 5: Tipos de bosques en la subcuenca Inambari

DESCRIPCIÓN	TIPO DE BOSQUE	SIMBOLOGIA	%
Terrazas altas degradadas	Área intervenida	Ai	17.93
Terrazas altas ligeramente disectadas	Bosques siempre verdes de terrazas altas ligeramente disectadas	Bsv-Tald	82.07
Total			100.00

Esta región se encuentra dentro del Bosque Húmedo Subtropical en transición hacia el Bosque Muy Húmedo Subtropical (bh-S/bmh-S), según la clasificación ecológica establecida. Se caracteriza por un clima cálido y húmedo, con una temperatura media anual que oscila entre los 24 y 25°C. La elevada humedad y el régimen de precipitaciones, que varía entre 3,500 y 4,500 mm anuales, favorecen el desarrollo de una densa y diversa vegetación adaptada a las condiciones tropicales. Además, la estabilidad térmica a lo largo del año garantiza una disponibilidad constante de agua, lo que influye en la dinámica de los ecosistemas locales.

Desde el enfoque hidrológico, la evapotranspiración potencial en esta región oscila entre el 25 % y el 50 % del total de la precipitación anual. Este equilibrio hídrico sitúa a la subcuenca del río Inambari en un punto intermedio dentro de las categorías de humedad súper húmeda y perhúmeda. En este contexto, la disponibilidad de agua es considerablemente mayor que las pérdidas ocasionadas por la evaporación y la transpiración vegetal, lo que contribuye a la conservación de los ecosistemas locales y al mantenimiento del caudal hídrico. Además, esta abundante disponibilidad de agua favorece el desarrollo de una vegetación densa y la presencia de ecosistemas forestales con una gran biodiversidad.

El ecosistema predominante en la subcuenca está compuesto por extensos bosques primarios que albergan una diversidad significativa de especies arbóreas. Entre las especies más representativas de la familia Lauraceae se encuentran Aniba, Ocotea, Persea y Nectandra, que cumplen un rol fundamental en la estructura del bosque. Además, dentro de las especies de interés ecológico y económico se pueden destacar árboles de gran valor maderable, como el tornillo (*Cedrelinga catenaeformis*), el almendro (*Caryocar* sp.), el nogal amazónico (*Juglans neotropica*), la congona (*Brosimum* sp.) y el tulpay (*Clarisia* sp.).

Otras especies relevantes que juegan un papel importante en la composición y diversidad del bosque son el cedro de altura (*Cedrela* sp.), el shimbillo (*Inga* sp.), el sapote (*Matisia* sp.) y la quinilla (*Manilkara bidentata*), los cuales se distribuyen a lo largo de diversas capas del dosel forestal. En menor proporción, también se han identificado especies como la capirona (*Calycophyllum* sp.), la bolaina (*Guazuma* sp.), la requia (*Guarea* sp.), el cedro (*Cedrela odorata*), la cumala (*Virola* sp.), la cordia (*Cordia* sp.) y el estoraque (*Myroxylon* sp.). La presencia de estas especies está frecuentemente determinada por factores como la topografía, las características del suelo y la disponibilidad de recursos hídricos.

El análisis de las condiciones ecológicas y climáticas de la subcuenca del Inambari es fundamental para comprender la fragilidad de este ecosistema frente a la intervención humana. En las últimas décadas, la expansión de actividades antrópicas, particularmente la minería aurífera, ha generado impactos significativos en la cobertura vegetal y la calidad del suelo. La deforestación asociada a la extracción de oro no solo provoca la pérdida de biodiversidad, sino que también altera los procesos ecológicos esenciales, como el ciclo del agua, la captura de carbono y la estabilidad del suelo.

Uno de los efectos más preocupantes de la minería aurífera es la degradación de los suelos debido al uso de mercurio y otros compuestos químicos en los procesos de extracción. La contaminación por metales pesados puede alterar la composición fisicoquímica del suelo, afectando su capacidad para sostener la vida vegetal y disminuyendo su fertilidad a largo plazo. Además, la remoción de la capa vegetal deja

expuestos los suelos a procesos erosivos acelerados, lo que contribuye al incremento del material sedimentario en los cuerpos de agua y altera la dinámica de los ríos y quebradas de la subcuenca.

