



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

EVALUACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES MINEROS EN LA REGIÓN PUNO, PERÚ, 2025

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniera Ambiental

Autor:

Katherine Krissel Patiño Becerra

Asesor:

Dra. Sc. Irma Geralda Horna Hernández

<https://orcid.org/0000-0003-3961-0933>

Lima - Perú

2025

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Magda Rosa Velasquez Marin
	Nombre y Apellidos

Jurado 2	Haniel Josue Torres Joaquin
	Nombre y Apellidos

Jurado 3	Irma Geralda Horna Hernandez
	Nombre y Apellidos

Informe de Similitud



Página 2 de 49 - Descripción general de Integridad

Identificador de la entrega trnoid:::1:3349298457




6% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 8 palabras)
- ▶ Trabajos entregados
- ▶ Fuentes de Internet

Fuentes principales

- 0%  Fuentes de Internet
- 6%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Dedicatoria

El presente trabajo de investigación para optar el título profesional está dedicado a mis padres: Francisco y Elba, por ser los principales promotores de mis sueños, por confiar en mí y por los valores que me han inculcado.

A mi hermana Brenda, por estar siempre presente ofreciéndome su apoyo moral e incondicional en todo momento.

Y a mis seis gatos: Denver, Kira, Kai, Kimi, Pepa y Tomasiha, por brindarme todo su amor puro, por su acompañamiento reconfortante en este viaje académico y por representar lo máspreciado en mi vida y mi mayor motivación.

Agradecimiento

A mis padres, por su apoyo y comprensión todos estos años, gracias a ellos he logrado concretar muchos de mis objetivos.

A mi asesora, por haber compartido sus conocimientos para desarrollar el trabajo de tesis, guiándome con mucha profesionalidad, así como también, a mis docentes universitarios por ser responsables de mi formación profesional.

Tabla de contenidos

Índice de tablas	9
Índice de Figuras.....	10
Resumen	12
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	13
1.1. Realidad problemática	13
1.1.1 Antecedentes Internacionales	16
1.1.2 Antecedentes Nacionales.....	18
1.1.3 Antecedentes Locales	20
1.2. Formulación del problema.....	21
1.2.1 Problema General	21
1.2.2 Problemas Específicos.....	21
1.3. Objetivos.....	21
1.3.1 Objetivo General	21
1.3.2 Objetivos Específicos	21
1.4. Hipótesis	22
1.4.1 Hipótesis General	22
1.4.2 Hipótesis Específicas.....	22
1.5. Marco Teórico	22
1.5.1 Minería	22
1.5.2 Pasivos Ambientales Mineros	22

1.5.3	Biorremediación	23
1.5.4	Plan de cierre de minas.....	24
1.5.5	Teledetección.....	24
1.5.6	Espectroradiómetro de Imágenes de Resolución Moderada (MODIS)	25
1.5.7	Base Legal	26
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA		27
2.1.	Tipo de investigación	27
2.2.	Población y Muestra	29
2.2.1	Población	29
2.2.2	Muestra	29
2.3.	Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	32
2.3.1	Técnicas	32
2.3.2	Instrumentos	32
2.4.	Procedimiento de recolección de datos	34
2.4.1	Delimitación del área de estudio	34
2.4.2	Identificación de los tipos de pasivos ambientales mineros	35
2.4.3	Ubicación de los pasivos ambientales mineros a través de la integración de coordenadas geográficas	36
2.4.4	Delimitación de las zonas con presencia de pasivos ambientales mineros	37
2.4.5	Cálculo de las áreas con presencia de pasivos ambientales mineros	

38

2.4.6	Análisis de los pasivos ambientales mineros que cuentan con Plan de cierre	39
2.5.	Procedimiento de tratamiento y análisis de datos.....	39
2.6.	Aspectos éticos	44
CAPÍTULO III: RESULTADOS		46
3.1.	Análisis de los tipos de pasivos ambientales mineros en la región Puno	46
3.2.	Análisis de las áreas que abarcan los pasivos ambientales mineros en la región Puno con respecto al área de la región	50
3.3.	Análisis del porcentaje de pasivos ambientales mineros en la región Puno que cuentan con Plan de cierre	52
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES		54
4.1.	Discusión	54
4.2.	Conclusiones.....	56
REFERENCIAS		57

Índice de tablas

Tabla 1 Tipos y subtipos de Pasivos Ambientales Mineros	23
Tabla 2 Codificación de las zonas con pasivos mineros en Puno.....	30
Tabla 3 Tipos de pasivos ambientales mineros en Puno	46
Tabla 4 Subtipos de pasivos ambientales mineros en Puno	49
Tabla 5 Estimación de las áreas con pasivos ambientales mineros en Puno	51
Tabla 6 Pasivos ambientales mineros que cuentan con Plan de cierre	52

Índice de Figuras

Figura 1 Plataformas de teledetección	24
Figura 2 Imagen MCD12Q1.061 MODIS	26
Figura 3 Zonas que abarcan los pasivos mineros en Puno	30
Figura 4 Algoritmo de MCD12Q1.061 MODIS Land Cover Type Yearly Global 500m	33
Figura 5 Delimitación del área de estudio	35
Figura 6 Pasivo ambiental minero de tipo Residuo minero.....	36
Figura 7 Ubicación de los pasivos ambientales mineros en Puno	37
Figura 8 Delimitación de las zonas con presencia de pasivos mineros en Puno	38
Figura 9 Cálculo de las áreas con presencia de pasivos mineros.....	39
Figura 10 Tabla de Banda de tipos de cobertura de la tierra	40
Figura 11 Identificación de bandas en la zona APAM-01.....	41
Figura 12 Identificación de bandas en la zona APAM-02.....	41
Figura 13 Identificación de bandas en la zona APAM-03.....	42
Figura 14 Identificación de bandas en la zona APAM-04.....	43
Figura 15 Identificación de bandas en la zona APAM-05.....	43
Figura 16 Identificación de bandas en la zona APAM-06.....	44
Figura 17 Distribución de los tipos de pasivos ambientales mineros en Puno ...	47
Figura 18 Pasivo ambiental minero tipo Labor minera	47

Figura 19 Pasivo ambiental minero tipo Residuo minero	48
Figura 20 Pasivo ambiental minero tipo Infraestructura	48
Figura 21 Cuantificación de subtipos de pasivos mineros en Puno.....	50
Figura 22 Porcentajes de las áreas con pasivos mineros respecto al área de Puno	52
Figura 23 Porcentaje de pasivos mineros de Puno que cuentan con Plan de cierre	53

Resumen

En el Perú, la minería es una de las actividades económicas más importantes, que lamentablemente, por una deficiente gestión ha venido generando una gran cantidad de pasivos ambientales, afectando distintas regiones mineras, como lo es la región de Puno. A pesar del conocimiento de las autoridades acerca de las afectaciones que causan estos pasivos, la mayoría de ellos no son remediados. El objetivo de este trabajo es analizar cuáles son los pasivos ambientales mineros en la región Puno, Perú. Para ello, se empleó las imágenes MODIS de MCD12Q1.061 MODIS Land Cover Type Yearly Global 500m, e imágenes satelitales de tipo Landsat / Copernicus. Los resultados obtenidos, muestran la identificación de 737 pasivos ambientales mineros en la región Puno, 431 son de tipo labor minera, 264 son de residuo minero y 42 son de infraestructura. El área que abarcan los pasivos es de 530.8 ha y representan el 33.88% del área de la región Puno. Además, se determinó que el 24.56% de los pasivos cuentan con Plan de cierre, mientras que un 75.44% no. Se concluye que, en la región Puno hay una moderada presencia de pasivos mineros, con la mayoría de ellos sin un Plan de cierre.

Palabras Claves

pasivos ambientales mineros, minería, sitios contaminados, imágenes satelitales, Puno

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La actividad minera en el Perú ha sido históricamente, uno de los pilares económicos del país, contribuyendo de manera significativa al Producto Bruto Interno (PBI) nacional y al desarrollo de regiones altoandinas como Puno. Sin embargo, este desarrollo ha venido acompañado de impactos ambientales negativos, entre los que se destacan los pasivos ambientales mineros (PAM), los cuales manifiestan impactos directos sobre las aguas superficiales y subterráneas, como el escurrimiento superficial, la infiltración y el drenaje ácido. Asimismo, se manifiestan efectos de arrastre de material particulado, que probablemente contengan compuestos tóxicos, perjudicando de esta manera a la salud humana y al ambiente (Sánchez, 2019).

El estudio de los pasivos ambientales mineros en la región de Puno es de relevancia inmediata debido a la creciente actividad minera informal en la zona, que ha generado impactos negativos tanto en los ecosistemas locales como en las comunidades aledañas. La pronta remediación de los pasivos ambientales mineros existentes y la no generación de estos, resultan totalmente necesarias, debido a que la población continúa expuesta a estos pasivos que poseen sustancias tóxicas y bioacumulables, además que, podrían contener o generar sustancias letales. Este trabajo pretende contribuir a la identificación y evaluación de dichos pasivos, ofreciendo información crucial para la toma de decisiones en políticas públicas y para la mejora de la gestión ambiental (Red Muqui, 2015).

Los pasivos ambientales mineros, en otras palabras, las actividades de minería que no cuentan con un cierre formal y técnico y que simbolizan un riesgo para las personas y el ambiente, pueden resultar nocivos a las comunidades de la zona, alterar el ecosistema y representar un tedioso inconveniente para la actual y futuras generaciones. Asimismo, la infraestructura en abandono y su probable colapso, indican la presencia de riesgos físicos; y los drenajes ácidos generados que pueden escurrirse por medio de bocaminas abiertas, representan riesgos químicos. Los riesgos físicos de un pasivo minero pueden agravarse y resultar en daños a causa del mal estado de una instalación o de fenómenos naturales. En las zonas donde la contaminación incluye la presencia de residuos o materiales que poseen elementos altamente tóxicos, demuestran los riesgos químicos que generan los pasivos mineros. La eliminación o disminución de estos riesgos relacionados a los pasivos ambientales mineros a través de proyectos de remediación, genera una elevación del bienestar entre las personas, además, se crean oportunidades económicas que se transforman en progreso para el área remediada (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2024).

En la región Puno, el número de pasivos ambientales mineros ha ido incrementando debido a la presencia por muchos años de la minería formal, informal e ilegal que, en su mayoría, no han contado con sus respectivos estudios y/o adecuados planes de cierre de minas ni de remediación ambiental. Según el Ministerio de Energía y Minas (MINEM), hasta el año 2024, se tiene registro de más de 900 PAM en dicha región (Ministerio de Energía y Minas, 2024).

