

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA AMBIENTAL**

“ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LOS  
PASIVOS MINEROS EMPLEANDO EL SISTEMA  
INTEGRADO GEOGRÁFICO EN LA SUBCUENCA  
SANTA EULALIA, HUAROCHIRÍ – LIMA, PERÚ  
2021”

Tesis para optar al título profesional de:

**INGENIERO AMBIENTAL**

**Autor:**

Jheir Alfredo Jadihel Chumbe Vasquez

**Asesor:**

Mg. Denisse Milagros Alva Mendoza  
<https://orcid.org/0000-0003-1229-1346>

Lima - Perú

2024

## JURADO EVALUADOR

|                           |                                    |
|---------------------------|------------------------------------|
| Jurado 1<br>Presidente(a) | <b>Haniel Josue Torres Joaquin</b> |
|                           | Nombre y Apellidos                 |

|          |                               |
|----------|-------------------------------|
| Jurado 2 | <b>Luis Enrique Alva Díaz</b> |
|          | Nombre y Apellidos            |

|          |                                      |
|----------|--------------------------------------|
| Jurado 3 | <b>Denisse Milagros Alva Mendoza</b> |
|          | Nombre y Apellidos                   |

## INFORME DE SIMILITUD

### Tesis

#### INFORME DE ORIGINALIDAD



#### FUENTES PRIMARIAS

|          |   |               |
|----------|---|---------------|
| <b>1</b> | <b>hdl.handle.net</b><br>Fuente de Internet                                 | <b>4%</b>     |
| <b>2</b> | <b>Submitted to Universidad Privada del Norte</b><br>Trabajo del estudiante | <b>3%</b>     |
| <b>3</b> | <b>www.dspace.uce.edu.ec</b><br>Fuente de Internet                          | <b>3%</b>     |
| <b>4</b> | <b>docplayer.es</b><br>Fuente de Internet                                   | <b>2%</b>     |
| <b>5</b> | <b>revistas.udistrital.edu.co</b><br>Fuente de Internet                     | <b>2%</b>     |
| <b>6</b> | <b>Submitted to Universidad Distrital FJDC</b><br>Trabajo del estudiante    | <b>1%</b>     |
| <b>7</b> | <b>renati.sunedu.gob.pe</b><br>Fuente de Internet                           | <b>1%</b>     |
| <b>8</b> | <b>repositorio.unac.edu.pe</b><br>Fuente de Internet                        | <b>1%</b>     |
| <b>9</b> | <b>repositorio.udh.edu.pe</b><br>Fuente de Internet                         | <b>&lt;1%</b> |

## DEDICATORIA

*Este trabajo de investigación está dedicado a cada*

*integrante de la familia Chumbe Vásquez,*

*quienes han permitido que pueda llegar*

*hasta este momento de suma*

*importancia en mi formación profesional.*

*A mis padres: Alfredo Chumbe y Victoria Vásquez*

*por la edificación de valores*

*en mi persona hasta la actualidad,*

*además de ser quienes me*

*dan moral y apoyo en todo*

*momento.*

*A mis ángeles en el reino de los cielos,*

*mis abuelos: Francisco Chumbe,*

*María Emiliana Huamacto*

*y Guillermina Mercado,*

*quienes me protegen y guían en este sendero llamado vida.*

*Y a mis docentes y compañeros, por los*

*Conocimientos adquiridos en el*

*transcurso de mi vida profesional.*

## AGRADECIMIENTO

*En primer lugar, al Supremo y la energía  
por permitir mi existencia y ser quienes me  
alumbran y guían en el momento que  
atravieso algún sendero de  
oscuridad.*

*A mi padre, por ser el responsable  
de mi educación además de ser el  
soporte y quien me brindó infinidad de  
oportunidades en el camino  
de mi profesión.*

*A mi madre, por sus palabras y  
enseñarme a ser independiente y  
luchar contra toda adversidad  
en la vida.*

*A mis abuelos por ser  
incondicionales e inculcarme que  
para conseguir algo se sufre,  
se trabaja y luego se  
disfruta.*

*A mi asesor por los conocimientos  
compartidos para desarrollar  
el trabajo de tesis, así como también a mis docentes  
catedráticos, por ser los responsables  
de mi formación profesional.*

## Tabla de contenido

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Jurado calificador .....</b>  | <b>2</b>  |
| Informe de similitud .....   | 3         |
| <b>DEDICATORIA</b>   | <b>4</b>  |
| <b>AGRADECIMIENTO</b>  | <b>5</b>  |
| <b>TABLA DE CONTENIDO</b>  | <b>6</b>  |
| <b>ÍNDICE DE TABLAS</b>  | <b>7</b>  |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>   | <b>8</b>  |
| <b>RESUMEN</b>   | <b>10</b> |
| <b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN</b>  | <b>11</b> |
| 1.1. Realidad problemática   | 11        |
| 1.2. Antecedentes  | 13        |
| 1.3. Bases Teóricas  | 16        |
| 1.4. Justificación   | 17        |
| 1.5. Formulación del problema  | 19        |
| 1.6. Objetivos   | 19        |
| 1.7. Hipótesis   | 20        |
| <b>CAPÍTULO II: METODOLOGÍA</b>  | <b>21</b> |
| <b>CAPÍTULO III: RESULTADOS</b>  | <b>33</b> |
| 3.1. Análisis del Impacto Ambiental de los Pasivos Mineros                                   | 33        |
| Ubicación de los pasivos mineros en la sub-cuenca Santa Eulalia                              | 33        |
| 3.2. Identificación de Unidades Integrales Territoriales                                     | 35        |
| 3.3. Evaluación del grado del Impacto Ambiental de la sub-cuenca Santa Eulalia sobre las UIT | 36        |
| 3.4. Grado de afectación de los pasivos mineros en la sub-cuenca Santa Eulalia               | 38        |
| <b>CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES</b>   | <b>44</b> |
| <b>REFERENCIAS</b>   | <b>49</b> |
| <b>ANEXOS</b>  | <b>52</b> |

## Índice de tablas

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 1</b> Modelo de Matriz de Impacto Ambiental.....                   | 23 |
| <b>Tabla 2</b> Magnitud.....  | 24 |
| <b>Tabla 3</b> Extensión .....  | 25 |
| <b>Tabla 4</b> Duración .....   | 25 |
| <b>Tabla 5</b> Periodicidad .....   | 26 |
| <b>Tabla 6</b> Recuperabilidad .....  | 26 |
| <b>Tabla 7</b> Reversibilidad.....  | 27 |
| <b>Tabla 8</b> Probabilidad de ocurrencia .....                             | 28 |
| <b>Tabla 9</b> Tendencia.....   | 28 |
| <b>Tabla 10</b> Tipo.....   | 29 |
| <b>Tabla 11</b> Calificación de impactos.....                               | 29 |
| <b>Tabla 12</b> Identificación de los pasivos mineros.....                  | 34 |
| <b>Tabla 13</b> Matriz de Impacto Ambiental.....                            | 36 |
| <b>Tabla 14</b> Impactos analizados de la Unidad Integral Territorial ..... | 40 |

## Índice de figuras

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1</b> Ubicación de la subcuenca Santa Eulalia.....   | 22 |
| <b>Figura 2</b> Imagen Satelital DEM.....  | 30 |
| <b>Figura 3</b> Microcuencas .....   | 31 |
| <b>Figura 4</b> Fórmula de los valores numéricos para aplicar el Análisis de Impacto Ambiental ..... | 32 |
| <b>Figura 5</b> Ubicación de los pasivos mineros en la subcuenca Santa Eulalia .....                 | 33 |
| <b>Figura 7</b> Elaboración de microcuencas.....   | 38 |
| <b>Figura 8</b> Unidades Integrales Territoriales (UIT).....   | 39 |
| <b>Figura 9</b> Análisis de Impacto Ambiental.....   | 39 |
| <b>Figura 10</b> Impacto Ambiental en el distrito de Marcapomacocha.....                             | 42 |
| <b>Figura 11</b> Impacto Ambiental en el distrito de Huachupampa.....                                | 42 |
| <b>Figura 12</b> Impacto Ambiental en el distrito de Huanza.....                                     | 43 |
| <b>Figura 13</b> Impacto Ambiental en el distrito de Carampoma .....                                 | 43 |
| <b>Figura 14</b> Comunidades Campesinas .....  | 52 |
| <b>Figura 15</b> Cobertura Vegetal .....   | 52 |
| <b>Figura 16</b> Ecosistemas .....   | 53 |
| <b>Figura 17</b> Geología.....   | 53 |
| <b>Figura 18</b> Geomorfología .....   | 54 |
| <b>Figura 19</b> Uso de suelos.....  | 54 |
| <b>Figura 20</b> Zonas de Vida .....   | 55 |
| <b>Figura 21</b> Vulnerabilidad.....   | 55 |