La alteración del paisaje también tiene repercusiones sobre la fauna silvestre, ya que muchas especies dependen del bosque para su supervivencia. La fragmentación del hábitat y la contaminación de los cuerpos de agua afectan a diversas especies de mamíferos, aves, anfibios e insectos, que ven reducidas sus fuentes de alimento y refugio. Asimismo, la pérdida de cobertura forestal reduce la capacidad del ecosistema para regular la temperatura y la humedad, generando microclimas más extremos que pueden afectar la resiliencia del bosque frente a fenómenos climáticos adversos.

Debido al elevado valor ecológico de la subcuenca del Inambari, resulta esencial implementar estrategias de conservación y manejo sostenible que ayuden a mitigar los efectos negativos de la minería aurífera. Esto implica la aplicación de métodos de rehabilitación del suelo, la recuperación de áreas afectadas a través de la reforestación con especies autóctonas y el fomento de prácticas mineras responsables que reduzcan al mínimo el uso de sustancias peligrosas.

Además, es necesario fortalecer la vigilancia ambiental y el cumplimiento de normativas que regulen la actividad minera en la zona, asegurando que se realicen evaluaciones de impacto ambiental previas a la explotación de nuevos yacimientos. La educación y sensibilización de las comunidades locales también juegan un papel clave en la protección de la subcuenca, fomentando el desarrollo de actividades económicas sostenibles que no comprometan la integridad del ecosistema.

Clima

El clima se define como el comportamiento habitual de las condiciones atmosféricas en una región determinada a lo largo de un periodo específico, pudiendo abarcar escalas temporales cortas o prolongadas. Este factor natural es resultado de la interacción de múltiples variables, como la temperatura, las precipitaciones, la humedad relativa, la presión atmosférica, la radiación solar y la evapotranspiración, las cuales influyen de manera directa en los ecosistemas y en las actividades humanas.

En el caso de la subcuenca del Inambari, las condiciones climáticas pueden generar impactos tanto beneficiosos como adversos, afectando la disponibilidad de recursos hídricos, la productividad agrícola, la biodiversidad y otros aspectos esenciales del entorno. Para comprender estos efectos, es fundamental analizar el balance hídrico, que permite evaluar la relación entre el agua que ingresa y la que se pierde en una zona específica. Dicho balance puede calcularse a partir de mediciones obtenidas en estaciones meteorológicas, facilitando la planificación y gestión sostenible del recurso hídrico.

Además, la combinación de las distintas características climáticas y los estudios del balance hídrico son determinantes en la clasificación del clima de un territorio. Esta clasificación no solo proporciona información relevante sobre las condiciones predominantes en un área geográfica, sino que también es clave para la toma de decisiones en sectores como la agricultura, la gestión ambiental y la planificación territorial.

Temperatura de la localidad

El clima de Madre de Dios está determinado en gran medida por su ubicación geográfica y la influencia de formaciones naturales como la Cordillera de los Andes. Estas montañas regulan las corrientes de aire y generan variaciones térmicas en la región. Como resultado, las temperaturas experimentan cambios moderados a lo largo del año, manteniendo un ambiente predominantemente cálido y húmedo, característico de las zonas tropicales.

Según los registros meteorológicos, la variabilidad térmica anual es limitada, con un promedio de 24°C y una fluctuación de aproximadamente $\pm 1^\circ\text{C}$. El período más frío suele ocurrir en julio, mientras que los

meses con temperaturas más altas suelen ser octubre y enero. La diferencia entre la época más cálida y la más fría se mantiene, en promedio, en torno a los 3°C, lo que indica que esta región posee un clima relativamente estable.