En el análisis y evaluación de los pasivos ambientales mineros, resulta crucial la identificación y clasificación de las ex unidades mineras en situación de abandono, debido a que, nos ofrece una mejor comprensión sobre una de las razones que aportan a la actual

problemática ambiental del país. Así pues, resulta imperioso dar prioridad a las actividades de remediación de los pasivos ambientales mineros, además, la actualización de la normativa vigente y el incentivo a la remediación facultativa son acciones que el Estado debe encargarse de desarrollarlas con mucha efectividad (Rosales, 2024).

La evaluación de los pasivos ambientales mineros en la región de Puno reviste una gran relevancia tanto a nivel ambiental como social. La actividad minera en Puno, especialmente la minería informal, ha generado altos niveles de contaminación en cuerpos de agua, suelos y ecosistemas, afectando directamente a las comunidades locales y su calidad de vida. Este estudio se justifica por la necesidad urgente de comprender la magnitud de estos pasivos, lo cual es esencial para desarrollar políticas públicas efectivas en materia de remediación y prevención. Además, el contexto actual, marcado por un aumento de la minería en la zona y un creciente interés por la sostenibilidad ambiental, hace que este trabajo sea particularmente oportuno. La evaluación propuesta aportará al desarrollo de estrategias concretas para mitigar los impactos negativos de la minería, contribuyendo a la salud ambiental y al bienestar social de la región.

Este estudio aporta a la teoría del manejo ambiental respecto a las actividades mineras, ofreciendo una perspectiva sobre la evaluación de pasivos ambientales en regiones con escasa información técnica, lo que puede enriquecer las investigaciones relacionadas con la sostenibilidad ambiental y el desarrollo regional. A nivel práctico, los resultados de esta investigación permitirán a las autoridades locales y a las organizaciones medioambientales diseñar políticas más efectivas para la remediación de los pasivos ambientales en la región, así como para la prevención de la contaminación minera en el futuro. Con la evaluación e identificación de los pasivos mineros resulta más fácil su inclusión en los estudios y diagnósticos ambientales que viene realizando el Ministerio

de Energía y Minas, así como también, su inclusión en proyectos de eliminación de pasivos ambientales (Red Muqui, 2015).

Asimismo, este estudio se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en específico, con el ODS 6 (agua limpia y saneamiento) y el ODS 15 (vida de ecosistemas terrestres), al promover la implementación de acciones que reduzcan la contaminación de fuentes de agua y se restauren áreas degradadas. Esta investigación representa una oportunidad para fomentar una minería más responsable, que se base en principios de sostenibilidad ambiental y respeto a las comunidades (Organización de las Naciones Unidas, 2015).

1.1.1 Antecedentes Internacionales

Zamora *et al.* (2023) realizó un estudio en el departamento de Oruro, Bolivia, que tuvo como objetivo la aplicación de la metodología propuesta por el Instituto Geológico Minero de España (IGME) para la evaluación del riesgo de los pasivos ambientales mineros presentes en el distrito Japo, y así, desarrollar una escala de priorización de los pasivos para su posterior remediación. Los resultados obtenidos en la Matriz de Riesgos demuestran que la contaminación con afección a las aguas superficiales, la erosión de sedimentos por erosión hídrica, movilización de material particulado por acción del viento y sus efectos sobre las personas, población y medio ambiente, presentan un riesgo muy alto. Por consiguiente, tomando en cuenta la evaluación de riesgos presentada, se requiere realizar una rehabilitación ambiental inmediata de los pasivos ambientales mineros del área estudiada.

García *et al.* (2014) realizó una investigación en la ciudad de Bogotá, Colombia; en la cantera Villa Gloria, donde se tuvo como objetivo utilizar la metodología de evaluación del impacto ambiental de Gómez Orea para llevar a cabo el análisis y

diagnóstico de los pasivos ambientales existentes en la cantera, y de esta manera, determinar probables proyectos de mitigación para poder darle un nuevo uso a dicha zona. Se desarrolló la metodología de Gómez Orea, la cual consiste en correlacionar el pasivo ambiental con los componentes ambientales, a través de la elaboración de una matriz de impacto de doble entrada, considerando todos los componentes con sus respectivos indicadores. Se realizó la valoración de los pasivos ambientales presentes en la cantera Villa Gloria, determinando la afectación de los componentes atmosférico, ambiental físico, ambiental biótico, ambiental socioeconómico. En conclusión, los componentes ambientales más afectados fueron el físico y biótico, debido a los impactos causados por la remoción de la capa orgánica del suelo y movimientos en masa.

Kirschbaum *et al.* (2012) realizó un estudio en el noroeste de Argentina, en los sitios denominados La Concordia, Planta de Tratamiento La Poma y Pan de Azúcar. Esta investigación tuvo como objetivo mostrar los avances en el conocimiento de los tres pasivos ambientales mineros en los sitios antes mencionados, en cada uno de ellos se estudió los sedimentos, suelos, aguas superficiales y minerales secundarios; se describió los diques de cola estratigráficamente, además, en un laboratorio se desarrolló un ensayo de caracterización fisicoquímica de agua de poro. Se obtuvieron resultados que indican que los pasivos ambientales mineros representan fuentes de contribución de metales pesados en suelos, sedimentos fluviales y aguas de la región. En conclusión, los estudios desarrollados hasta la fecha acerca de los PAM de plomo, plata y zinc permiten conocer el impacto negativo en las zonas de estudio, debido a los metales pesados presentes; este aporte de metales se relaciona a los desechos mineros que no tuvieron medidas de prevención cuando se realizó el abandono y/o cierre de las minas.

1.1.2 Antecedentes Nacionales

Rodríguez (2022) realizó un estudio en la provincia de Huarochirí, en el departamento de Lima, que tuvo como objetivo analizar las condiciones de los pasivos ambientales mineros en el área ubicado entre Casapalca y Chilca. La investigación empleó fuentes propias y secundarias, obteniendo datos sobre las principales actividades de extracción y acidez (pH), comparando estos resultados con estándares internacionales y nacionales de calidad de agua. Se determinó que las concentraciones de plomo, cadmio, manganeso, cobre, arsénico, hierro, zinc, y también el pH, superaron los estándares de calidad. Además, se identificó cuatro bocatomas que poseen relaveras en abandono o descuidadas, las cuales vienen aumentando el nivel de saturación del área. En conclusión, el uso de la tecnología para el tratamiento de los efluentes mineros es muy necesario para obtener mínimas concentraciones de metales pesados, y que en su descarga no afecte al ecosistema.

Quispe (2019) realizó una investigación en la provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca, que tuvo como objetivo principal mejorar la gestión ambiental y tomar decisiones para la prevención, manejo y control con respecto a los pasivos ambientales mineros, se realizó la evaluación mediante mapas, tablas estadísticas, fichas, formatos; el aforo por medio del método volumétrico y flotador en siete puntos seleccionados; se realizó el monitoreo de agua para metales en suspensión en siete puntos estratégicos. Los elementos que conforman los pasivos ambientales mineros son aguas acidas y sólidos, los cuales ocupan un volumen de 1,000,000 m³ aproximadamente y comprende el 25% del área de la microcuenca, la cual tiene un área de 740,000 m². En conclusión, la evaluación de los PAM en las cinco zonas que presentaron una mayor afectación, según el índice de importancia ambiental (IM), es de moderado a alto.

Ortiz (2019) realizó una investigación en la provincia de Abancay, departamento de Apurímac, el cual tuvo como objetivo ubicar y evaluar la actual situación de los pasivos ambientales mineros presentes en la provincia. Se desarrolló actividades de localización, descripción del ambiente y de los pasivos ambientales mineros, sus orígenes, clasificación de los PAMs, matriz de importancia, su categoría ambiental, entre otros. Los resultados demostraron que en la provincia de Abancay no existe sólo ocho pasivos ambientales, por el contrario, existen sesenta y siete PAM. Se concluye que la diferencia de cincuenta y nueve pasivos ambientales mineros presentes en la provincia de Abancay, puedan ser incluidos en el Inventario de Pasivos Ambientales Mineros del Ministerio de Energía y Minas, para que estos pasivos puedan contar con su necesaria remediación.

Escandon (2019) realizó un trabajo de investigación en la provincia de Pasco, que tuvo como objetivo ubicar los pasivos ambientales mineros en dicha provincia, conocer sus efectos y la situación actual en el año 2018. Se recopiló información bibliográfica respecto a los pasivos ambientales mineros, principalmente, de la Oficina Descentralizada de Activos Mineros de Pasco, también, se realizó la identificación y delimitación de las áreas de pasivos ambientales, y entrevistas a los pobladores que puedan haber evidenciado los pasivos ambientales. Los resultados indican que en la provincia de Pasco hay 261 pasivos ambientales mineros, los cuales tienen un impacto negativo en la calidad de agua y suelo de la zona. Se identificaron sólo a 2 empresas responsables de 8 pasivos ambientales mineros, de los restantes aún se tiene desconocimiento. En conclusión, la presencia de los pasivos ambientales en la región viene afectando su calidad ambiental; las operaciones mineras sin un cierre formal representan una fuente de contaminación que en la mayoría de los casos ocasiona daños irreversibles en el ambiente y la salud humana.

1.1.3 Antecedentes Locales

Quinto (2021) realizó una investigación en la provincia de San Antonio de Putina, departamento de Puno, el cual tuvo como objetivo identificar los impactos de los pasivos ambientales mineros por medio de la teledetección. Se efectuó un análisis y procesamiento mediante los softwares ArcGIS 10.5 y ENVI 5.3, determinando el Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI), el Índice Diferencial Normalizado de Nieve (NDSI), el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), y las firmas espectrales de cada elemento del área de estudio. Se obtuvo un resultado del área total de los cuerpos hídricos afectados por los PAM, el cual abarca un total de 1341.9 Ha., mientras que los glaciares que se han visto comprometidos por estos pasivos comprenden un área de 307.29 Ha, la vegetación y suelos dañados comprenden un área total de 14,549.2 Ha., y las zonas urbanas afectadas, 750.81 Ha. En conclusión, con los cálculos obtenidos, esta investigación servirá como fuente de información geoespacial, el cual podrá ser empleado por instituciones estatales o privadas para la mitigación y/o remediación de los pasivos ambientales mineros.

Cuentas *et al.* (2019) realizó una investigación en la provincia de San Antonio de Putina, departamento de Puno, el cual tuvo como objetivo la evaluación simplificada de riesgos por contaminación empleando la metodología de Golder Associates. Se logró identificar siete pasivos ambientales mineros en la comunidad de Condoraque. Los resultados demuestran que el drenaje que se origina de la rampa San Marcelo y su infiltración en la napa freática presenta índices de probabilidad de ocurrencia alta, con consecuencias altas respecto a la vida acuática; el bofedal posee impactos negativos debido a los efluentes ácidos discurridos sobre el mismo. En conclusión, se propone realizar un estudio detallado sobre la restauración de bofedales, debido a su importancia

en la vida terrestre y su función como filtro de los metales pesados presentes en las aguas ácidas de la zona, además, se recomienda realizar estudios de toxicología ambiental respecto a las personas y fauna terrestre y acuática.