## Índice de ecuaciones

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| <b>Ecuación 1</b> Importancia ..... | 24 |
|-------------------------------------|----|

## RESUMEN

En el Perú, dentro de la sub-cuenca Santa Eulalia, las actividades mineras y la deficiente legislación para el cuidado del ambiente a través de los años han sido causantes de numerosos pasivos ambientales, los cuales han generado un desequilibrio e impactos negativos en el medio biofísico que muchas veces son irreversibles o demanda años revertir los efectos. El objetivo de este trabajo es analizar el impacto ambiental de los pasivos mineros empleando el Sistema Integrado Geográfico, el cual consiste en la búsqueda y empleo de información digital de los geoservidores y el método AD-HOC, además de tener conocimientos previos sobre el software y las herramientas a emplear para el análisis ambiental. Se logró medir el grado de impacto que estos generan en las Unidades Integrales Territoriales mediante la ecuación de importancia según la calificación de impacto ambiental; posteriormente, la información digital de los geoservidores y los datos obtenidos de la ecuación de importancia fueron procesados en el software ArcGIS con el uso de una serie de herramientas. Como resultado se obtuvo que el mayor porcentaje de área impactada es moderada y se puede visualizar en su representación cartográfica dentro del software. Concluyendo que los impactos ambientales producidos por los pasivos mineros más frecuentes son la degradación del suelo y la deformación geomorfológica y estos pueden ser visibles a simple vista a escala satelital.

**PALABRAS CLAVES:** Estudio de impacto ambiental, Sub-cuenca Santa Eulalia, Pasivos mineros, Impacto Ambiental, Minería

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

Las subcuencas hidrográficas son áreas de superficies de terreno donde fluyen corrientes, ríos y lagos en un curso de agua que desemboca en un río principal. La subcuenca se divide en 3 partes: alta, media y baja. Según Cárdenas (2020), las subcuencas son importantes reservas naturales y recursos potencialmente aprovechados ya sea de uso agrícola, pecuario, forestal, urbano y rural, y vulnerables frente a cualquier actividad antrópica. A

nivel global las operaciones mineras se desarrollan durante un ciclo establecido para extraer los recursos pertenecientes del suelo, generando cambios irreversibles, según Arango (2013), esta extracción es realizada principalmente por organizaciones extranjeras que consideran viable invertir donde el control sobre la contaminación y las condiciones laborales no son estrictas y se les es posible dejar las minas abandonadas, las cuales generan numerosos *mining environmental liabilities* (pasivos ambientales mineros).

Estos pasivos permanecen como focos de contaminación y tienen un amplio rango de impactos al ecosistema, de tal manera que, Cuentas et al. (2019), afirman que los impactos ambientales más comunes son: alteración física de paisajes, contaminación hídrica, pérdida de vegetación, plantas abandonadas, afectación a la salud, etc. Por esta razón, cuando una minera cesa y va a ser abandonada, obligatoriamente debe realizar una planificación para su cierre, remediar las zonas afectadas y compensar a los afectados, inclusive Arango (2013) hace mención que, en otras naciones como EEUU y Canadá este tipo de obligaciones se le conoce como *orphaned sites* (sitios huérfanos).

En América Latina ya hay avances en la definición y manejo para los pasivos ambientales mineros en el ámbito legislativo y también se elaboró inventarios de sitios

contaminados. El único país que tiene un marco legal que regula la planificación para el cierre de minas y los pasivos ambientales mineros es Perú, según el Ministerio de Energía y Minas [MINEM] (2015) se identificaron 850 minas inoperativas en las 23 regiones del Perú en el año 2009 y en 600 de estas no se conoce el responsable, por consiguiente; se enfrenta a uno de los principales retos del tema para rehabilitar, monitorear, regular y sancionar las actividades mineras Castillo et al. (2014). Según Conesa (2016), esto lleva a la búsqueda de herramientas para medir el impacto ambiental.

Para poder emplear las herramientas y medir el impacto, es necesario conocer que es el impacto ambiental, por ello Fernández et al. (2020) afirma que el impacto ambiental hace referencia a toda alteración del medio biofísico por actividades humanas y fenómenos naturales, provocando desequilibrios en el medio. Además, se clasifican en tres tipos: aprovechamiento de recursos naturales, que se refiere al aprovechamiento de recursos renovables y no renovables; la contaminación generada por la producción de un bien material, y, finalmente, la ocupación del territorio modifica las condiciones iniciales del ambiente al ocupar un territorio.

Por otro lado, según Guo et al. (2020) los impactos ambientales, dependen de la superficie en la que repercute, la posibilidad de resarcir el efecto, la posibilidad de ocurrencia, el tiempo de afectación, la distorsión que produce y la regularidad con la que aparece. Los mismos autores los clasifican como: **impacto ambiental positivo** cuando mejora y recupera zonas, **impacto ambiental negativo** cuando altera el ecosistema, **impacto ambiental directo** son los que se perciben de inmediato o en un corto periodo, **impacto ambiental indirecto** no se percibe al instante ni a simple vista, **impacto ambiental temporal** cuando el impacto desaparece y el área afectada puede recuperarse, **impacto ambiental permanente** cuando perdura más de 15 años y los efectos son irreversibles,

**impacto ambiental reversible** aquel que puede volver a sus condiciones iniciales, **impacto ambiental irreversible** cuando no se puede revertir sus efectos, **impacto ambiental acumulativo** cuando se van agravando con el tiempo e impacto ambiental sinérgico que son un conjunto de impactos que actúan juntos.

Por consiguiente, estos impactos ambientales alteran el ecosistema es por eso que Jain et al. (2016), mencionan que las causas principales son: la actividad económica, contaminación del recurso hídrico, alteración del suelo, sobreexplotación de recursos naturales, emisión de gases contaminantes de efecto invernadero, mal manejo de sustancias químicas y contaminación por material radioactivo. Como toda causa tiene consecuencias, según Bartkowski et al. (2020) las más relevantes son: la pérdida de la biodiversidad, enfermedades, acidificación de océanos, pérdida de hábitats, escasez de agua y deshielo.

En la sub-cuenca Santa Eulalia se identificaron 110 pasivos ambientales mineros dentro de los distritos de Huachupampa, Huanza, Marcapomacocha y Carampoma, los cuales están localizados en la parte central y oriental de Lima, siendo causantes principalmente de la desertificación del suelo, contaminación del recurso hídrico y diversos componentes del ecosistema y la población (MINEM, 2017).

## 1.2. Antecedentes

Varios autores han abordado esta problemática de distintas maneras, entre ellos García et al. (2013), quienes realizaron estudios y recolectaron muestras en la cantera Villa Gloria del ecosistema presente, concluyeron que los componentes ambientales más afectados fueron el componente físico y el biótico, el que presenta daños críticos, un riesgo permanente y se debe tomar medidas de mitigación inmediata.

Para la representación de datos en software de Sistema Integrado Geográfico se tiene en cuenta a Rodríguez et al. (2009), quienes evalúan el riesgo ambiental de los pasivos

almacenados en las canchas de relaves Ticapampa y Chahuapampa, mediante la representación cartográfica y los análisis fisicoquímicos de dos tipos de residuos mineros metalúrgicos, siendo el suelo y agua los componentes que se caracterizan por la presencia de altas concentraciones de metales que exceden los valores recomendados por las autoridades internacionales y el gobierno peruano, causando impactos en las áreas colindantes las cuales necesitan acciones de remediación y propuestas de mitigación.

A diferencia de otros autores como Valdivia (2013) que realiza una modelación hidrológica usando ArcGIS como una herramienta de gestión para el uso adecuado del agua en la cuenca del río Maure, analiza las variables que intervienen en la estimación de caudales y la recopilación de registros históricos de mediciones de caudal en puntos estratégicos de los afluentes, estimando el caudal para diferentes periodos de retorno, siendo 139,4 m<sup>3</sup>/s el máximo caudal para un periodo de retorno de 100 años. Por otro lado, Pezo et al (2023) realizan el uso del software ArcGIS para representar gráficamente la pérdida de la cobertura vegetal en el área de conservación Regional (ACR) en la región de San Martín en un periodo de 10 años de 2012 al 2022 resultando en que la deforestación incrementó en 128.4 Has y la banda de Shilcayo fue la más afectada. Emplearon la Matriz de Leopold, la cual permitió realizar estudios estadísticos según el periodo de tiempo; concluyendo que los impactos negativos son generados por las actividades antrópicas y, el recurso agua y suelo son los más afectados con la alteración de su calidad y pérdida del ecosistema.