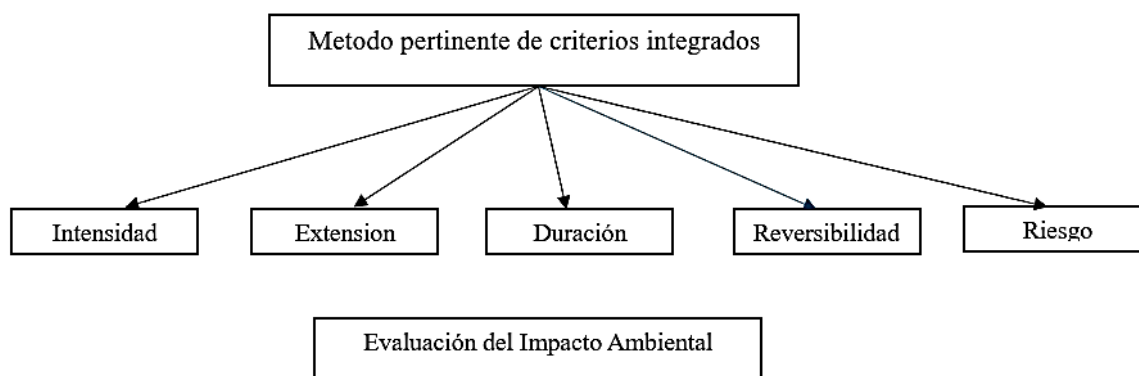
Ocasionalmente, se presentan fenómenos atmosféricos conocidos como “surazos”, que ocasionan una disminución repentina de la temperatura, llegando a descender hasta 4°C por debajo de los valores habituales. Estos cambios climáticos son causados por el ingreso de masas de aire frío originario de la Antártida y pueden prolongarse entre tres y ocho días.

Identificador de impactos

Para determinar los efectos presentes o potenciales que podrían manifestarse en la zona de estudio, es esencial analizar las distintas actividades vinculadas con la implementación del proyecto, ya que estas pueden generar impactos en los entornos físico, biológico y socioeconómico. Para una mejor comprensión y evaluación, es recomendable estructurar la información de acuerdo con el tipo de medio afectado.

Este enfoque se fundamenta en el principio de que el impacto ambiental asociado a una acción específica es el resultado de la relación de múltiples factores. Entre estos, se incluyen la magnitud de la intervención, la sensibilidad del ecosistema y la capacidad de recuperación del entorno. Considerar estas variables permite una evaluación más precisa de los posibles efectos, facilitando la adopción de medidas de mitigación adecuadas y promoviendo un desarrollo sostenible en la región.

Figura 6: Método de criterios



1. Intensidad (I): Medida del grado de impacto, considerando la magnitud, severidad o fuerza con la que se manifiesta el proceso generado por la actividad en ejecución.
2. Extensión (E): Alcance territorial de la afectación, determinado por la superficie o el área geográfica donde se evidencian los efectos de la intervención humana.
3. Duración (D): Periodo en el que se perciben las consecuencias de la alteración ambiental, incluyendo el tiempo estimado en que persisten los efectos del proyecto y la cantidad de años en los que la acción generadora del impacto permanece activa.
4. Reversibilidad (Rv): Capacidad del entorno para recuperar su estado previo tras la intervención, considerando el grado de dificultad o facilidad para restablecer las condiciones originales del ecosistema o área afectada.
5. Riesgo (Ri): Posibilidad de que un determinado impacto se materialice, evaluando la probabilidad de ocurrencia de los efectos asociados a la actividad en cuestión.

Criterios de Valoración Ambiental

El impacto ambiental se evalúa considerando diversas variables, entre ellas la intensidad, extensión, duración, reversibilidad y nivel de riesgo. Para su análisis, cada uno de estos factores se califica dentro de una escala numérica del 1 al 10, lo que permite cuantificar objetivamente el impacto de cada variable

en el entorno. Esta metodología facilita la comparación de los efectos potenciales de distintas actividades y proporciona una medida clara de su magnitud y relevancia.

La intensidad hace referencia a la magnitud del cambio en el medio, mientras que la extensión describe el área geográfica afectada. La duración determina el tiempo en que el impacto persiste, y la reversibilidad evalúa la capacidad del entorno para recuperarse una vez finalizada la actividad. Finalmente, el riesgo considera la viabilidad de que el impacto ocurra y la gravedad de sus consecuencias.

El uso de esta escala permite una evaluación integral y sistemática de los impactos, lo que resulta elemental para la toma de decisiones informadas en la gestión ambiental.