1.2. Formulación del problema

1.2.1 Problema General

¿Cuáles son los pasivos ambientales mineros en la región Puno, Perú, 2025?

1.2.2 Problemas Específicos

- ¿Qué tipos de pasivos ambientales mineros tenemos en la región Puno, Perú, 2025?
- ¿Qué área abarcan los pasivos ambientales mineros de la región Puno, Perú, 2025 con respecto al área de la región?
- ¿Qué porcentaje de pasivos ambientales mineros en la región Puno, Perú, 2025 cuentan con Plan de cierre?

1.3. Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Evaluar cuáles son los pasivos ambientales mineros en la región Puno, Perú, 2025.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Analizar los tipos de pasivos ambientales mineros que tenemos en la región Puno, Perú, 2025.
- Analizar el área que abarcan los pasivos ambientales mineros de la región Puno, Perú, 2025 con respecto al área de la región.
- Analizar el porcentaje de pasivos ambientales mineros en la región Puno, Perú, 2025 que cuenten con Plan de cierre.

1.4. Hipótesis

1.4.1 Hipótesis General

El departamento de Puno cuenta con una cantidad elevada de pasivos ambientales mineros.

1.4.2 Hipótesis Específicas

- Los pasivos ambientales mineros de la región Puno en alrededor del 60% son labores mineras, el 35% son residuos mineros y en un 5% son infraestructura.
- El área que abarcan los pasivos ambientales mineros de la región Puno es al menos 30% del territorio con respecto al área de la región Puno.
- Al menos un 20% de pasivos ambientales mineros en la región Puno cuentan con Plan de cierre y un 80% no cuentan con Plan de cierre.

1.5. Marco Teórico

1.5.1 Minería

La minería es una actividad económica que desarrolla la exploración y explotación del potencial minero, de esta manera se obtiene y aprovecha los recursos naturales para el beneficio del país y de la ciudadanía. Esta actividad es de suma importancia debido a la generación de desarrollo económico y recursos para la inversión pública. Asimismo, provee la materia prima para la construcción de edificaciones, infraestructura vial, fabricación de automóviles, electrodomésticos, pinturas, fertilizantes, entre otros materiales que son de uso diario (Cartagena, 2019).

1.5.2 Pasivos Ambientales Mineros

Se les denomina así a aquellas infraestructuras, emisiones, efluentes, depósitos o restos de residuos generados por operaciones mineras, inactivas o abandonadas a la fecha

de vigencia de la Ley y que representan un riesgo constante y potencial para la salud pública, el ecosistema circundante y la propiedad (Ley N° 28271, 2004, Art. 2).

Tipos y subtipos de Pasivos Ambientales Mineros

Según el Ministerio de Energía y Minas (2019) se consideran 3 tipos de pasivos ambientales mineros y más de 10 subtipos, como se puede apreciar en la Tabla 1.

Tabla 1

Tipos y subtipos de Pasivos Ambientales Mineros

Tipo	Subtipo
Labor minera	Bocaminas, chimeneas, piques, tajeos comunicados, trincheras y tajos abiertos
Residuo minero	Relaves, desmonte de mina, botaderos de lixiviación
Infraestructura	Campamentos, oficinas, talleres, plantas de procesamiento y otras instalaciones relacionadas con el proyecto minero

1.5.3 Biorremediación

La biorremediación es una tecnología que emplea el potencial metabólico de los microorganismos (principalmente bacterias, además de hongos y levaduras) para convertir los contaminantes orgánicos en componentes más simples, que representan poco o nada de contaminación y, por ende, se puede aplicar para restaurar áreas o cuerpos de agua contaminados (Mosquera, 2016).

1.5.4 Plan de cierre de minas

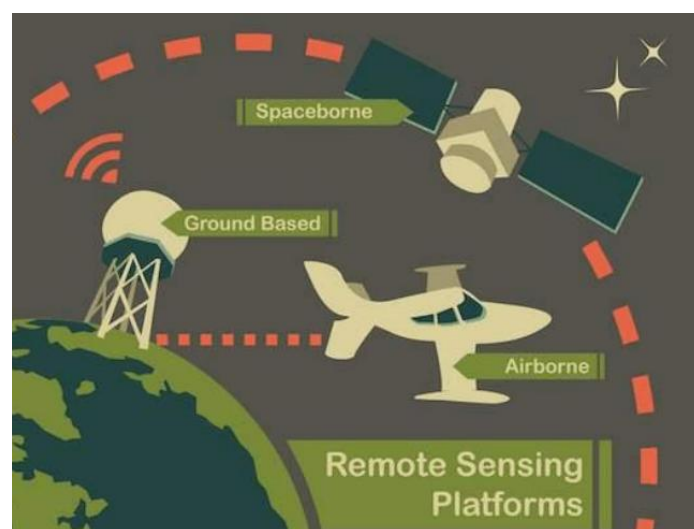
Es un instrumento de gestión ambiental que está constituido por acciones técnicas y legales, ejecutadas por los titulares mineros, dirigido a implantar medidas que deberán ser adoptadas con el propósito de rehabilitar el área que ha sido perturbada o utilizada por la actividad minera para que ésta pueda poseer características de ecosistema acorde con un ambiente saludable e idóneo para la preservación paisajista y el desarrollo de la vida (Ministerio de Energía y Minas, 2019).

1.5.5 Teledetección

La teledetección, también conocida como percepción remota, es la obtención de información sobre un objeto desde una distancia. Existen distintas formas de recopilar datos y se emplean diferentes sensores dependiendo de la aplicación. Algunos métodos recolectan datos a nivel del suelo, u desde el aire o espacio (Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio, 2023).

Figura 1

Plataformas de teledetección



Fuente: Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio

1.5.6 Espectroradiómetro de Imágenes de Resolución Moderada (MODIS)

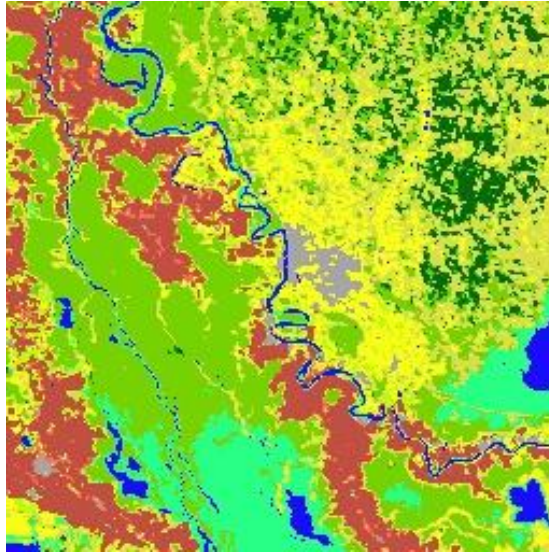
El Espectroradiómetro de Imágenes de Resolución Moderada (MODIS) recopila de manera continua datos en 36 bandas espectrales de cobertura global cada uno o dos días. Posee un excepcional amplio rango que permite utilizar los datos de MODIS en estudio o investigaciones de diversas disciplinas, como los cambios en la cobertura terrestre, la salud de la vegetación, el uso del suelo, océanos y su biología, temperatura superficial del mar y el análisis de nubes. Además, es muy utilizado para el monitoreo de incendios y peligros naturales, así como de derrames de petróleo. Un importante atributo de los datos de MODIS es la disponibilidad de sus productos en tiempo real y casi en tiempo real (Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio, 2025).

Land Cover Type Yearly Global 500 m (MCD12Q1.061 MODIS)

El producto de datos de tipo de cobertura terrestre (MCD12Q1) versión 6.1 del espectroradiómetro de imágenes de resolución moderada (MODIS) combinado de Tierra y Agua proporciona tipos de cobertura terrestre globales en intervalos anuales. El producto de datos MCD12Q1, versión 6.1, se deriva a partir de clasificaciones supervisadas de los datos de reflectancia de MODIS Tierra y Agua. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) proporciona capas adicionales de evaluación de propiedades de cobertura del suelo a través del Sistema de clasificación de cobertura del suelo (LCCS) para la cobertura del suelo, el uso del suelo y la hidrología de la superficie (Friedl y Sulla-Menashe, 2022).

Figura 3

Imagen MCD12Q1.061 MODIS



Fuente: Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio

1.5.7 Base Legal

La normativa legal peruana que regula los pasivos ambientales mineros son los siguientes:

- Ley que regula los Pasivos Ambientales de la Actividad Minera y su Reglamento (Ley N° 28271, julio del 2004), y sus modificaciones (Ley N° 28526, mayo del 2005; y D.L. N° 1042, junio del 2008).
- El Reglamento de Pasivos Ambientales de la Actividad Minera (D.S. N° 003-2009-EM, enero del 2009).
- Ley que regula el Cierre de Minas (Ley N° 28090) y sus modificatorias (Ley N° 28234 y Ley N° 28507).
- Reglamento de Cierre de Minas (D.S. N° 033-2005-EM) y sus modificatorias (D.S. N° 035-2006-EM y 045-2006-EM).

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

La presente tesis de investigación tiene un enfoque cuantitativo porque las variables de este estudio, los cuales son los tipos de pasivos ambientales mineros, el porcentaje de área que abarcan los pasivos ambientales mineros y porcentaje de pasivos ambientales que cuentan con planes de cierre, son medibles; y según Niño (2011) este enfoque se relaciona con la “cantidad” y, por ende, su objetivo fundamental es la medición y el cálculo. En términos generales, el enfoque cuantitativo busca la medición de las variables referentes a magnitudes.

El enfoque cuantitativo emplea la recolección y análisis de datos para responder una o múltiples interrogantes de investigación y comprobar las hipótesis definidas con anterioridad. Se basa en la medición numérica, el conteo y en el análisis estadístico para constituir con precisión los patrones de comportamiento de una población (Vega et al, 2014).

La investigación cuantitativa es adaptable a los temas emergentes del conocimiento, tal como es el de dar explicación de la realidad desde la complejidad del saber, a partir de tres ítems distintos pero a la vez integrados en un sistema, y son los siguientes: la complejidad, la estructura y sistemas, conceptos provenientes del funcionalismo, pero que estén orientados bajo principios de ética, naturales y ambientales, en otras palabras, que los valores de la persona investigadora se introduzcan en los procedimientos de innovación, descubrimiento e invención, anteriormente segregados de la generación de nuevos conocimientos (Babativa, 2017).