Además, Ticona (2021) identifica los impactos ambientales por uso de suelo, empleando una simulación multitemporal en la microcuenca del río Caplina en Tacna, teniendo como finalidad elaborar mecanismos de defensa en la fuente hidrográfica; la simulación multitemporal fue realizada desde 1996 hasta 2018 por lo cual se requirió descargar imágenes satelitales Landsat 5 y Landsat 7 para ser procesadas en dos softwares,

primero en ArcGis y luego para una segunda supervisión en ENVI Clasic para validar los resultados obtenidos, el estado de la microcuenca se pudo conocer a través de la caracterización empleando la Matriz de Leopold y la estadística, vinculándolos con los impactos ambientales que afectan al suelo de la microcuenca y estas se ven reflejadas en la curva hipsométrica, la cual muestra que la microcuenca esta en fase de vejez y la disminución de la cobertura vegetal empieza desde el 2014, esto se debe a las actividades antrópicas que se realizan a los alrededores de la microcuenca, como extracción de material rocoso, construcción de viviendas y disposición de residuos sólidos en el borde de la microcuenca.

La mayoría de los pasivos ambientales mineros causan impactos negativos significativos, por ejemplo, Corzo et al. (2016) identificaron en las operaciones mineras niveles altos de riesgos para el medio ambiente en las relaveras, debido a las descargas de efluentes que se realizan en los cuerpos receptores de agua del río Aruri sobre la microcuenca del Parac, siendo afectadas las comunidades debido a que utilizan esta agua para el riego de sus cultivos de papa y alfalfa y estos son conocidos bioacumuladores; aun así, la remediación sigue siendo incierta debido a una disputa.

Los impactos ambientales que ocasionan los pasivos mineros suelen ser negativos; por ello, Espinoza et al. (2017) afirma que los impactos que generan los relaves fueron calificados son negativos, críticos y severos. Cuando los fluidos de los relaves entran en contacto con el medio biofísico genera alteraciones y las consecuencias más comunes son la pérdida de vegetación, acidificación de suelos, contaminación del agua, etc. En consecuencia, el control de las operaciones mineras y la remediación de los efectos producidos por sus actividades debe ser obligatoria y estricta, sin embargo, en el Perú las organizaciones mineras no cumplen los reglamentos establecidos por las autoridades pertinentes.

### 1.3. Bases Teóricas

Respecto a las variables planteadas, se definen sus precisiones conceptuales y fundamentos teóricos.

Los Pasivos Ambientales Mineros se generan cuando la actividad minera cesa y abandona el área de operaciones sin reparar los daños ambientales que provocó, estos pasivos pueden alterar el ecosistema, causar efectos negativos a la salud de la población aledaña y hasta incluso perjudicar los predios de terceros (Fernández, 2020). Entonces, los Pasivos Ambientales Mineros son clasificados como bocaminas, Instalaciones, Chimenea, Desmonte de mina, Trinchera, Plantas de procesamiento, Tajeo comunicado y Relaveras, los cuales son un riesgo para el ecosistema, ya que lo afecta de manera negativa alterando su composición y amenaza la fauna y flora silvestre que prolifera dentro de este como también la población aledaña y los recursos que utilizan.

El Impacto Ambiental, provoca alteraciones significativas o no significativas que ejercen un efecto duradero sobre los ecosistemas, ya sea por actividad humana o la naturaleza, alterando el medio biofísico y afectando a la salud (MINEM, 2017). A diferencia del Estudio de Impacto Ambiental, que mediante una serie de procesos se puede identificar, predecir, evaluar y mitigar de los efectos negativos en el medio biofísico y social, así como también otros impactos relevantes ocasionados por actividades antropogénicas (Conesa, 2010).

Entonces, el Estudio de Impacto Ambiental es una herramienta que permite controlar y predecir los posibles Impactos Ambientales que pueden ocasionar las operaciones mineras, para ello existen diversas metodologías que contribuyen con medir el grado de afectación al ecosistema; los métodos más usados son matrices causa-efecto, sistema de interacciones o redes, sistemas cartográficos, métodos de simulación, métodos

basados en indicadores, índices e integración de la evaluación, Método cuantitativo del Instituto Batelle-Columbus, método AD HOC, las cuales indican si el grado es irrelevante, moderado, severo o crítico, según los valores asignados (Conesa, 2017).

Las metodologías AD HOC están basadas en una o varias de las metodologías o adaptación de algunas de ellas. Cabe resaltar que cada proyecto o acción requiere un modelo específico de evaluación que se adapte a sus características propias. Como metodologías AD HOC más serias y representativas tenemos: Método de M<sup>o</sup> Teresa Estevan Bolea, Método de Domingo Gómez Órea y Método de Vicente Conesa Fernández-Vítora. Las cuales están basadas en Identificar los aspectos e impactos, para luego ser clasificados según el medio afectado y darle una valoración para conocer el grado de afectación. (Gómez, 2015).

La Unidad Territorial según el (Ministerio del Ambiente [MINAM] 2017) es todo territorio que al ser dividido constituye una unidad de análisis presentando características relativamente homogéneas que hace que sean diferentes de las demás.

Para entender mejor el procesamiento del software, ArcGIS es un Sistema de Información Geográfica (GIS) en el que se puede recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica con el enlace de extensión acorde al software. ArcGIS no es solo un programa o sistema para elaborar mapas, sino que también es posible la contribución y uso colectivo de la información geográfica; el GIS ha evolucionado de ser una única herramienta para el análisis y el procesamiento de datos espaciales a un conjunto de aplicaciones relacionadas destinadas al manejo y tratamiento de información geográfica (SIGSA, 2015).

#### **1.4. Justificación**

Mediante esta investigación, se busca usar el software para representar gráficamente el impacto de los pasivos mineros en el área de estudio. Se quiere informar sobre el grado

de afección que pueden causar. Así, con el software se pueden analizar las áreas afectadas, lo que contribuye a interpretar mejor las áreas afectadas.

Respecto a las variables de estudio y metodologías relacionadas con el problema suscitado se puede mencionar que existen al menos 30 pasivos mineros reportados en Santa Eulalia que afectan el ecosistema con la generación de sus lixiviados. Es por ello, que la presente investigación tiene la finalidad de determinar el impacto ambiental que generan los pasivos mineros mediante el sistema integrado geográfico en la Sub cuenca Santa Eulalia y describir la afectación que causa; en primer lugar, identificar las Unidades Integrales Territoriales (UIT) y los pasivos mineros, así como también definir sus aspectos e impactos para luego emplear la metodología AD HOC que mediante la ecuación de importancia dará un valor numérico a las Unidades Integrales Territoriales que definen el grado de afectación del impacto ambiental y posteriormente realizar propuestas de mitigación y/o remediación dentro del área de estudio.

El trabajo de investigación desarrolla las habilidades para el manejo y uso del Sistema Integrado Geográfico, de manera que al ser representada mediante un proceso de herramientas en un software se puede realizar diversas operaciones según el objetivo y finalidad del investigador tales como: Agricultura de precisión con drones, Análisis de cambio de cobertura y uso de tierra, Análisis de cobertura glaciar, Análisis de condiciones favorables para la ocurrencia de incendios, Análisis de inundación, Análisis de redes, Análisis espacial, Análisis de impacto ambiental, Análisis Catastral Urbano, etc. En este caso, se aplican las herramientas para realizar el análisis de impacto ambiental; por otro lado, esto contribuye con diversos estudios o investigaciones porque hace entendible el grado de afección que generan los pasivos mineros, además de que se puede aplicar con diversos métodos porque solo se insertan los valores asignados y se puede realizar una simulación

con datos estimados que minimiza los costos como también con datos realizados in situ el cual demanda un presupuesto superior a diferencia de los datos estimados.

## **1.5. Formulación del problema**

### **Problema General**

- ¿Cuál es el impacto ambiental producido por los pasivos mineros empleando el Sistema Integrado Geográfico en la Subcuenca Santa Eulalia, Huarochirí – Lima, Perú 2021?

### **Problemas Específicos**

- ¿Cuál es el tipo de impacto ambiental generado según pasivo minero empleando el Sistema Integrado Geográfico en la Subcuenca Santa Eulalia, Huarochirí – Lima, Perú 2021?
- ¿Qué características tiene la evaluación de impacto ambiental de los pasivos mineros empleando el Sistema Integrado Geográfico en la subcuenca Santa Eulalia, Huarochirí – Lima, Perú 2021?
- ¿Cuál es el grado de afectación que generan los pasivos mineros empleando el Sistema Integrado Geográfico en la subcuenca Santa Eulalia, Huarochirí – Lima, Perú 2021?

## **1.6. Objetivos**

### **Objetivo General**

- Analizar el impacto ambiental de los pasivos mineros empleando el Sistema Integrado Geográfico en la subcuenca Santa Eulalia, Huarochirí-Lima, Perú 2021.