Figura 7: Escala de impacto

PROBABILIDAD	INTENSIDAD	EXTENSION	REVERSIBILIDAD	DURACION	PUNTAJE
Alta (>60%)	Fuerte	General	Irreversible	Larga (>10 años)	10
Medianamente alta (40 a 60%)	Medianamente fuerte	Extensiva	Reversible a largo plazo (5 a 20 años)	Medianamente larga (5 a 10 años)	7
Media (20 a 40%)	Media	Local	Reversible a corto plazo (< a 5 años)	Medianamente corta (2 a 5 años)	5
Baja (1 a 20 %)	Baja	Puntual	Totalmente reversible	Instantánea	2
Nula (0%)	-	-	-	-	-

El impacto ambiental negativo en los ámbitos físico, biológico y socioeconómico se evalúa mediante la siguiente ecuación:

$$VIA = (I \times Wi) + (E \times We) + (D \times Wd) + (Rv \times WRv) + (Ri \times Wri)$$

En esta fórmula, cada parámetro refleja un aspecto clave del impacto, considerando su magnitud, área afectada, tiempo de duración, posibilidad de recuperación y nivel de riesgo.

Los valores asignados a cada criterio para su ponderación son los siguientes

VIA = Valor del impacto ambiental

Magnitud del impacto (I): 30% ($Wi=0.3$)

Alcance territorial (E): 20% ($We= 0.2$)

Periodo de afectación (D): 10% ($Wd=0.1$)

Capacidad de recuperación (Rv): 20% ($WRv=0.2$)

Probabilidad de ocurrencia (Ri): 20% ($Wri=0.2$)

Esta metodología permite asignar un valor cuantificable a los impactos ambientales, proporcionando una base objetiva para su análisis, priorización y gestión en la toma de decisiones.

Interpretación de los resultados

De manera general, se puede concluir que la magnitud o relevancia del impacto identificado se establece según los valores que se asignan a continuación:

Figura 8: Escala de valores bajo relevancia

	RELEVANCIA	VIA
MA	Muy alta	≥ 8
A	Alta	6-7.9
M	Media	4.5 a 5.9
B	Baja	≤ 4.5

A partir de estos resultados, se puede concluir que un impacto con una puntuación superior a 8 se considera de alta relevancia y requiere especial atención. Por otro lado, si la calificación es inferior a 4.5, su importancia es mínima y solo demanda medidas básicas de seguimiento.

Resultados

La clasificación de los impactos ambientales en la subcuenca del río Inambari se ha realizado mediante la aplicación de una matriz de categorización, utilizando una metodología adecuada basada en el Valor del Impacto Ambiental (VIA). Durante el proceso de identificación de los impactos derivados de la actividad minera aurífera, estos han sido priorizados según los valores de magnitud establecidos.

Los resultados obtenidos indican un total de 858 impactos, distribuidos en tres áreas principales: 468 en el ámbito físico, 130 en el biológico y 260 en el socioeconómico. La jerarquización de estos impactos se ha realizado a través de un proceso sistemático y riguroso, alineado con los parámetros establecidos en la metodología aplicada.

Este enfoque de clasificación proporciona una comprensión detallada y organizada de los impactos ambientales derivados de la minería en la subcuenca del río Inambari. Dicho sistema es fundamental para tomar decisiones informadas y para implementar medidas de gestión ambiental efectivas. Los resultados obtenidos constituyen una herramienta clave para planificar un desarrollo sostenible en la región, además de respaldar los esfuerzos de conservación y protección de los recursos naturales y el entorno en esta área específica.

Figura 9: Ranking de impactos y relevancias

RELEVANCIA	PUNTAJE	MF	MB	MSE
MA	>8	102	38	35
A	4.5-8	124	46	84
MA	4.5-6	151	37	87
B	<4.5	91	9	54
Σ	858	468	130	260

Impacto en las variables biológicas

La extracción de gravas auríferas, que implica la tala de árboles, la alteración del suelo y la erosión acelerada genera un impacto severo en el ecosistema. Este proceso conduce a la deforestación y a la pérdida de la capa superficial del suelo, elemento esencial para el sostenimiento de la biodiversidad. Como consecuencia, se reduce drásticamente la presencia de organismos vivos, afectando tanto la vegetación como los microorganismos esenciales para el equilibrio ambiental.

La alteración del suelo no solo perjudica a la flora, sino también a bacterias y hongos que cumplen un papel fundamental en el ciclo de nutrientes. Estos microorganismos facilitan la descomposición de la materia orgánica y contribuyen a la fertilidad del suelo. Además, múltiples especies de macro y microfauna dependen de estos procesos biológicos para su supervivencia, ya que transforman la composición química del suelo y modifican sus propiedades físicas.