Según Arias (2021) el nivel de investigación explica el grado de profundidad con el que se trata un objeto de estudio o fenómeno. En este caso, se está analizando tres variables, los cuales serán analizados mediante tablas estadísticas y mapas temáticos.

El alcance de este estudio es descriptivo, ya que de acuerdo con Arias (2021), la función principal de estos estudios es la de detallar las características, propiedades, perfiles, de grupos, comunidades, fenómenos o cualquier objeto. Los datos de la variable de estudio son recolectados y luego medidos. Por esta razón, el presente trabajo tiene este alcance, debido a que, se describe las características de una variable dentro de un área establecida, es decir, se analizan las tres variables (tipos de pasivos ambientales mineros, porcentaje de área que abarcan dichos pasivos y el porcentaje de pasivos que no cuentan con planes de cierre) en un área específica.

Los estudios con alcance descriptivo permiten la probabilidad de que un evento pueda ser predicho, aunque sea de manera rudimentaria, sin embargo, se debe contar con una correcta base teórica, de igual manera, los antecedentes deben reflejar claramente el panorama de lo que pueda ocurrir, sólo de esta manera se podrían formular las hipótesis (Arias, 2021).

La presente tesis de investigación tiene diseño no experimental, en este tipo de tesis no existen estímulos o condiciones experimentales a las que las variables de estudio puedan ser sometidas, se evalúan los sujetos del estudio en su situación natural sin modificar alguna situación; del mismo modo, las variables del estudio no son manipuladas (Arias, 2021).

La investigación no experimental se desarrolla sin modificar las variables de forma deliberada. En otras palabras, en este estudio no se hace variar las variables independientes intencionalmente. Lo que se realiza en la investigación es la observación

de los fenómenos de manera exacta en cómo se desarrollan en su contexto natural, para poder analizarlos después (Hernández-Sampieri et al, 1997).

2.2. Población y Muestra

2.2.1 Población

En este estudio la población es el área total de análisis, en este caso, es la región de Puno con un área total de 1566,64 ha., debido a que en esta región serán analizados los pasivos ambientales mineros. La población es un conjunto que posee características en común, las cuales son objeto de estudio del investigador, para que mediante la observación de la muestra se pueda emplear las generalizaciones. En el proyecto se debe describir la población del estudio, asimismo, debe incluirse su ubicación en espacio y tiempo (Guillen et al, 2019).

Se puede definir a la población como el conjunto de todos los individuos, sean personas, animales, objetos, entre otros; que proporcionen información acerca del fenómeno estudiado. Simboliza una recopilación completa de componentes (fenómenos o datos, sujetos, objetos) que compartan algunas características en común (Quezada, 2010, como se citó en Guillen et al, 2019).

2.2.2 Muestra

La muestra de esta investigación son las zonas representativas que abarcan los pasivos ambientales mineros en la región Puno, en esta ocasión, se determinaron 6 zonas y fueron codificadas respectivamente. La muestra es un subconjunto que se considera como una parte relevante de la población o universo, a partir de la muestra se obtendrán los datos y desde la situación problemáticas de la investigación se perfila la población (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018, como se citó en Arias, 2021).

Figura 3

Zonas que abarcan los pasivos mineros en Puno



Fuente: Imagen Landsat / Copernicus

Tabla 2

Codificación de las zonas con pasivos mineros en Puno

Nº	Código	Perímetro (km)
1	APAM-01	79.5
2	APAM-02	221
3	APAM-03	186

4	APAM-04	140
5	APAM-05	274
6	APAM-06	65

La muestra es, sustancialmente, un subgrupo de la población. Es decir, es un subgrupo de componentes que son parte de ese grupo, al que, por sus características, se le llama población. Ciertamente, son pocas las veces en las que toda la población puede ser medida, es por esto, que se selecciona u obtiene una muestra y se desea que este subconjunto represente un fiel reflejo del conjunto de la población (Hernández-Sampieri et al, 1997).

El presente estudio tiene un muestreo de tipo no probabilístico, ya que, según Cortés e Iglesias (2004), este tipo de muestreo se realiza a juicio personal del investigador, el cual tiene potestad de decidir conscientemente o de manera arbitraria los elementos que se integrarán en la muestra.

El muestreo no probabilístico se emplea cuando se pretende escoger a una población tomando en consideración sus características en común o por un juicio sesgado del investigador. En este tipo de muestreo no se usan métodos de muestreo estadísticos, y todos los elementos de la población no tienen la misma posibilidad de ser escogidos (Arias, 2021).

La selección de los componentes de las muestras no probabilísticas no es dependiente de la probabilidad, sino de causas que están relacionadas con las cualidades de la persona investigadora que realiza la muestra. El proceso desarrollado no es mecánico ni se basa en fórmulas probabilísticas, sino que depende de la toma de

decisiones de una o varias personas, por lo tanto, la selección de las muestras hechas por decisiones no objetivas puede ser tendenciosa (Hernández-Sampieri et al, 1997).

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.3.1 Técnicas

En la presente investigación se utiliza la técnica de la observación no experimental, se desarrolló a partir de la selección de información confiable y veraz de diversos documentos obtenidos de fuentes bibliográficas confiables publicados por instituciones internacionales, nacionales y locales. Para conocer los tipos de pasivos ambientales mineros que existen en la región Puno, se realizó un análisis de imágenes satelitales, imágenes Landsat/Copernicus y las imágenes MODIS obtenidas por el algoritmo de MCD12Q1.061 MODIS Land Cover Type Yearly Global 500m, identificando los tipos de pasivo, como lo son, labor minera, residuo minero e infraestructura en zonas de actividad minera. Luego fueron comparados y verificados con la data del Inventario de pasivos ambientales mineros del Ministerio de Energía y Minas. A partir de esta información, también se podrá conocer qué pasivos mineros cuentan con plan de cierre y cuáles no.

Además, se analizaron datos e imágenes geospaciales para la delimitación del área de estudio y la determinación de zonas que abarcan los pasivos ambientales mineros en la región Puno. En el contexto de la investigación, los procedimientos desarrollados nos ofrecen una base de datos sólida para la caracterización y comprensión geoespacial de los pasivos ambientales mineros.

2.3.2 Instrumentos

Para el desarrollo de este estudio se empleó el instrumento de medición MCD12Q1.061 MODIS Land Cover Type Yearly Global 500m, el cual nos ofrece datos

de cobertura terrestre, las imágenes visualizadas en Google Earth Engine fueron superpuestas en nuestras zonas de análisis para la identificación de los pasivos ambientales gracias a la observación de los cambios o modificaciones en la cobertura terrestre. Para el análisis de las imágenes satelitales con MCD12Q1.061 MODIS Land Cover Type Yearly Global 500m, se utilizó el siguiente algoritmo (véase Figura 4).

Figura 4

Algoritmo de MCD12Q1.061 MODIS Land Cover Type Yearly Global 500m

```
var dataset = ee.ImageCollection('MODIS/061/MCD12Q1');
var igbpLandCover = dataset.select('LC_Type1');
var igbpLandCoverVis = {
  min: 1.0,
  max: 17.0,
  palette: [
    '05450a', '086a10', '54a708', '78d203', '009900', 'c6b044', 'dcd159',
    'dade48', 'fbff13', 'b6ff05', '27ff87', 'c24f44', 'a5a5a5', 'ff6d4c',
    '69fff8', 'f9ffa4', '1c0dff'
  ],
};
Map.setCenter(6.746, 46.529, 6);
Map.addLayer(igbpLandCover, igbpLandCoverVis, 'IGBP Land Cover');
```

Fuente: *Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA)*

Además, se emplearon las imágenes satelitales tipo Landsat / Copernicus, con data de Scripps Institution of Oceanography (SIO), Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) y National Geospatial-Intelligence Agency (NGA), para la identificación de los tipos de pasivo mineros presentes en el área de estudio, mediante observación directa. Asimismo, se empleó el software Google Earth Pro para la delimitación del área de estudio y representar la distribución geoespacial y su análisis de los tipos de pasivos mineros en Puno. De esta manera, se podrá determinar con mayor precisión las zonas de mayor impacto y facilitará la toma de decisiones para las acciones de remediación.

Validez y confiabilidad de información

Para establecer la validez y confiabilidad de la información presentada, se utilizó el instrumento MCD12Q1.061 MODIS Land Cover Type Yearly Global 500m, el cual ha sido diseñado por el Centro de Archivo Activo Distribuido de Procesos Terrestres de la NASA (Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio) en el Centro de Observación y Ciencia de los Recursos Terrestres del USGS (Servicio Geológico de los Estados Unidos).

2.4. Procedimiento de recolección de datos

Para la recolección de datos respecto a los pasivos ambientales mineros, se procedió con la identificación de estos a través de las imágenes satelitales, se hizo un acercamiento y mediante observación directa se iba identificando la presencia de pasivos y se iba determinando de qué tipo son y sus coordenadas geográficas, asimismo, empleando el algoritmo de cobertura terrestre se podía apreciar los cambios en la superficie terrestre, el cual podría indicar la presencia de pasivos ambientales. Los datos obtenidos gracias a las imágenes satelitales fueron corroborados con los datos del Inventario de Pasivos Ambientales Mineros del año 2025 expedito por el Ministerio de Energía y Minas, la información obtenida fue categorizada empleando una matriz en Microsoft Excel, considerando datos de la región, tipos y subtipos, coordenadas geográficas, y estudio ambiental. Una vez categorizados los datos se procede a realizar el procedimiento de la investigación.

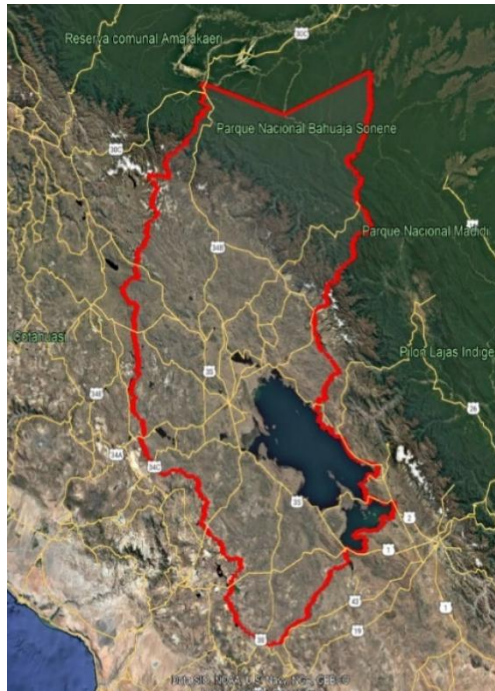
2.4.1 Delimitación del área de estudio

Se inicia con el reconocimiento y la delimitación de la región Puno, que es nuestra área de estudio, empleando las herramientas de Google Earth Pro. Se ingresa al software y utilizando la herramienta de búsqueda, ubicamos nuestra área de estudio, luego se

emplea la herramienta polígono y con ayuda de un shapefile, se delimita la región Puno, con esta herramienta también se obtiene los datos de área de 1566,64 ha.