### **Objetivos Específicos**

- Identificar el impacto ambiental producido por los pasivos mineros empleando el Sistema Integrado Geográfico en la subcuenca Santa Eulalia, Huarochirí-Lima, Perú 2021
- Evaluar el grado de impacto ambiental de los pasivos mineros empleando el Sistema Integrado Geográfico en la subcuenca Santa Eulalia, Huarochirí-Lima, Perú 2021.
- Determinar el grado de impacto ambiental de los pasivos mineros empleando el Sistema Integrado Geográfico en la subcuenca Santa Eulalia, Huarochirí-Lima, Perú 2021.

## 1.7. Hipótesis

### Hipótesis General

- El análisis del impacto ambiental de los pasivos mineros empleando el SIG indica que existe un impacto crítico de acuerdo a la Unidad Integral Territorial identificada.

### Hipótesis Específicas

- La identificación del impacto ambiental de los pasivos mineros según las UIT indica una calificación de impacto que supera a la severa.
- La evaluación del impacto ambiental de los pasivos mineros realizada mediante el método AD-HOC con la ecuación de importancia en un rango de irrelevante a crítico, siendo el de mayor importancia el nivel crítico.
- El grado de afectación de los pasivos mineros depende del tipo de pasivo minero y su ubicación en el área de la Unidad Integral Territorial correspondiente y se tiene una calificación de impacto que superen a la severa.

## CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

El presente trabajo de investigación es univariable en el cual se aplicó el estudio descriptivo, donde se determina el análisis del impacto ambiental de los pasivos mineros, asimismo, se busca definir las características asociadas a ello. Es una investigación descriptiva debido a que se realiza la observación y el registro de datos de un momento único en el tiempo. La investigación descriptiva hace referencia a la creación de preguntas y análisis de datos que se realizarán según la investigación, y es más conocido como método observacional (Hernández, 2014).

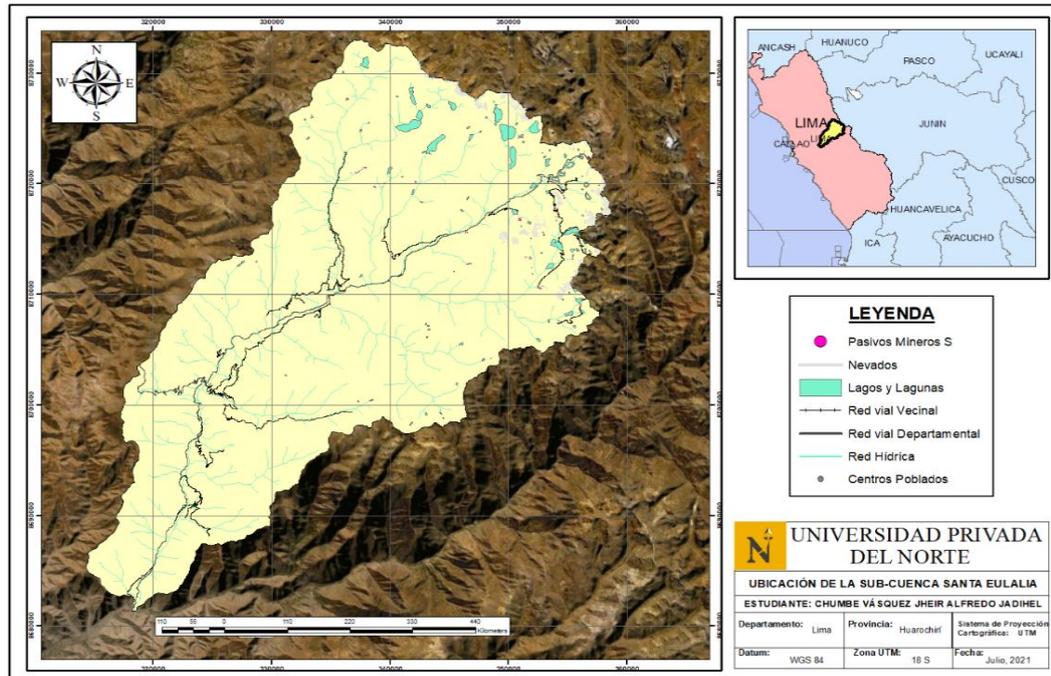
Tiene un diseño de investigación mixta no experimental – de corte transversal, y no probabilístico, se ubicó los pasivos mineros dentro de la subcuenca para analizar sus efectos, causas y resultados. Una investigación cualitativa se caracteriza por que no se emplean datos numéricos, es decir interpreta el significado de datos que ayudan a comprender el estudio. Asimismo, tiene un enfoque predominante cuantitativo por el uso de datos numéricos al estudiar las variables las cuales cobran sentido al ser relacionadas con otras. (Hernández, 2014) Además no se ha aplicado la estadística, la única fórmula aplicada fue la ecuación de Importancia del método AD-HOC para luego mediante el geoprocésamiento estimar porcentajes de áreas afectadas.

La población de indagación corresponde al área de la subcuenca Santa Eulalia que es exactamente 107736.86 ha. Ubicada en la zona 18S en las coordenadas UTM WGS-1984 como lo muestra la Figura 1.

La muestra tiene el mismo tamaño poblacional, pues se evaluó en la zona 18S en las coordenadas UTM WGS-1984 las 107736.86 ha, analizando el área de influencia directa e indirecta de cada pasivo minero. Al ser una investigación no probabilística no depende de la probabilidad sino de causas relacionadas con las características de la investigación o los

propósitos del investigador, es decir, el procedimiento no se basa en fórmulas de probabilidad, sino que depende de la toma de decisiones del investigador. (Hernández, 2014).

**Figura 1**  
*Ubicación de la subcuenca Santa Eulalia*



*Nota:* Se muestra la ubicación de la red hídrica y el área que la comprende, así como también la localización de los pasivos mineros, los centros poblados y las vías de acceso.

La técnica empleada fue el análisis del impacto ambiental propuesta por Gómez Orea sobre los pasivos ambientales en la sub-cuenca Santa Eulalia, y como instrumento se empleó la Guía Metodológica para la Evaluación de Impacto Ambiental de Conesa 4ta Edición para medir el grado del impacto ambiental de los pasivos mineros según el método AD-HOC (Gómez, 2016). Para el análisis geoespacial se descargó información de geoservidores y uno de estos fue del MINAM, como también de GEOGSPERÚ los cuales fueron sumamente importante para el procesamiento de datos en el software, entre los datos descargados tenemos:



- ✓ Software ArcGIS 10.5
- ✓ Metodo AD-HOC

Como parte de la metodología, en primer lugar, se identificaron los pasivos mineros ubicados dentro del área de estudio y los impactos que causan sobre los componentes ambientales de la superficie. Para determinar el impacto ambiental sobre el ambiente receptor se empleó el método AD-HOC ya que considera una serie de atributos de los pasivos que se incorporan en una función que genera un índice denominado Importancia del pasivo (IM), en la Ecuación 1 se establecen los 10 indicadores, los cuales están representadas de la Tabla 1 a la Tabla 9 y la calificación del impacto en la Tabla 10 que permitieron elaborar la Matriz de Impacto Ambiental la cual está representada en la Tabla 12.

### **Ecuación 1**

#### *Importancia*

$$IM = NA(3MG + 2EX + DR + PE + RC + RV + PO + TD + TI)$$

*Nota:* Los indicadores están abreviados, su significado será descrito y representado con tablas.

*Fuente:* Guía Metodológica para la Evaluación de Impacto Ambiental (Conesa, 2016)

Asimismo, se empleó el método AD-HOC el cual emplea la ecuación de importancia según los indicadores que se describen a continuación:

**Naturaleza (NA):** referido al carácter del impacto que se va a evaluar. Si es beneficioso (+), si es perjudicial (-), haciendo alusión a las acciones que actúan sobre los factores considerados.

**Magnitud (MG):** cuantifica el grado de incidencia de la acción sobre el factor. El rango de esta variable se encuentra entre 1 y 10 haciendo referencia al grado del impacto. La escala se representa en la Tabla 1.

### **Tabla 2**

#### *Magnitud*

| <b>Magnitud (MG)</b> |       |                   |
|----------------------|-------|-------------------|
| Calificación         | Valor | Impacto           |
| Muy bajo             | 1     | Afectación mínima |
| Bajo                 | 2     |                   |
| Moderado             | 4     |                   |
| Alto                 | 6     |                   |
| Muy Alto             | 10    | Afectación máxima |

*Nota:* La tabla presenta los valores del indicador Magnitud (MG) así como también el rango de impacto.

*Fuente:* Elaborado en base de guía metodológica de impacto ambiental Conesa. El autor de la investigación ha asignado la valoración.