Bajo estas condiciones, la restauración de la vegetación en zonas afectadas se vuelve extremadamente compleja si no se restablece primero el equilibrio microbiano. Para garantizar la regeneración del ecosistema, es necesario implementar estrategias que proporcionen un sistema de nutrientes accesible para las plantas mientras los microorganismos recolonizan el área degradada.

Por otro lado, la deforestación ocasionada por la minería a cielo abierto, el depósito de materiales y los desechos mineros afecta gravemente los ecosistemas acuáticos. En casos extremos, como en la minería ilegal de oro dentro de la cuenca, se genera una devastación significativa en pantanos, lagunas y cuerpos de agua circundantes. La destrucción de la cobertura vegetal reduce la capacidad del suelo para retener humedad, lo que intensifica la desertificación y disminuye la resiliencia del ecosistema ante futuros impactos ambientales.

Además del daño directo a la biodiversidad, estos procesos generan alteraciones en la calidad del agua y en los ciclos naturales, lo que repercute en la fauna local y en las comunidades que dependen de estos recursos. Sin estrategias de mitigación y restauración adecuadas, las consecuencias pueden extenderse a largo plazo, comprometiendo la sostenibilidad del entorno y limitando las posibilidades de recuperación ecológica.

El desplazamiento y afectación de la fauna

Las especies que habitan en ecosistemas naturales dependen de una serie de factores interconectados, como las características del suelo, el clima, la altitud y otros elementos que conforman su entorno. La actividad minera, debido a su impacto sobre la superficie terrestre, genera alteraciones tanto directas como indirectas en la biodiversidad. Estos efectos pueden ser temporales y restringidos a la zona intervenida o, en otros casos, extenderse a largo plazo, afectando un área mucho más amplia.

Entre los impactos más significativos se encuentra la degradación y fragmentación del hábitat, lo que provoca el desplazamiento forzado de muchas especies. Animales de gran movilidad, como mamíferos de caza, aves y depredadores, suelen migrar en busca de nuevas áreas donde puedan establecerse. Sin embargo, aquellas especies con menor capacidad de desplazamiento, como reptiles, anfibios, invertebrados y pequeños vertebrados, enfrentan mayores dificultades para sobrevivir en un entorno alterado, lo que pone en riesgo sus poblaciones.

Además de la pérdida de refugios naturales, la redistribución del suelo y la acumulación de desechos mineros generan cambios en la disponibilidad de recursos esenciales, como el agua y el alimento. Esto altera las dinámicas ecológicas y puede desencadenar desequilibrios en la cadena trófica. Sin estrategias de mitigación adecuadas, el deterioro del ecosistema se intensifica, reduciendo las posibilidades de recuperación y comprometiendo la estabilidad de la vida silvestre a largo plazo.

Alteración de ecosistemas

La vulnerabilidad de las poblaciones animales y vegetales es un factor clave que influye directamente en la estabilidad de los ecosistemas locales y en las interacciones ecológicas que los sostienen. En este contexto, la expansión de las actividades mineras, tales como la tala de bosques, la remoción de suelos, la construcción de infraestructuras viales y otras prácticas extractivas, tiene un impacto considerable sobre los hábitats naturales. Estas alteraciones no solo afectan la flora y fauna locales, sino que también ponen en riesgo el equilibrio ecológico de la región, alterando los procesos naturales que mantienen la salud y funcionalidad de los ecosistemas circundantes.

Estas intervenciones modifican drásticamente la estructura y composición de los hábitats naturales, fragmentando los territorios y reduciendo la disponibilidad de recursos esenciales para diversas especies. Como consecuencia, la cohesión entre las poblaciones de organismos se ve comprometida, debilitando las cadenas tróficas y reduciendo la capacidad de los ecosistemas para sostener sus funciones vitales.

La degradación ambiental resultante no solo reduce la biodiversidad, sino que también dificulta la regeneración de los ecosistemas, prolongando los efectos negativos a largo plazo. La pérdida de cobertura vegetal disminuye la captación de agua y la estabilidad del suelo, lo que aumenta la erosión y altera los patrones hidrológicos. En este contexto, la restauración ecológica y la implementación de estrategias de mitigación son esenciales para revertir el deterioro ambiental y fomentar la resiliencia de los ecosistemas afectados

Métodos de Extracción de Oro en la Subcuenca del Río Inambari

De acuerdo con los métodos de extracción utilizados en la subcuenca del río Inambari, se emplean diversas técnicas para la recuperación del mineral. En la minería artesanal, predominan métodos manuales como el ingenio, la canaleta y el arrastre, los cuales permiten la recolección y separación del material aurífero de manera tradicional.