Figura 5

Delimitación del área de estudio



Fuente: Imagen Landsat / Copernicus

2.4.2 Identificación de los tipos de pasivos ambientales mineros

Teniendo el área de estudio delimitado, se procede a la identificación de los tipos de pasivos ambientales mineros empleando las imágenes satelitales tipo Landsat / Copernicus, donde se puede visualizar los distintos subtipos, por ende, los tipos de pasivos que existen en la zona.

Figura 6

Pasivo ambiental minero de tipo Residuo minero



Fuente: Imagen Landsat / Copernicus

2.4.3 Ubicación de los pasivos ambientales mineros a través de la integración de coordenadas geográficas

Una vez identificados los pasivos mineros gracias al análisis de las imágenes satelitales, en el programa Google Earth Pro se utiliza la herramienta “marca de posición” para ubicar a estos pasivos y así obtener sus coordenadas geográficas.

Asimismo, se secunda de los datos de coordenadas geográficas del Inventario de pasivos ambientales mineros del MINEM, para la integración de las coordenadas. Los datos de coordenadas geográficas son filtrados en una tabla de Microsoft Excel, se guardan en archivo .csv para luego introducirlas en el programa Google Earth Pro para su visualización. Finalmente, se obtiene una capa con los pasivos ambientales mineros presentes en nuestra área de estudio.

Figura 7

Ubicación de los pasivos ambientales mineros en Puno



Fuente: Imagen Landsat / Copernicus

2.4.4 Delimitación de las zonas con presencia de pasivos ambientales mineros

Una vez ubicados los pasivos ambientales mineros en nuestra área de estudio, se procede a la delimitación de las zonas con presencia de los pasivos, se utiliza la herramienta “polígono” para crear un polígono envolvente. Se analizaron las zonas con mayor representación de pasivos mineros y tomando en cuenta el catastro minero, se obtuvieron 6 zonas.

Figura 8

Delimitación de las zonas con presencia de pasivos mineros en Puno



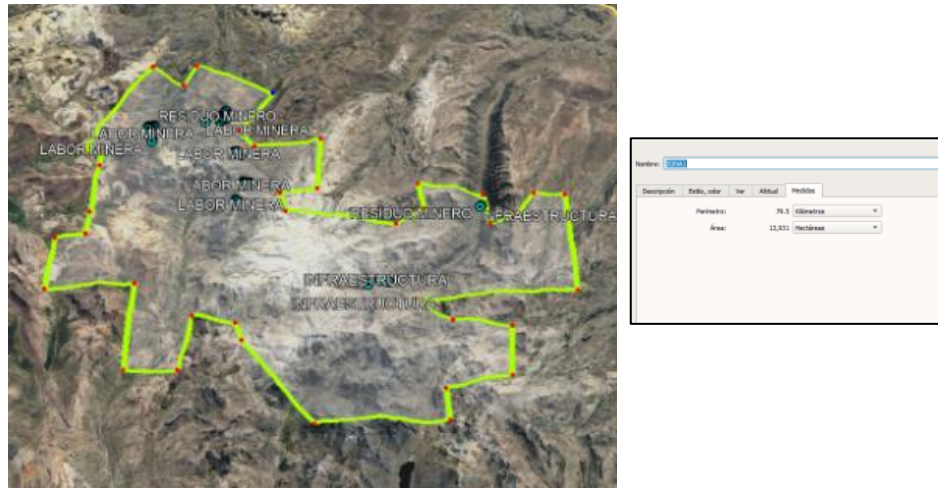
Fuente: Imagen Landsat / Copernicus

2.4.5 Cálculo de las áreas con presencia de pasivos ambientales mineros

Para el cálculo de las áreas donde se encuentran los pasivos mineros, se revisa las propiedades de los polígonos creados para nuestras zonas, se selecciona la opción “medidas” y se obtienen los datos de área y perímetro, gracias a esta operación se logró estimar el área que representan los pasivos ambientales mineros en la región Puno con mayor definición.

Figura 9

Cálculo de las áreas con presencia de pasivos mineros



Fuente: Imagen Landsat / Copernicus

2.4.6 Análisis de los pasivos ambientales mineros que cuentan con Plan de cierre

Para el análisis de los pasivos ambientales mineros que cuentan con un Plan de cierre, se realizó una búsqueda bibliográfica de fuentes confiables, que nos permitió conocer los pasivos que contaban con estudios ambientales y los responsables de ejecutar los Planes de cierre. Principalmente, se utilizó datos proporcionados por el Ministerio de Energía y Minas.

2.5. Procedimiento de tratamiento y análisis de datos

El tratamiento y análisis de los datos para la evaluación de los pasivos ambientales mineros, se realizó con el algoritmo de MCD12Q1.061 MODIS Land Cover Type Yearly Global 500m, el cual permitió el análisis de la cobertura terrestre donde se observaron las zonas de estudio para detectar cambios en su superficie. Además, se adicionaron las imágenes satelitales haciendo un acercamiento para una mejor identificación de los pasivos ambientales presentes mediante una observación directa por el tesista y a la par

se utilizaron las coordenadas obtenidas del Inventario de Pasivos Ambientales Mineros del Ministerio de Energía y Minas, para la ubicación de estos pasivos ambientales.

Aplicando el algoritmo en nuestra área de estudio, se pudo observar distintos colores de la banda empleada, los cuales identificaban a diferentes tipos de coberturas terrestre. Las imágenes obtenidas por el algoritmo fueron analizadas en las 6 zonas establecidas para el estudio.

Se utilizó la tabla de la banda de tipo de cobertura de la tierra: clasificación de tipos funcionales de plantas anuales (Véase figura 10).

Figura 10

Tabla de Banda de tipos de cobertura de la tierra

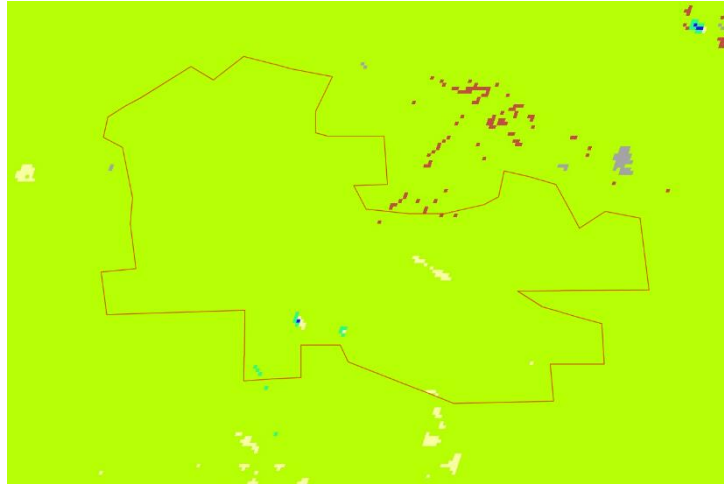
Valor	Color	Descripción
0	#1c0d0d	Cuerpos de agua: Al menos el 60% del área está cubierto por cuerpos de agua permanentes.
1	#008000	Árboles de hoja acicular perenne: Predominan los árboles coníferos perennes (más de 2 m). La cobertura arbórea es superior al 10%.
2	#008000	Árboles de hoja perenne: Predominan los árboles de hoja perenne y palmeados (>2 m). La cobertura arbórea es superior al 10%.
3	#54a708	Árboles de hoja caduca aciculares: Predominan los árboles de hoja caduca aciculares (alerces) (>2 m). La cobertura arbórea es superior al 10%.
4	#78d203	Árboles de hoja ancha caducifolios: Predominan los árboles de hoja ancha caducifolios (más de 2 m). La cobertura arbórea es superior al 10%.
5	#dcd159	Arbusto: La cobertura de arbustos (de 1 a 2 m) es superior al 10%.
6	#b6ff05	no se cultiva.
7	#dade48	Tierras de cultivo de cereales: Predominan las plantas herbáceas anuales (menos de 2 m). Al menos el 60% de los cultivos de cereales cultivados
8	#c24f44	Tierras de cultivo de hoja ancha: Predominan las plantas herbáceas anuales (menos de 2 m). Al menos el 60% de los cultivos de hoja ancha cultivados
9	#a5a5a5	Terrenos urbanos y edificados: Al menos el 30% de la superficie es impermeable, incluidos los materiales de construcción, el asfalto y los vehículos.
10	#69fff8	Nieve y hielo permanentes: Al menos el 60% del área está cubierto de nieve y hielo durante al menos 10 meses al año.
11	#f9ffa4	Tierras sin vegetación: Al menos el 60% del área es un terreno sin vegetación (arena, roca, suelo) con menos del 10% de vegetación.

Fuente: *Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA)*

En la primera zona (APAM-01) se identificaron las bandas #b6ff05, #f9ffa4 y #c24f44, las cuales representan tierras sin cultivo, tierras sin vegetación y tierras de cultivo de hoja ancha, respectivamente. Siendo la banda #b6ff05 tierras sin cultivo el ocupante de la mayoría del área.

Figura 11

Identificación de bandas en la zona APAM-01

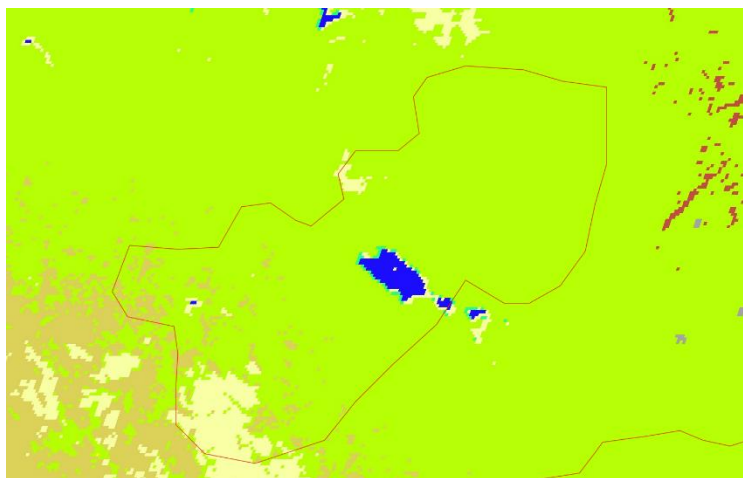


Fuente: Imagen MODIS MCD12Q1.061

En la segunda zona (APAM-02) se identificaron las bandas #b6ff05, #f9ffa4 y #dcd159, las cuales representan tierras sin cultivo, tierras sin vegetación y arbusto, respectivamente. Siendo la banda #b6ff05 tierras sin cultivo el ocupante de la mayoría del área.