**Extensión (EX):** mide el área de influencia teórica del impacto con relación al entorno del proyecto. La escala se representa en la Tabla 2.

**Tabla 3**  
*Extensión*

| <b>Extensión (EX)</b> |       |   |
|-----------------------|-------|---|
| Calificación          | Valor | Impacto   |
| Puntual               | 1     | Efecto localizado   |
| Parcial               | 2     | Incidencia apreciable en el medio   |
| Extenso               | 4     | Afecta una gran parte del medio   |
| Total                 | 6     | Generalizado en todo el entorno   |
| Crítico               | +4    | El impacto se produce en una situación crítica; se atribuye un valor de +4 por encima del valor que le correspondía |

*Nota:* La tabla presenta los valores del indicador Extensión (EX) así como también el rango de impacto.

*Fuente:* Elaborado en base de guía metodológica de impacto ambiental Conesa. El autor de la investigación ha asignado la valoración.

**Duración (DR):** cuantifica la permanencia del efecto desde su aparición y el momento en el cual el factor afectado regresaría a sus condiciones iniciales antes del acontecimiento, ya sea por medios naturales o mediante la introducción de medidas correctoras. La escala se representa en la Tabla 3.

**Tabla 4**  
*Duración*

| <b>Duración (DR)</b> |       |               |
|----------------------|-------|---------------|
| Calificación         | Valor | Impacto       |
| Fugaz                | 1     | 1 año         |
| Temporal             | 2     | De 1 a 3 años |
| Pertinaz             | 4     | De 3 a 5 años |
| Permanente           | 6     | > 5 años      |

*Nota:* La tabla presenta los valores del indicador Duración (DR) así como también el rango de impacto.

*Fuente:* Elaborado en base de guía metodológica de impacto ambiental Conesa. El autor de la investigación ha asignado la valoración.

**Periodicidad (PE):** hace referencia a la regularidad de manifestación del efecto: de manera cíclica o recurrente, de forma impredecible o constante en el tiempo. La escala se representa en la Tabla 4.

**Tabla 5**  
*Periodicidad*

| <b>Periodicidad (PE)</b> |       |  |
|--------------------------|-------|--|
| Calificación             | Valor | Impacto  |
| Irregular                | 1     | El efecto se manifiesta de forma impredecible          |
| Periódica                | 4     | El efecto se manifiesta de manera cíclica o recurrente |
| Discontinua              | 6     | El efecto se manifiesta inconstante en el tiempo       |
| Continua                 | 10    | El efecto se manifiesta constante en el tiempo         |

*Nota:* La tabla presenta los valores del indicador Periodicidad (PE) así como también el rango de impacto.

*Fuente:* Elaborado en base de guía metodológica de impacto ambiental Conesa. El autor de la investigación ha asignado la valoración.

**Recuperabilidad (RC):** alude la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales, por medio de la intervención antrópica. La escala se representa en la siguiente Tabla 5.

**Tabla 6**  
*Recuperabilidad*

| <b>Recuperabilidad (RC)</b> |       |         |
|-----------------------------|-------|---------|
| Calificación                | Valor | Impacto |

|                         |    |  |
|-------------------------|----|--|
| En la fase del Proyecto | 1  | Las actividades de la recuperación del impacto se realizaron en la fase del proyecto             |
| En la fase de la obra   | 4  | Las actividades de la recuperación del impacto se realizaron en la fase de la obra               |
| Posterior al Proyecto   | 6  | Las actividades de recuperación del impacto se realizaron después de la terminación del proyecto |
| No es posible           | 10 | Las actividades de recuperación o son posibles   |

*Nota:* La tabla presenta los valores del indicador Recuperabilidad (RC) así como también el rango de impacto.

*Fuente:* Elaborado en base de guía metodológica de impacto ambiental Conesa. El autor de la investigación ha asignado la valoración.

**Reversibilidad (RV):** señala la posibilidad de reconstrucción del factor afectado por la actividad, de regresar a condiciones iniciales por medios naturales. La escala se representa en la Tabla 6.

**Tabla 7**  
*Reversibilidad*

| <b>Reversibilidad (RV)</b> |       |  |
|----------------------------|-------|--|
| Calificación               | Valor | Impacto  |
| Corto plazo                | 1     | Retorno a condiciones iniciales en menos de 1 año  |
| Mediano Plazo              | 4     | Retorno a condiciones iniciales en 3 años  |
| Largo Plazo                | 6     | Retorno a condiciones iniciales en 5 años  |
| Irreversible               | 10    | Imposibilidad o dificultad extrema de retomar por medios naturales a las condiciones naturales, o hacerlo en un periodo mayor a 5 años |

*Nota:* La tabla presenta los valores del indicador Reversibilidad (RV) así como también el rango de impacto.

*Fuente:* Elaborado en base de guía metodológica de impacto ambiental Conesa. El autor de la investigación ha asignado la valoración.

**Probabilidad de ocurrencia (PO):** hace referencia al tiempo que transcurre entre la aparición de la acción y el comienzo del efecto sobre el medio biofísico. La escala se representa en la Tabla 7.

**Tabla 8**  
*Probabilidad de ocurrencia*

| Probabilidad de Ocurrencia (PO) |       |   |
|---------------------------------|-------|---|
| Calificación                    | Valor | Impacto   |
| Largo plazo                     | 1     | El efecto demora más de 5 años en manifestarse  |
| Mediano Plazo                   | 4     | Se manifiesta en términos de 3 años   |
| Inmediato                       | 6     | Se manifiesta en términos de 1 años   |
| Crítico                         | +4    | En caso de suceder alguna circunstancia crítica en el momento del impacto se adicionan 4 unidades |

*Nota:* La tabla presenta los valores del indicador Probabilidad de Ocurrencia (PO) así como también el rango de impacto.

*Fuente:* Elaborado en base de guía metodológica de impacto ambiental Conesa. El autor de la investigación ha asignado la valoración.

**Tendencia (TD):** señala el incremento progresivo de la manifestación del efecto cuando la acción que lo genera persiste de forma continuada o reiterada. La escala se representa en la Tabla 8.

**Tabla 9**  
*Tendencia*

| Tendencia (TD) |       |  |
|----------------|-------|--|
| Calificación   | Valor | Impacto  |
| Simple         | 1     | El impacto se manifiesta sobre un solo componente ambiental, cuyo modo de acción es individualizado, sin consecuencia en la inducción de nuevos efectos ni en su acumulación   |
| Acumulativo    | 2     | Es el efecto que al prolongarse en el tiempo la acción de agente inductor, incrementa progresivamente su gravedad, al carecer el medio de mecanismos de eliminación con efectividad temporal similar a la del incremento de la acción causante del impacto |

*Nota:* La tabla presenta los valores del indicador Tendencia (TD) así como también el rango de impacto.

*Fuente:* Elaborado en base de guía metodológica de impacto ambiental Conesa. El autor de la investigación ha asignado la valoración.

**Tipo (TI):** hace referencia a la relación causa-efecto y se interpreta como la forma de manifestación del efecto sobre un factor como consecuencia de una acción. La escala se representa en la Tabla 9.

**Tabla 10**  
*Tipo*

| <b>Tipo (TI)</b> |       |  |
|------------------|-------|--|
| Calificación     | Valor | Impacto  |
| Indirecto        | 1     | Su manifestación no es directa de la acción, sino que tiene lugar a partir de un efecto primario, actuando este como una acción de segundo orden |
| Direto           | 2     | Su efecto tiene una incidencia inmediata en algún factor ambiental, siendo la representación de la acción consecuencia directa de esta           |

*Nota:* La tabla presenta los valores del indicador Tipo (TI) así como también el rango de impacto.  
*Fuente:* Elaborado en base de guía metodológica de impacto ambiental Conesa. El autor de la investigación ha asignado la valoración.

**Escala de Impactos:** Valores para la calificación de impactos negativos / positivos, se representa en la tabla (Tabla 10).