Por otro lado, en la minería semi-mecanizada, se incorporan herramientas y equipos que facilitan el proceso, incluyendo sistemas como la caranchera, la chupadera y la balsa gringa, que mejoran la eficiencia en la recolección de arenilla con oro. Asimismo, el uso de maquinaria como el shute acoplado a un cargador frontal permite optimizar la extracción y procesamiento del material.

Esta diversidad de métodos refleja la combinación de técnicas tradicionales y modernizadas en la actividad minera de la zona, influenciando el impacto ambiental y la productividad del proceso.

Figura 10: Características de tipos de explotación

CARACTERISTICAS	TIPOS DE EXPLOTACIÓN	
	ARTESANAL	SEMI-MECANIZADO
Forma de intervención	Manual en extracción del mineral, así como en lavado y recuperación arenilla con oro	Manual en etapa de recuperación arenilla con oro.
Método	1 ingenio, canaleta, arrastre	2 caranchera, chupadera, balsa gringa.
		3 shute-cargador frontal
		4 shute-cargador frontal

Zonas de extracción

En la subcuenca del río Inambari, se pueden identificar tres tipos predominantes de cobertura vegetal, los cuales están relacionados con las características fisiográficas de la región. El primero de estos corresponde a los bosques ubicados en áreas elevadas, que se encuentran en las zonas de mayor altitud, caracterizadas por un relieve montañoso. El segundo tipo son los bosques húmedos de terrazas elevadas, formados por la acumulación de sedimentos traídos por los ríos a lo largo del tiempo. Finalmente, las terrazas bajas, cercanas a los ríos, albergan bosques que se destacan por su alto nivel de humedad, especialmente durante las temporadas de lluvias.

Cada una de estas unidades fisiográficas contribuye de manera crucial al equilibrio ecológico del área, pero también es vulnerable a las actividades humanas. En particular, la minería es una de las principales

actividades que afectan estos ecosistemas. Las explotaciones mineras en la región se concentran en áreas específicas: en las zonas de pie de monte, que se encuentran en las pendientes de las montañas, y en las llanuras aluviales, que son formaciones planas producto de la acumulación de sedimentos. La minería en estas zonas genera un impacto considerable, alterando la estructura del terreno, modificando la vegetación nativa y afectando la calidad de los cuerpos de agua cercanos.

Figura 11: Extracción por métodos y equipos

ACTIVIDAD MINERA	METODO DE EXTRACCIÓN	EQUIPOS
Zona de pie de monte	SHUTE-TOLVA	Shute, cargador frontal
		Shute, cargador frontal, camión volquete
		Shute, cargador frontal, camión volquete, Excavadora
Zona de llanura aluvial	DRAGAS de succión de solidos	Chupaderas
		Caranchera
		Traca de monte
	DRAGAS de succión	Balsas sobre cauce del rio 6"
		Draga hidráulica de 15 "
	Canaleta-Carretilla	
	Ingenio	
	Arrastre	

Métodos que causan mayor impacto ambiental

Los métodos utilizados para evaluar la magnitud del impacto, basados en las calificaciones obtenidas, han permitido identificar aquellos procesos de extracción que generan los mayores efectos en la minería aurífera dentro de la subcuenca del Inambari.

Figura 12: Categorización de extracción por métodos

ESCALA	VALOR	METODOS
Alto	7-10	Traca, Draga, Shute
Mediano	4-6-9	Arrastre, Caranchera, Chupadera, Balsa Gringo
Bajo	1-3-9	Ingenio, Carretilla, Canaleta

Traca: Esta forma de extracción tiene un impacto significativo en el medio ambiente, afectando directamente la mayoría de los indicadores analizados. Sus principales consecuencias incluyen la remoción extensiva de suelos, el depósito desordenado de gravas, el aumento de sedimentos en el agua, la modificación de los cauces fluviales y la profundización de las áreas de explotación.