Figura 12

Identificación de bandas en la zona APAM-02

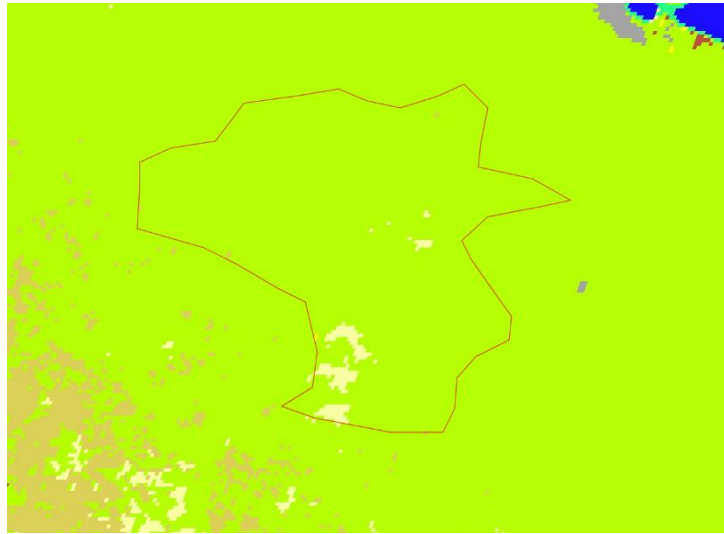


Fuente: Imagen MODIS MCD12Q1.061

En la tercera zona (APAM-03) se identificaron las bandas #b6ff05, #f9ffa4 y #dcd159, las cuales representan tierras sin cultivo, tierras sin vegetación y arbusto, respectivamente. Siendo la banda #b6ff05 tierras sin cultivo el ocupante de la mayoría del área.

Figura 13

Identificación de bandas en la zona APAM-03



Fuente: *Imagen MODIS MCD12Q1.061*

En la cuarta zona (APAM-04) se identificaron las bandas #b6ff05, #f9ffa4 y #a5a5a5, las cuales representan tierras sin cultivo, tierras sin vegetación y terrenos urbanos, respectivamente. Siendo la banda #b6ff05 tierras sin cultivo el ocupante de la mayoría del área.

Figura 14

Identificación de bandas en la zona APAM-04

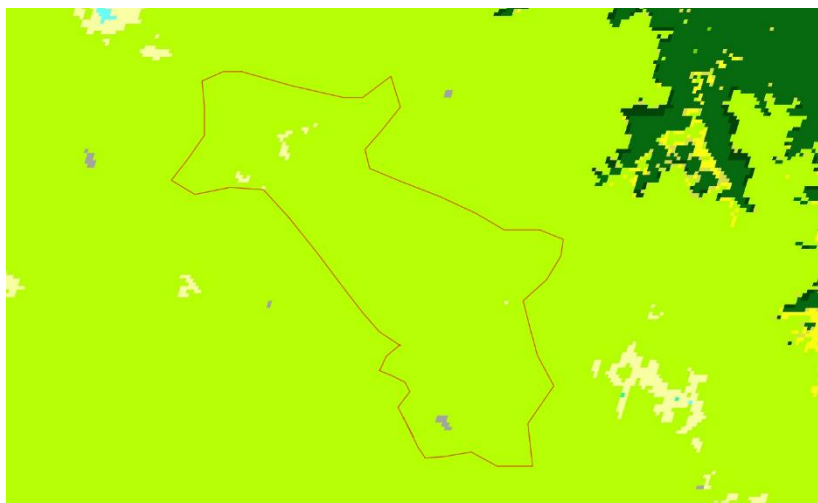


Fuente: Imagen MODIS MCD12Q1.061

En la quinta zona (APAM-05) se identificaron las bandas #b6ff05, #f9ffa4 y #a5a5a5, las cuales representan tierras sin cultivo, tierras sin vegetación y terrenos urbanos, respectivamente. Siendo la banda #b6ff05 tierras sin cultivo el ocupante de la mayoría del área.

Figura 15

Identificación de bandas en la zona APAM-05

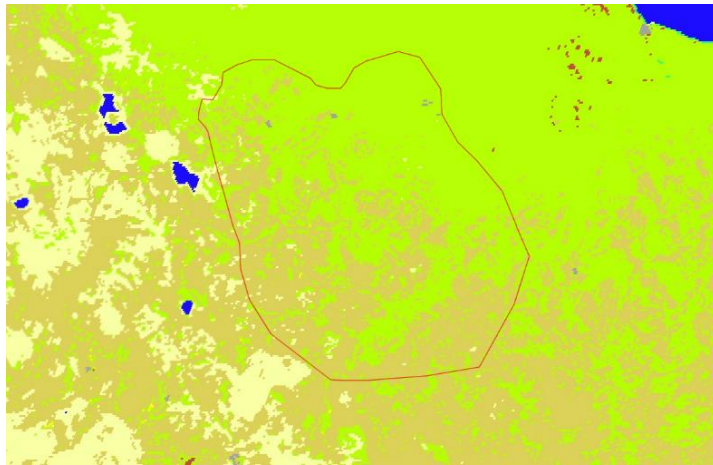


Fuente: Imagen MODIS MCD12Q1.061

En la sexta zona (APAM-06) se identificaron las bandas #b6ff05, #f9ffa4, #dcd159 y #a5a5a5, las cuales representan tierras sin cultivo, tierras sin vegetación, arbusto, y terrenos urbanos, respectivamente. Siendo la banda #b6ff05 tierras sin cultivo el ocupante de la mayoría del área.

Figura 16

Identificación de bandas en la zona APAM-06



Fuente: *Imagen MODIS MCD12Q1.061*

En el análisis estadístico, posteriormente a la aplicación de las técnicas e instrumentos mencionados, se procederá al análisis descriptivo de los datos recolectados utilizando la estadística descriptiva, mediante tablas, gráficos de barras y gráficos circulares, donde se expondrán los resultados de la investigación.

2.6. Aspectos éticos

El siguiente estudio de investigación tiene como aspecto ético verificar la veracidad de los datos y fuentes de información, así mismo, seguir el procedimiento de referenciado y citado según la norma APA, 7ª edición. Es necesario señalar que, esta

información adquirida fue fundamental para poder culminar con los resultados de dicha investigación.

De acuerdo con el código de ética de investigación de la Universidad Privada del Norte, aprobado por la Resolución Rectoral N°028-2024-UPN, en la presente investigación se adaptará un enfoque responsable en el tratamiento de la información. La credibilidad de los datos presentados será preservada conforme a los resultados obtenidos, sin manipulaciones o alteraciones.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Análisis de los tipos de pasivos ambientales mineros en la región Puno

En la tabla 3, se da a conocer los tipos de pasivos ambientales mineros identificados en la región Puno, teniendo un total de 737 pasivos ambientales mineros. Para el tipo de labor minera se obtuvo 431 pasivos, para el tipo de residuo minero se obtuvo 264 pasivos, y para el tipo de infraestructura se obtuvo 42 pasivos.

Tabla 3

Tipos de pasivos ambientales mineros en Puno

Tipo	Cantidad	Porcentaje (%)
Labor minera	431	58.48%
Residuo minero	264	35.82%
Infraestructura	42	5.70%
Total	737	100%

En la figura 17, se observa que el tipo labor minera es el tipo de pasivo ambiental minero con más presencia en la región Puno, representando un 58.48%, mientras que el tipo infraestructura es el que tiene menos presencia en la región, con un 5.70%.

Figura 17

Distribución de los tipos de pasivos ambientales mineros en Puno

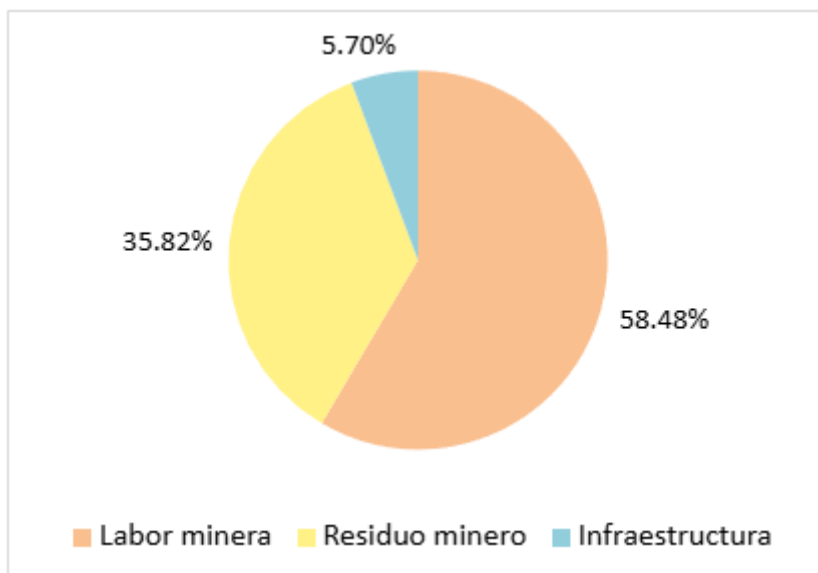
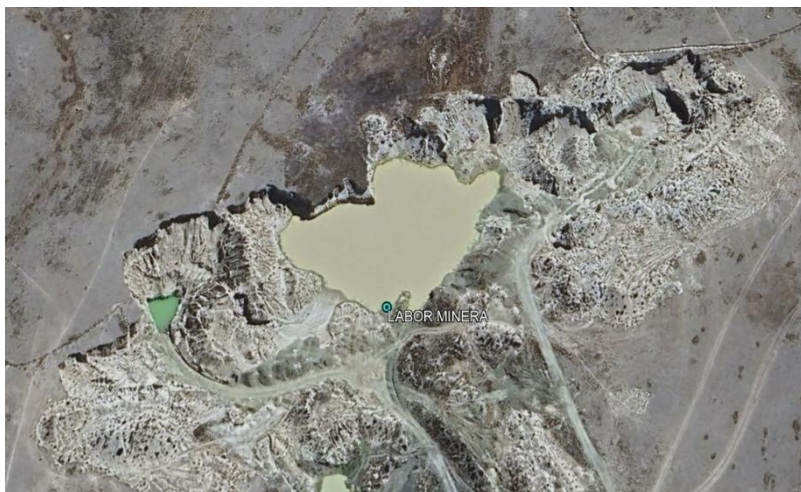


Figura 18

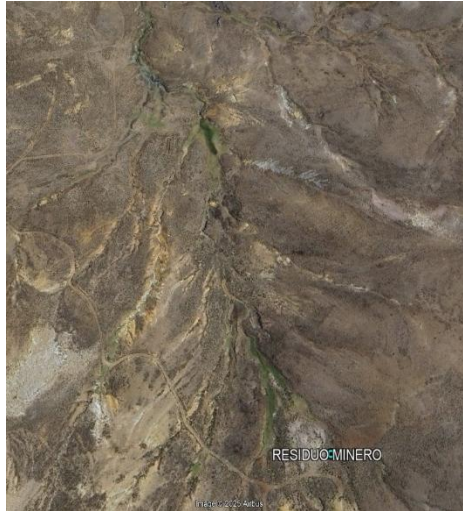
Pasivo ambiental minero tipo Labor minera



Fuente: Imagen Landsat / Copernicus

Figura 19

Pasivo ambiental minero tipo Residuo minero



Fuente: Imagen Landsat / Copernicus

Figura 20

Pasivo ambiental minero tipo Infraestructura



Fuente: Imagen Landsat / Copernicus

Además, en la tabla 4 se muestran los subtipos de pasivos ambientales mineros que están presentes en la región Puno, se obtuvo 226 pasivos para el subtipo de bocamina, 24 pasivos del subtipo relave, 239 pasivos de desmonte de mina, 12 pasivos de planta de procesamiento, 57 de pique, 48 de chimenea, 26 de tajo, 16 trinchera, 16 de media barreta,

39 de tajeo comunicado, 24 de campamentos, oficinas y talleres, 1 de pila de lixiviación, 3 de rampa y 6 de no determinado.