**Tabla 11**  
*Calificación de impactos*

|                       |   |
|-----------------------|---|
| Impactos Irrelevantes | Impactos con valores de importancia menor a -35             |
| Impactos moderados    | Impactos con valores de importancia entre -35 y menor a -60 |
| Impactos severos      | Impactos con valores de importancia entre -60 y menor a -80 |
| Impactos Críticos     | Impactos con valores de importancia mayor a -80             |

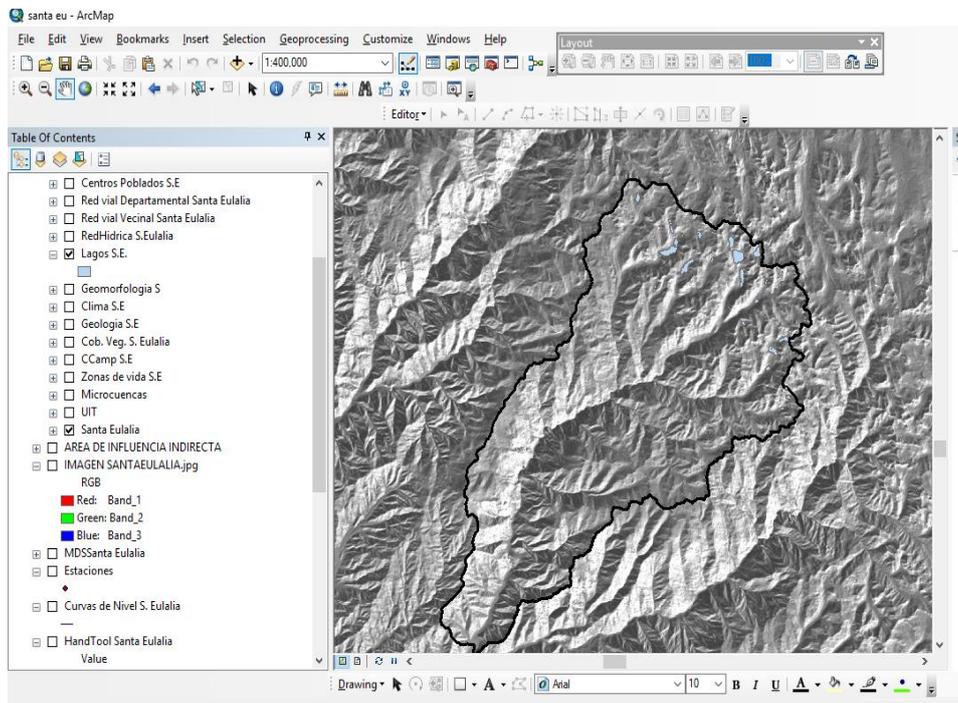
*Nota:* La tabla presenta los valores según la clasificación del impacto.  
*Fuente:* Elaborado en base de guía metodológica de impacto ambiental Conesa. El autor de la investigación ha asignado la valoración.

El análisis de datos obtenidos de los valores de la matriz del método AD-HOC fue procesado en Microsoft Excel empleando la Ecuación de Importancia y posteriormente ser representadas mediante un modelamiento cartográfico en el software ArcGIS 10.5.0

El modelamiento de representación cartográfica en el software ArcGIS se elaboró con los valores numéricos de la matriz de Impacto Ambiental, la imagen satelital DEM, los

shapefiles (pasivos mineros y áreas de las Unidades Integrales Territoriales) y la delimitación del área de la sub-cuenca Santa Eulalia.

**Figura 2**  
*Imagen Satelital DEM*

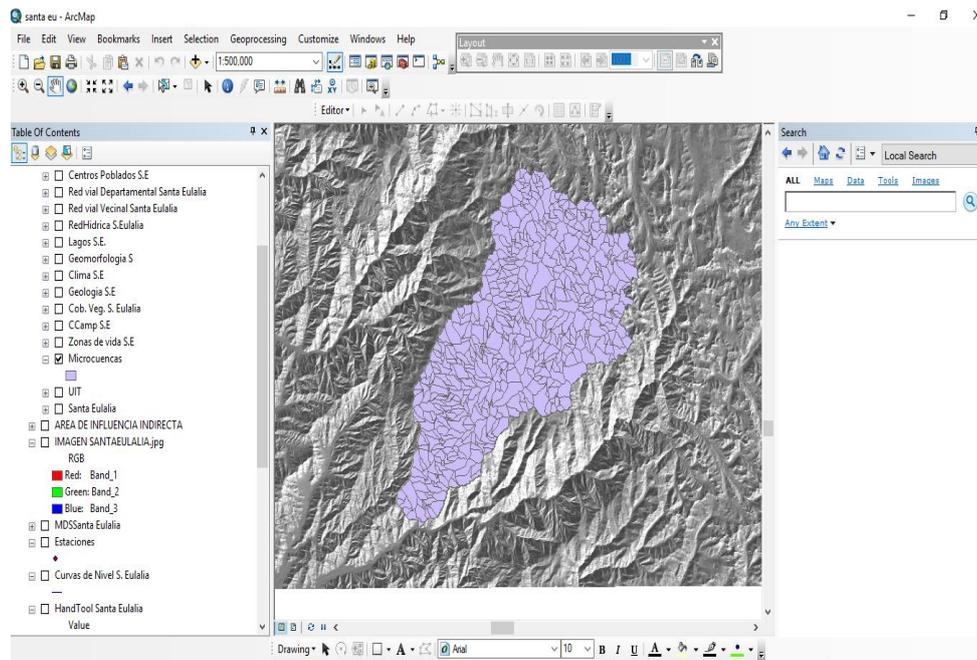


*Nota:* Se puede apreciar la imagen satelital DEM y la delimitación del área de estudio  
*Fuente:* Geoservidor del MINAM

El modelamiento para las microcuencas empleó una serie de herramientas del Arc Tool Box, en primer lugar se insertó la imagen satelital *raster* al *model*, luego se utilizó la herramienta “*Project Raster*” para que el resultado se proyecte a las coordenadas UTM correspondiente, seguida las herramientass “*Fill*” que corrige la imagen DEM a nivel del área delimitada de estudio y “*Hill Shade*” para las sombras del relieve, a la imagen corregida se le inserta las herramientas “*Flow Direction*”, “*Flow Acumulation*” las cuales dan dirección y acumulación al flujo de la red hídrica, luego se utiliza la herramienta “*Stream Link*” para crear las secciones de un canal de arroyo que conecta los drenajes, posteriormente

se utiliza la herramienta “Watershed” que determina el área de contribución por sobre un conjunto de celdas raster y por último al resultado se le agrega la herramienta “Raster to Polygon” para transformar el raster a polígonos y así obtener las microcuencas.

**Figura 3**  
*Microcuencas*

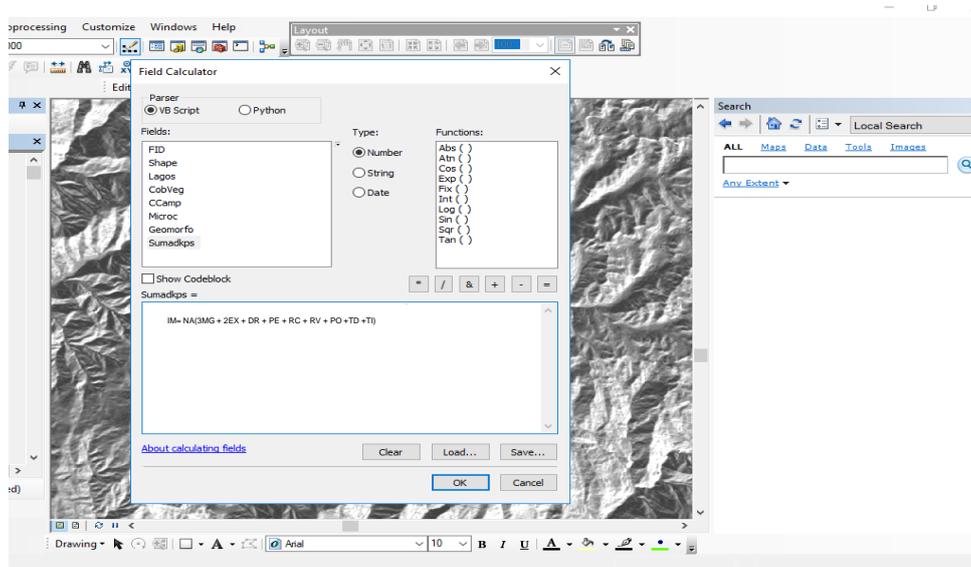


*Nota:* el shapefile fue elaborado en base a la imagen satelital, con las herramientas mencionadas.  
*Fuente:* Elaboración propia

Para elaborar las unidades territoriales en primer lugar se identificó la similitud de algunas en los shapefiles a geoprocesar, se creó un nuevo shapefile de polígonos y utilizando las herramientas de geoprocesing se seleccionaron las Unidades Integrales Territoriales, por último, se agregaron los valores numéricos de la matriz a las Unidades Integrales Territoriales establecidas empleando la herramienta “Select by Location” relacionándola con los pasivos mineros.

**Figura 4**

*Fórmula de los valores numéricos para aplicar el Análisis de Impacto Ambiental*



*Nota:* Se le aplica la ecuación de importancia en los valores numéricos de los shapefiles  
*Fuente:* Elaboración propia

Las microcuencas y las Unidades Integrales Territoriales son geoprocesadas empleando la herramienta “Union, finalmente con la herramienta “Reclassify” reclasificar los valores según la escala de impacto y al resultado dar simbología de colores de rojo a verde, dando origen al modelamiento de Impacto Ambiental de los pasivos mineros.