Draga: El empleo de dragas supone un riesgo ambiental considerable, impactando gravemente en la mayoría de los indicadores evaluados. Entre sus efectos más notorios se encuentran la acumulación desmedida de gravas, el incremento de la turbidez del agua debido a partículas suspendidas, la rápida sedimentación en los cauces fluviales, la contaminación por hidrocarburos y la expansión progresiva de las zonas de extracción.

Shute: Este método afecta directamente tres de los ocho indicadores ambientales analizados, generando efectos adversos en la cobertura forestal debido a la deforestación, provocando alteraciones en la

morfología del terreno por el movimiento de tierras y contribuyendo a la expansión y profundización de las zonas de explotación minera.

Conclusión

Este estudio ha permitido realizar una evaluación y clasificación de los impactos ambientales derivados de la minería aurífera en la subcuenca del río Inambari. Se identificaron un total de 858 impactos, los cuales fueron distribuidos en tres áreas principales: el medio físico, biológico y socioeconómico. Los hallazgos indican que la minería aurífera, tanto a pequeña escala como artesanal, ha originado un deterioro considerable del medio ambiente en la región, afectando negativamente la calidad de los ecosistemas, la biodiversidad y el equilibrio socioeconómico de las comunidades locales.

Los métodos de extracción más destructivos incluyen el uso de dragas, shutes y tracas, que son responsables de una deforestación acelerada, la contaminación de los cuerpos de agua por sedimentos y mercurio, y la alteración de los hábitats naturales. La evaluación del Valor del Impacto Ambiental (VIA) ha sido crucial para la categorización de estos impactos, proporcionando un marco metodológico que facilita la priorización de las áreas y actividades que requieren atención inmediata.

Los resultados obtenidos resaltan la urgencia de implementar estrategias de mitigación más eficaces, fortalecer los procesos de formalización minera y reforzar las políticas de control y monitoreo ambiental en la zona. Además, es esencial promover alternativas de desarrollo sostenible que reduzcan el impacto sobre los ecosistemas amazónicos y aseguren la conservación de los recursos naturales en la región de Madre de Dios.

Este trabajo aporta al entendimiento detallado de los efectos de la minería aurífera en la Amazonía peruana, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones informadas en la gestión ambiental. Se recomienda continuar con investigaciones que utilicen tecnologías de monitoreo satelital y modelos predictivos para evaluar de manera más precisa la evolución de los impactos mineros y diseñar estrategias de recuperación ambiental más efectivas.

Referencias

- Alarcón Aguirre, G., Canahuire Robles, R. R., Guevara Duarez, F. M., Rodríguez Achata, L., Gallegos Chacón, L. E., & Garate-Quispe, J. (2021). Dinámica de la pérdida de bosques en el sureste de la Amazonia peruana: un estudio de caso en Madre de Dios. *Ecosistemas*, 30(2), 2175–2175. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2175>
- Aranoglu, F., Flamand, T., & Duzgun, S. (2022). Analysis of Artisanal and Small-Scale Gold Mining in Peru under Climate Impacts Using System Dynamics Modeling. *Sustainability* 2022, Vol. 14, Page 7390, 14(12), 7390. <https://doi.org/10.3390/SU14127390>
- Araújo-Flores, J. M., Garate-Quispe, J., García Molinos, J., Pillaca-Ortiz, J. M., Caballero-Espejo, J., Ascorra, C., Silman, M., & Fernandez, L. E. (2021). Seasonality and aquatic metacommunity assemblage in three abandoned gold mining ponds in the southwestern Amazon, Madre de Dios (Peru). *Ecological Indicators*, 125, 107455. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2021.107455>
- Asner, G. P., & Tupayachi, R. (2017). Accelerated losses of protected forests from gold mining in the Peruvian Amazon. *Environmental Research Letters*, 12(9), 094004. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/AA7DAB>
- Astudillo-Sánchez, E., Pérez, J., Troccoli, L., & Aponte, H. (2019). Composición, estructura y diversidad vegetal de la Reserva. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 90(3). <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2019.90.2871>