Tabla 4

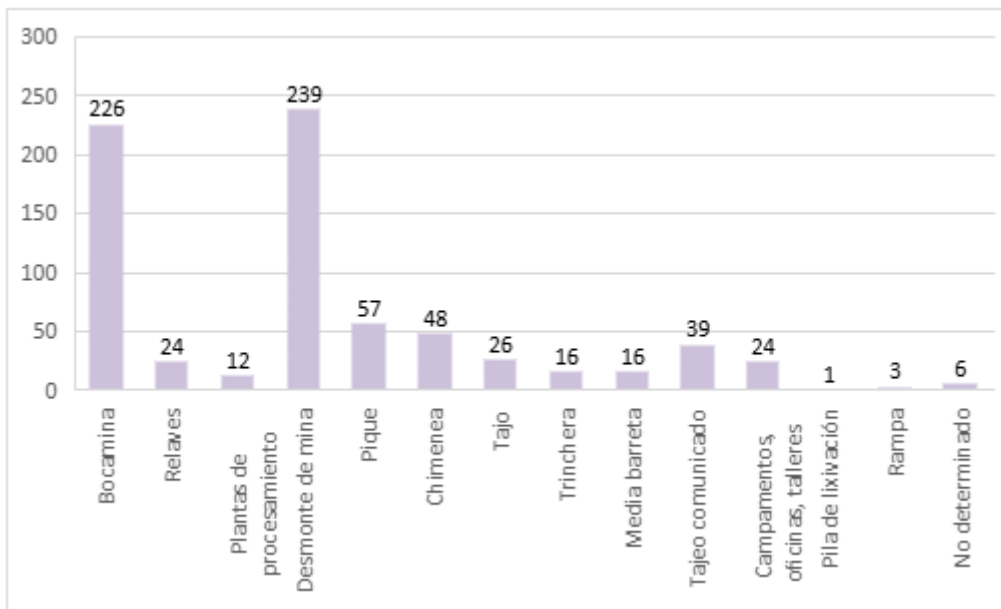
Subtipos de pasivos ambientales mineros en Puno

Tipo	Cantidad	Porcentaje (%)
Bocamina	226	30.66%
Relaves	24	3.26%
Desmante de mina	239	32.43%
Plantas de procesamiento	12	1.63%
Pique	57	7.73%
Chimenea	48	6.51%
Tajo	26	3.53%
Trinchera	16	2.17%
Media barreta	16	2.17%
Tajeo comunicado	39	5.29%
Campamentos, oficinas, talleres	24	3.26%
Pila de lixiviación	1	0.14%
Rampa	3	0.41%
No determinado	6	0.81%
Total	737	100%

En la figura 21 se puede observar que los subtipos de pasivos ambientales mineros de mayor cantidad en la región Puno, son los subtipos desmonte de mina con 239 pasivos y el subtipo bocamina con 226 pasivos. Por otro lado, se observa los subtipos con menor cantidad en la región, los cuales son el subtipo rampa con 3 pasivos y el subtipo pila de lixiviación con 1 pasivo.

Figura 21

Cuantificación de subtipos de pasivos mineros en Puno



3.2. Análisis de las áreas que abarcan los pasivos ambientales mineros en la región Puno con respecto al área de la región

Para el análisis de las áreas con pasivos mineros respecto al área de la región Puno, se tiene el área general de Puno de 1566.64 ha, a partir de ello, se obtiene el porcentaje que representa cada zona. Se obtuvo que la zona APAM-01 abarca un porcentaje de 0.89% respecto al área de la región de Puno, la zona APAM-02 abarca un porcentaje de 7.06%, la zona APAM-03 abarca 7.36%, la zona APAM-04 abarca 7.09%, la zona APAM-05

abarca 9.62% y la zona APAM-06 abarca 1.87%. El área total de las zonas con pasivos ambientales mineros representa un 33.88% del área de la región Puno (véase tabla 5).

Tabla 5

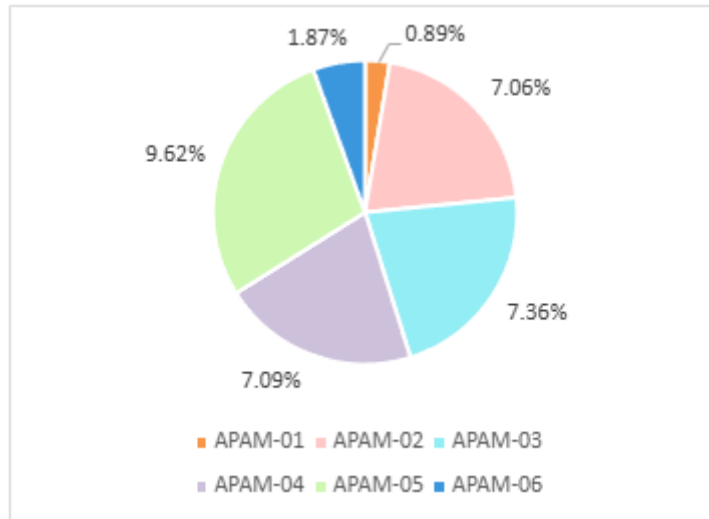
Estimación de las áreas con pasivos ambientales mineros en Puno

Zonas	Área (ha)	Porcentaje (%)
APAM-01	13.93	0.89%
APAM-02	110.54	7.06%
APAM-03	115.29	7.36%
APAM-04	111.05	7.09%
APAM-05	150.67	9.62%
APAM-06	29.31	1.87%
Total	530.80	33.88%

En la figura 22, se observa que la zona APAM-05 representa el mayor porcentaje de área con un 9.62% respecto al área de la región Puno. Por otro lado, se observa que la zona APAM-01 representa el menor porcentaje de área con un 0.89%.

Figura 22

Porcentajes de las áreas con pasivos mineros respecto al área de Puno



3.3. Análisis del porcentaje de pasivos ambientales mineros en la región Puno que cuentan con Plan de cierre

En la región Puno en total se tiene 737 pasivos ambientales mineros, estos fueron analizados para conocer la cantidad de pasivos que contaban con Plan de cierre, a partir de este análisis se obtuvo que 181 pasivos sí cuentan con un Plan de cierre, y 556 pasivos no cuentan con uno (véase Tabla 6).

Tabla 6

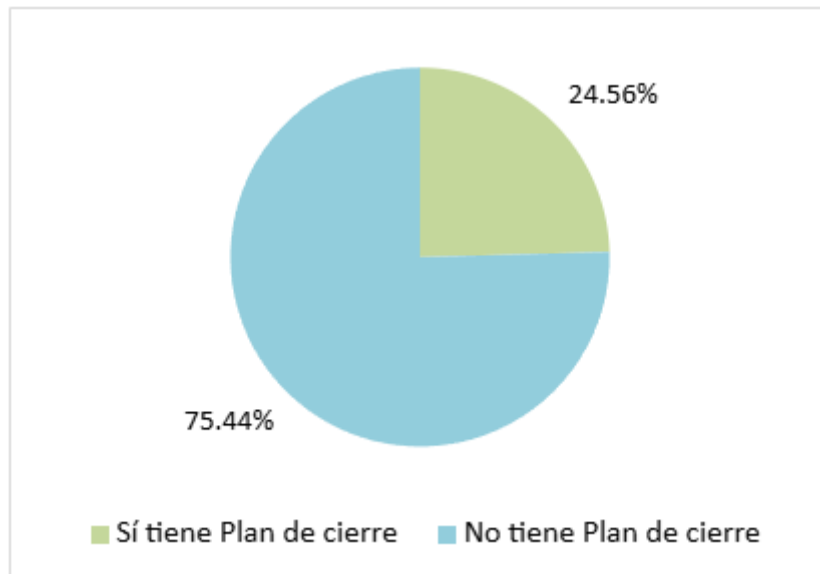
Pasivos ambientales mineros que cuentan con Plan de cierre

Plan de cierre	Cantidad	Porcentaje (%)
Sí tiene	181	24.56%
No tiene	556	75.44%
Total	737	100%

En la figura 23, se puede observar que el mayor porcentaje lo obtienen los pasivos que no cuentan con un Plan de cierre, con un 75.44%, mientras que sólo un 24.56% de pasivos sí cuentan Plan de cierre.

Figura 23

Porcentaje de pasivos mineros de Puno que cuentan con Plan de cierre



CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

La presente investigación tuvo como primer objetivo específico analizar los tipos de pasivos ambientales mineros que tenemos en la región Puno, Perú, 2025. Por ello, Escandon (2019) en su trabajo de investigación logró identificar 261 pasivos ambientales mineros en la provincia de Pasco, de los cuales 70 son de tipo bocamina, 54 son desmonte de mina, 50 son relaves, 22 son chimenea, y los demás tipos tienen cantidades menores, estos pasivos mineros vienen impactando negativamente en la calidad de agua y suelo de la zona, y por consecuente a la flora superficial y acuática. Entonces el estudio coincide con Zamora et al. (2023) donde se confirma la contaminación con afección a las aguas superficiales, la erosión hídrica de sedimentos, movilización de material particulado por acción del viento y sus efectos sobre la población y medio ambiente, presentando un riesgo muy alto.