Los aspectos éticos considerados en la investigación científica son: transparencia y veracidad en el manejo de la información ambiental que da origen al problema de estudio, así como su interpretación imparcial y acorde a las técnicas pertinentes para su análisis. Se declara que el investigador no tiene conflictos de interés.

## CAPÍTULO III: RESULTADOS

### 3.1. Análisis del Impacto Ambiental de los Pasivos Mineros

#### Ubicación de los pasivos mineros en la sub-cuenca Santa Eulalia

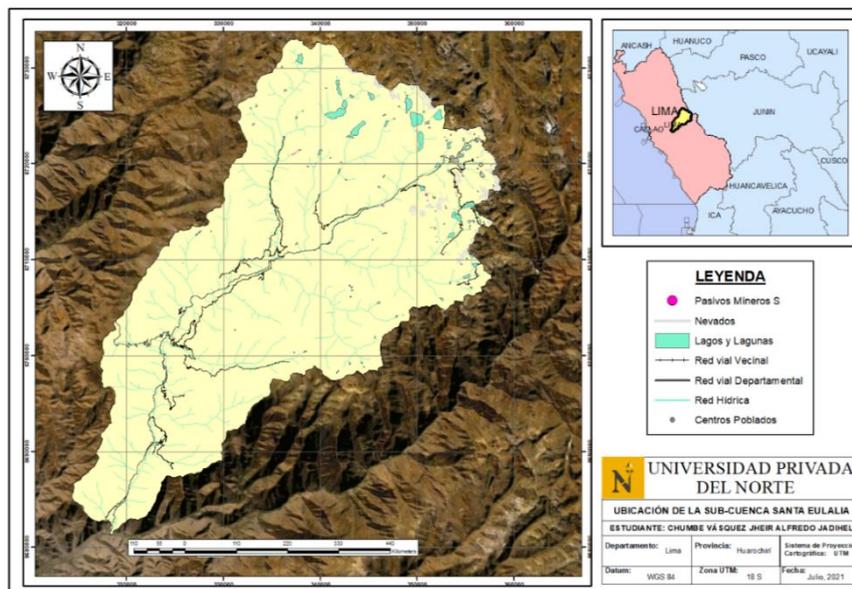
El área de estudio estuvo conformada por la sub-cuenca Santa Eulalia, está ubicada en las Coordenadas UTM WGS-1984 en el hemisferio sur, Zona 18S y tiene una extensión de 107736.86 ha. que forma parte de la cuenca del río Rímac.

La sub-cuenca Santa Eulalia está conformada por los distritos de Chaclla, San Juan de Iris, San Mateo de Otao, San Pedro de Casta, Marcapomacocha, Laros, Huanza, Carampoma, San Lorenzo de Huachupampa, Santa Eulalia, San Juan de Lanca y Callahuanca.

El río Santa Eulalia nace de los nevados y su cauce recorre todos esos distritos convirtiéndola en la madre de una variedad de lagos y lagunas que son de suma importancia para diversas actividades antrópicas, así mismo cuenta con redes viales de acceso y se estimó 241 centros poblados según el INEI en 2017 como lo muestra la Figura 2.

#### Figura 5

*Ubicación de los pasivos mineros en la subcuenca Santa Eulalia*



*Nota:* Se puede apreciar la localización del área de estudio, al igual que los 110 pasivos mineros, la red hídrica, las vías de acceso y los centros poblados existentes en la sub-cuenca de Santa Eulalia.

### **Identificación de los pasivos mineros en la sub-cuenca Santa Eulalia**

El área de estudio de la subcuenca Santa Eulalia abarca 10 distritos (Santa Eulalia, San Mateo de Otao, Callahuanca, San Pedro de Casta, Huachupampa, Laraos, Huanza, Carampoma, Marcapomacocha y Huarochirí). Dentro de los distritos de Marcapomacocha, Huachupampma, Huanza y Carampoma se han identificado 110 pasivos mineros que datan de mediados de los años 80 hasta la actualidad, estos pasivos mineros son de diversos tipos, tienen una serie de aspectos ambientales que generan impactos ambientales en el ecosistema los cuales están representados en la Tabla 11.

**Tabla 12**  
*Identificación de los pasivos mineros*

| Tipo de Pasivo minero           | Aspecto                                    | Impacto  |
|---------------------------------|--|--|
| Trincheras                      | Exploración de minerales                   | Detonación de explosivos                             |
|                                 |  | Deformación geomorfológica                           |
|                                 |  | Generación de desmonte                               |
| Campamentos, oficinas, talleres | Acondicionamiento para personal de trabajo | Transporte de P.M. 10 y P.M. 2.5. por fuerza de aire |
|                                 |  | Residuos sólidos orgánicos e inorgánicos             |
|                                 |  | Degradación de suelos                                |
| Relaveras                       | Depósito de relaves                        | Contaminación de agua                                |
|                                 |  | Contaminación de suelos                              |
| Desmonte de mina                | Material de desbroce                       | Deformación geomorfológica                           |
|                                 |  | Transporte de P.M. 10 y P.M. 2.5. por fuerza de aire |
|                                 |  | Deformación geomorfológica                           |
| Bocamina                        | Explotación de minerales subterráneo       | Detonación de explosivos                             |
|                                 |  | Deformación geomorfológica                           |
|                                 |  | Transporte de P.M. 10 y P.M. 2.5. por fuerza de aire |
|                                 |  | Generación de desmonte                               |

|                         |  |   |
|-------------------------|--|---|
| Tajeo comunicado        | Explotación de minerales a cielo abierto | Detonación de explosivos<br>Deformación geomorfológica<br>Transporte de P.M. 10 y P.M. 2.5. por fuerza de aire<br>Generación de desmonte<br>Contaminación de agua<br>Contaminación de suelo<br>Contaminación de aire<br>Contaminación de aire |
| Planta de procesamiento | Procesamiento de mineral                 | Transporte de P.M. 10 y P.M. 2.5. por fuerza de aire<br>Ruido<br>Deformación geomorfológica<br>Contaminación del suelo<br>Transporte de P.M. 10 y P.M. 2.5. por fuerza de aire<br>Ruido   |
| Chimenea                | Lixiviación                              | Deformación geomorfológica<br>Contaminación del suelo<br>Transporte de P.M. 10 y P.M. 2.5. por fuerza de aire<br>Ruido  |
| Pique                   | Transporte de minerales                  | Deformación geomorfológica<br>Contaminación del suelo<br>Transporte de P.M. 10 y P.M. 2.5. por fuerza de aire<br>Ruido  |
| Media barreta           | Transporte de minerales                  | Deformación geomorfológica<br>Contaminación del suelo<br>Transporte de P.M. 10 y P.M. 2.5. por fuerza de aire   |

*Fuente:* Elaborado en base del geoservidor del MINAM, el autor asignó la distribución y organización de tabla.

La tabla 11 detalla los tipos de pasivos mineros ubicados en la subcuenca Santa Eulalia, los cuales generan impactos negativos. Por lo que se acepta la hipótesis nula, ya que con la información del geoservidor se pudo apreciar y describir dichos resultados.

### 3.2. Identificación de Unidades Integrales Territoriales

Luego de que los shapefiles son geoprocesados, el software realizó una selección de Unidades Integrales Territoriales como lo muestra la Figura 4 posteriormente y son las siguientes:

- ✓ Área alto andina con escasa y sin vegetación
- ✓ Matorral arbustivo

- ✓ Pajonal andino
- ✓ Comunidades campesinas
- ✓ Valle glaciario
- ✓ Colina y lomada en roca volcánica
- ✓ Montaña en roca intrusiva
- ✓ Montaña en roca sedimentaria
- ✓ Lagos y lagunas
- ✓ Centros poblados
- ✓ Cardonal
- ✓ Agricultura costera y andina
- ✓ Microcuencas
- ✓ Desierto costero

### 3.3. Evaluación del grado del Impacto Ambiental de la sub-cuenca Santa Eulalia sobre las UIT

La Evaluación de Impacto Ambiental determinó el grado de afección de los impactos ambientales de los pasivos mineros en la sub-cuenca Santa Eulalia en una escala de irrelevante a crítico, fueron 14 las Unidades Integrales Territoriales identificadas en el área de estudio, las cuales fueron evaluadas en una matriz con el método AD-HOC empleando la ecuación de importancia como lo muestra la Tabla 12.