- Beraún-Espíritu, M. M., Moscoso-Paucarchuco, K. M., Gutiérrez-Gómez, E., Cárdenas-Bustamante, M. A., & González-Ríos, R. C. (2023). Energías limpias, negocios sucios. *Prometeica*, 28, 172–184. <https://doi.org/10.34024/PROMETEICA.2023.28.15395>
- Berky, A. J., Weinhouse, C., Vissoci, J., Rivera, N., Ortiz, E. J., Navio, S., Miranda, J. J., Mallipudi, A., Fixen, E., Hsu-Kim, H., & Pan, W. K. (2023). In Utero Exposure to Metals and Birth Outcomes in an Artisanal and Small-Scale Gold Mining Birth Cohort in Madre de Dios, Peru. *Environmental Health Perspectives*, 131(9). <https://doi.org/10.1289/EHP10557>
- C., L. C., S., N. M., & L., E. R.-C. (2021). DEFORESTACIÓN POR ACTIVIDAD MINERA EN EL DEPARTAMENTO DE MADRE DE DIOS-PERÚ PARA LOS AÑOS 2000 Y 2017. *Anales Científicos*, 82(1), 122–129. <https://doi.org/10.21704/AC.V82I1.1748>
- Coayla, E., Romero Carrion, V. L., & Bedón Soria, Y. T. (2024). Regulación económica e impacto ambiental de la gran minería cuprífera en el desarrollo de Perú. *Economía Sociedad y Territorio*, 24(74), 1–24. <https://doi.org/10.22136/EST20242032>
- Cortés-McPherson, D. (2019). Expansion of small-scale gold mining in Madre de Dios: ‘capital interests’ and the emergence of a new elite of entrepreneurs in the Peruvian Amazon. *The Extractive Industries and Society*, 6(2), 382–389. <https://doi.org/10.1016/J.EXIS.2019.01.002>
- Espin, J. (2023). Legal but Environmentally Harmful Practices Involved in Gold Mining in Madre de Dios, Peru. *Critical Criminology*, 31(2), 563–579. <https://doi.org/10.1007/S10612-023-09685-W/METRICS>
- Ferrer, Y. R. (2016). Seguimiento en el tiempo de la evaluación de impacto ambiental en proyectos mineros. *Luna Azul*, 42, 256–269. <https://doi.org/10.17151/LUAZ.2016.42.16>
- Giraldo Malca, U. F., Sabogal Dunin Borkowski, A. B., Facho Bustamante, N., Mori Reaño, M. J., & Giraldo Armas, J. M. (2022). Alluvial Gold Mining, Conflicts, and State Intervention in Peru’s Southern Amazonia. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/SSRN.4108635>
- Killick, E. (2020). Extractive Relations: Natural Resource Use, Indigenous Peoples and Environmental Protection in Peru. *Bulletin of Latin American Research*, 39(3), 290–304. <https://doi.org/10.1111/BLAR.12954>
- Nacional, U., De, M., Marcos, S., Heymann, E. W., & Tirado Herrera, E. R. (2021). Estación Biológica Quebrada Blanco: un sitio poco conocido para investigación en biodiversidad y ecología en la Amazonía peruana. *Revista Peruana de Biología*, 28(3), 20266. <https://doi.org/10.15381/RPB.V28I3.20266>
- Pisconte, J. N., Vega, C. M., Sayers, C. J., Sevillano-Ríos, C. S., Pillaca, M., Quispe, E., Tejeda, V., Ascorra, C., Silman, M. R., & Fernandez, L. E. (2024). Elevated mercury exposure in bird communities inhabiting Artisanal and Small-Scale Gold Mining landscapes of the southeastern Peruvian Amazon. *Ecotoxicology (London, England)*, 33(4–5), 472–483. <https://doi.org/10.1007/S10646-024-02740-4>
- Salo, M., Hiedanpää, J., Karlsson, T., Cárcamo Ávila, L., Kotilainen, J., Jounela, P., & Rumrill García, R. (2016). Local perspectives on the formalization of artisanal and small-scale mining in the Madre de Dios gold fields, Peru. *The Extractive Industries and Society*, 3(4), 1058–1066. <https://doi.org/10.1016/J.EXIS.2016.10.001>
- Soto-Benavente, M., Rodríguez-Achata, L., Olivera, M., Sanchez, V. A., Nano, C. C., & Quispe, J. G. (2020). Riesgos para la salud por metales pesados en productos agrícolas cultivados en áreas abandonadas por la minería aurífera en la Amazonía peruana. *Scientia Agropecuaria*, 11(1), 49–59. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.01.06>