Por otro lado, el segundo objetivo específico es analizar el área que abarcan los pasivos ambientales mineros de la región Puno, Perú, 2025 con respecto al área de la región. Al respecto Quispe (2019) en su investigación evaluó los pasivos mineros en la provincia de Hualgayoc en el departamento de Cajamarca, obtuvo como resultado que los pasivos mineros comprenden un 25% de su área de estudio, y las 5 zonas evaluadas presentaron una afectación de moderado a alto. Asimismo, Quinto (2021) empleando la teledetección para identificar los impactos de los pasivos mineros en la provincia de San Antonio de Putina en el departamento de Puno, obtuvo como resultado áreas afectadas de 1341.9 ha en cuerpos hídricos, 307.3 ha en glaciares, 14549.2 ha en vegetación y suelos, y 750.8 ha en zonas urbanas.

Por último, el tercer objetivo específico es analizar el porcentaje de pasivos ambientales mineros en la región Puno, Perú, 2025 que cuenten con Plan de cierre. Por ello, el estudio de Ortiz (2019) realizó una investigación en la provincia de Abancay, departamento de Apurímac, donde se demuestra que en la provincia existen 67 pasivos ambientales mineros y no sólo 8 como se tenía registrado, la cantidad actual de pasivos debe ser incluidos en el Inventario de Pasivos Ambientales Mineros del Ministerio de Energía y Minas, para que los pasivos puedan contar con Plan de cierre y que exista un mejor control en las actividades mineras. Asimismo, Kirschbaum et al. (2012) señala que el impacto negativo de los pasivos ambientales mineros debido a los metales pesados presentes se relaciona a los desechos mineros que no tuvieron medidas de prevención cuando se realizó el abandono y/o cierre de minas.

Limitaciones

Esta investigación presentó varias limitaciones, principalmente en la recopilación de estudios y/o artículos, debido a dificultades en la búsqueda detallada de datos y el acceso restringido de algunos documentos, lo que limitó la aplicación de filtros. También, se tuvo como limitación, la falta de antecedentes teóricos acerca de la evaluación y/o análisis de materia ambiental empleando imágenes satelitales, tanto a nivel nacional como internacional. Además, la baja resolución que poseen las imágenes Landsat obtenidas, dificulta la identificación con total certeza de los pasivos ambientales mineros.

Implicancias

El presente trabajo de investigación tiene implicaciones importantes para la política en gestión ambiental respecto a los pasivos ambientales mineros, ya que resalta la urgencia de adoptar medidas en los procesos de la actividad minera que permitan la minimización de estos pasivos, así también, de que los pasivos presentes en la zona

cuenten con Plan de cierre y puedan ser remediados. Los resultados sugieren que adoptando medidas de corrección o de remediación ejecutados por los responsables, se podría obtener un impacto significativo en la reducción de los pasivos ambientales mineros. Los estudios futuros deberían centrarse en evaluar la ejecución de proyectos de remediación de pasivos ambientales mineros, empleando distintos tipos de remediación de acuerdo a la viabilidad técnica y económica, así como explorar la efectividad de métodos físicos, químicos y biológicos. Además, se recomienda realizar estudios sobre la implementación de políticas públicas que incentiven las buenas prácticas en la minería, y la aplicación de medidas correctivas y/o de minimización de pasivos ambientales mineros, y realizar estudios comparativos con distintas ciudades para conocer mejores prácticas o modelos de gestión y tecnología.

4.2. Conclusiones

- En conclusión, la evaluación realizada en la región Puno, Perú en el año 2025 demuestran la presencia de 737 pasivos ambientales mineros, en donde se identificaron que son de tipo labor minera, residuo minero e infraestructura.
- En conclusión, en la región Puno, Perú en el año 2025, se encontró que los pasivos ambientales mineros de tipo labor minera son 431, de tipo residuo minero son 264 y de tipo infraestructura son 42.
- En conclusión, el área total que abarcan los pasivos ambientales mineros en la región Puno, Perú en el año 2025, es de 530.80 ha, lo cual representa un 33.88% del área de la región Puno.
- Por último, los pasivos ambientales mineros en la región Puno que cuentan con Plan de cierre son un 24.56%, mientras que los pasivos que no cuentan con Plan de cierre son un 75.44%.

REFERENCIAS

- Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (2025). Espectroradiómetro de Imágenes de Resolución Moderada. <https://www.earthdata.nasa.gov/data/instruments/modis>
- Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (2023). Fundamentos de la Teledetección. https://appliedsciences.nasa.gov/sites/default/files/2023-02/Fundamentals_of_RS_Span.pdf
- Arias, J. (2021). Diseño y metodología de la investigación. https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w26022w/Arias_S2.pdf
- Babativa, C. (2017). Investigación Cuantitativa. <https://digitk.areandina.edu.co/server/api/core/bitstreams/30b26254-a8d2-4cd6-b44f-e107d90d3e6f/content>
- Cartagena, M. (2019). Biorremediación en aguas residuales contaminadas con cianuro y mercurio generadas en el proceso de la minería aurífera en Colombia, a partir de una revisión bibliográfica entre los años 2008 –2018. [Tesis de Título, Universidad de Antioquía]. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/server/api/core/bitstreams/61f609f8-51d1-49d0-bc7e-ee8dc849734e/content>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2024). Guía para priorizar y evaluar proyectos de remediación ambiental: gestión de pasivos mineros, Metodologías de la CEPAL, N° 6 (LC/PUB.2024/19-P), Santiago. <https://minsus.net/Media-Publicaciones/guia-para-priorizar-y-evaluar-proyectos-de-remediacion-ambiental-gestion-de-pasivos-mineros/>
- Cortés, M., & Iglesias, M. (2004). Generalidades sobre Metodología de Investigación. Universidad Autónoma del Carmen.
- Cuentas et al. (2019). Evaluación de riesgos de pasivos ambientales mineros en la comunidad de Condoraque - Puno. *Revista de Medio Ambiente y Minería*, 4(2), 43-57. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2519-53522019000200004&lng=es&tlng=es.

- Escandon, C. (2019). Identificación de pasivos ambientales mineros en la provincia de Pasco, sus efectos y realidad actual 2018. [Tesis de Título, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/1486>
- Friedl, M., & Sulla-Menashe, D. (2022). MODIS/Terra+Aqua Land Cover Type Yearly L3 Global 500m SIN Grid V061. NASA Land Processes Distributed Active Archive Center. <https://doi.org/10.5067/MODIS/MCD12Q1.061>
- García, C., García, M., & Agudelo, C. (2014). Evaluación y diagnóstico de pasivos ambientales mineros en la Canteravilla Gloria en la localidad de Ciudad Bolívar, Bogotá D.C. *Tecnura*, 18(42), 90-102. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=257032091008>
- Guillen et al. (2019). Guía rápida para la elaboración de proyecto de tesis. https://cliic.org/2020/Taller-Normas-APA-2020/Guia-rapida-PT-Arquitectura-V-3-2019_c.pdf
- Hernández-Sampieri, R., Fernández, C., & Baptista, P. (1997). Metodología de la investigación. <https://lcmetodologiainvestigacion.wordpress.com/wp-content/uploads/2017/03/metodologia-de-la-investigacion-hernandez-sampieri-otros.pdf>
- Kirschbaum et al. (2012). Pasivos ambientales mineros en el noroeste de Argentina: aspectos mineralógicos, geoquímicos y consecuencias ambientales. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 29 (1), 248-264. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rmcg/v29n1/v29n1a17.pdf>
- Ley N° 28271. (2004). Ley que regula los Pasivos Ambientales de la Actividad Minera. Lima - Perú.
- Ministerio de Energía y Minas (2024). Inventario de Pasivos Ambientales Mineros del Perú. <https://www.gob.pe/institucion/minem/colecciones/49656-inventario-2024>
- Ministerio de Energía y Minas (2019). Marco Legal para la Gestión de Pasivos Ambientales Mineros y Cierre de Minas. https://www.cepal.org/sites/default/files/events/files/1._yuri_pinto_marco_legal_pcm_pc-pam_peru.pdf

- Mosquera, T. (2016). Eficiencia del Lombricompostaje en la biorremediación de suelos degradados por la minería a cielo abierto en el Municipio de Unión Panamericana, Departamento de Chocó. [Tesis de Título, Universidad de Manizales]. <https://core.ac.uk/download/pdf/597952808.pdf>
- Niño, V. (2011). Metodología de la Investigación. Diseño y ejecución. https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w24802w/Nino-Rojas-Victor-Miguel_Metodologia-de-la-Investigacion_Disenoy-ejecucion_2011.pdf
- Organización de las Naciones Unidas (2015). Objetivos de Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>
- Ortiz, W. (2019). Identificación y evaluación de los pasivos ambientales mineros en la provincia de Abancay - Apurímac 2018. [Tesis de Título, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. <http://hdl.handle.net/20.500.12918/4958>
- Quinto, R. (2021). Identificación de impactos de pasivos ambientales mineros mediante la teledetección en el distrito de Ananea, provincia de San Antonio de Putina – Puno. [Tesis de Título, Universidad Nacional del Altiplano]. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/16981>
- Quispe, C. (2019). Evaluación de pasivos ambientales mineros en mesa de plata río Hualgayoc – Cajamarca. [Tesis de Doctorado, Universidad Nacional de Cajamarca]. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/3654>
- Red Muqui (2015). Los Pasivos Ambientales Mineros: Diagnóstico y Propuestas. <https://muqui.org/wp-content/uploads/2024/02/pasivosambientales2015.pdf>
- Rodríguez, K. (2022). Estudio de los pasivos ambientales mineros en el Río Rímac – Chicla – Huarochirí – Lima. [Tesis de Título, Universidad César Vallejo] <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/112281>
- Rosales, S. (2024). Un llamado a la remediación de la historia del Perú: Pasivos ambientales mineros. *Justicia Ambiental*, 4(6), 79-110. <https://doi.org/10.35292/justiciaambiental.v4i6.886>
- Sánchez, R. (2019). La bonanza de los recursos naturales para el desarrollo: dilemas de gobernanza, Libros de la CEPAL, N° 157 (LC/PUB.2019/13-P), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

<https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/6818ee8e-26cb-43c7-a354-ebe2ab97a851/content>

Vega et al. (2014). Paradigmas en la investigación. Enfoque cuantitativo y cualitativo. *European Scientific Journal*, 10(15), 523-528.
<https://core.ac.uk/reader/236413540>

Zamora, G., Gutiérrez, C., & Arranz, J. (2023). Metodología para la evaluación de riesgos aplicada al pasivo ambiental minero de Japo en la Subcuenca Poopó para su priorización de remediación ambiental. *Revista de Medio Ambiente y Minería*, 8(2), 43-56.
http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2519-53522023000200005&lng=es&nrm=iso&tlng=es