**Tabla 13**  
*Matriz de Impacto Ambiental*

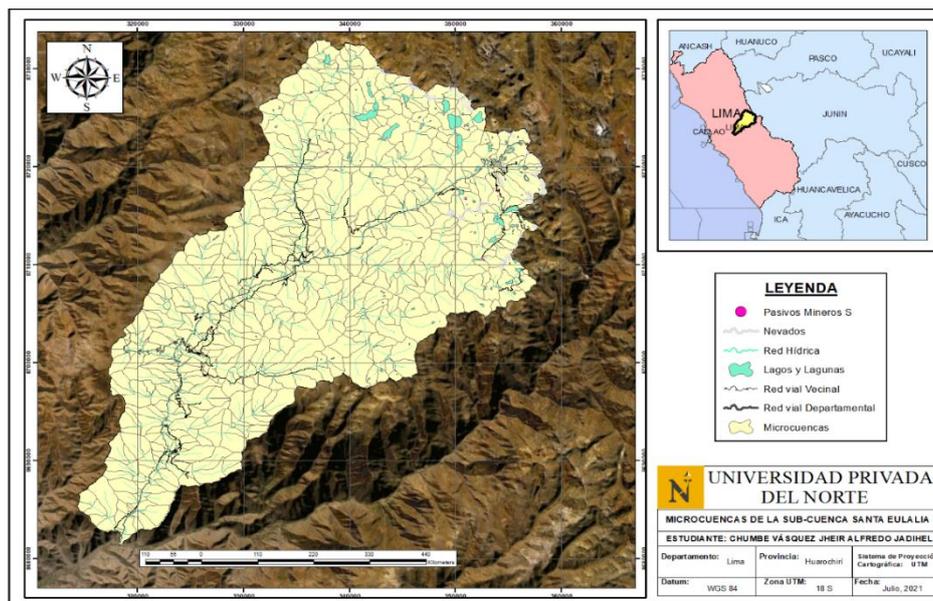
| SUBCUENCA SANTA EULALIA |    |                             |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |               |
|-------------------------|----|-----------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|---------------|
| Co                      | EI | Pasivos Ambientales Mineros |    |    |    |    |    |    |    |    |   | M | Clasificación |
|                         |    | Etapa                       | NA | MG | EX | DR | RV | RC | PE | TI | O |   |               |
|                         |    | Etapa                       | NA | MG | EX | DR | RV | RC | PE | TI | O | M | Clasificación |



### 3.4. Grado de afectación de los pasivos mineros en la sub-cuenca Santa Eulalia

El modelamiento de las microcuencas como lo muestra la Figura 3, se realizó en toda el área de estudio, ya que se efectúan según el cauce de la red hídrica y el relieve del suelo de la imagen satelital, así como también las Unidades Integrales Territoriales en la Figura 4. Las microcuencas ocupan las áreas de las Unidades territoriales al unificarse y asumen los valores numéricos del Impacto Ambiental respecto a los pasivos mineros y al ser clasificados según la escala y tipo se visualiza cartográficamente en colores verde, amarillo, naranja y rojo, como lo muestra la Figura 5. Por otro lado, en la resolución de imágenes satelitales se pueden visualizar las características descritas de los impactos ambientales de los 110 pasivos mineros identificados en los distritos de Marcapomacocha, Huachupampa, Huanza y Carampoma; estas se muestran desde la Figura 6 a la Figura 9, de los cuales Carampoma es el distrito que presenta la mayor cantidad de pasivos mineros e impactos ambientales.

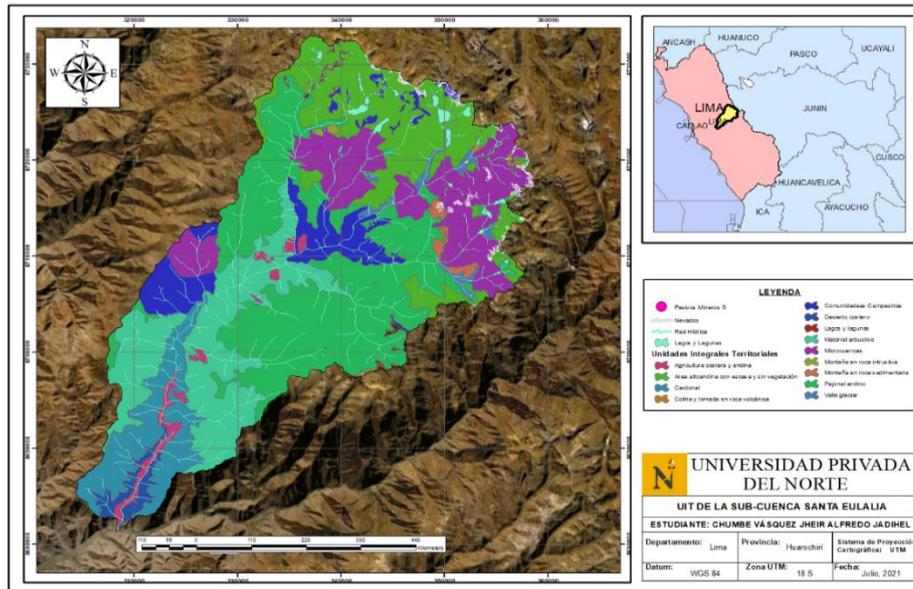
**Figura 6**  
*Elaboración de microcuencas*



*Nota:* Se puede visualizar la sub-cuenca Santa Eulalia dividida en microcuencas según el relieve del suelo a imagen satelital, la red hídrica, las redes viales de acceso, los 241 centros poblados y los 110

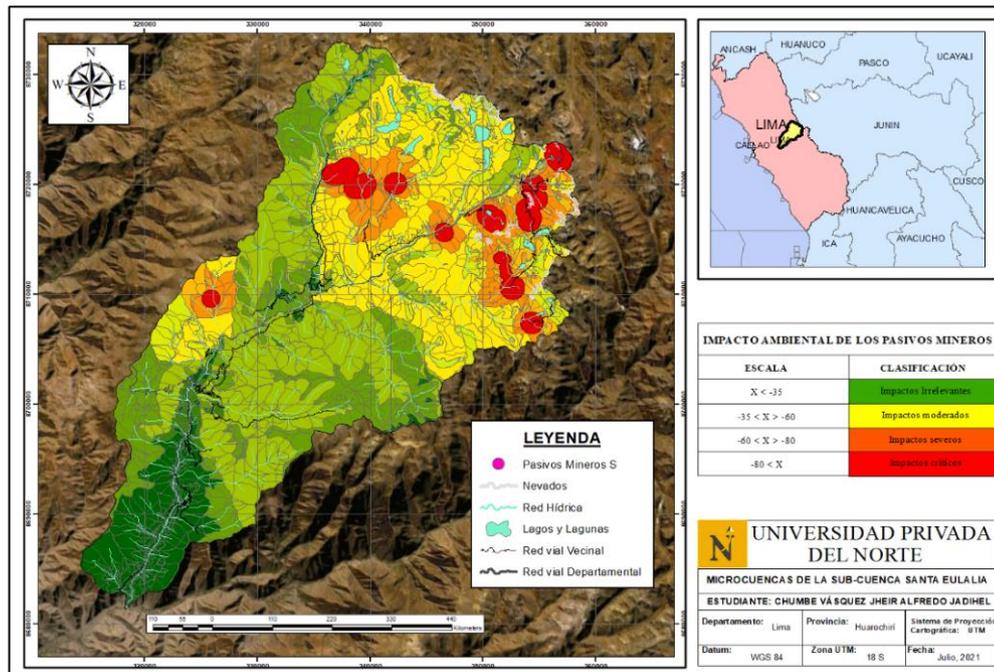
pasivos mineros, de manera que esta información será de utilidad para el modelamiento de Impacto Ambiental.

**Figura 7**  
*Unidades Integrales Territoriales (UIT)*



*Nota:* Se puede visualizar la sub-cuenca Santa Eulalia dividida en Unidades Integrales Territoriales, al igual que las microcuencas esta información será de utilidad para el modelamiento de Impacto Ambiental

**Figura 8**  
*Análisis de Impacto Ambiental*



*Nota:* La extensión de área severa y crítica son áreas en las cuales la remediación tomará más tiempo en efectuarse y en algunos casos será imposible.

Las Unidades Integrales Territoriales afectadas de forma crítica son los Centros Poblados y las microcuencas representadas en 47.72% y 91.19 % respectivamente, las microcuencas presentan características de infertilidad en el suelo, escases de vegetación, deformación de la geomorfología del suelo, escases de materia orgánica, contaminación por relaves en el suelo y en partes de la red hídrica, mientras que en parte de la población sufre la escases de agua, disminución de la vegetación, infertilidad de áreas agrícolas y enfermedades respiratorias como lo muestra la Tabla 13.

**Tabla 14**
*Impactos analizados de la Unidad Integral Territorial*

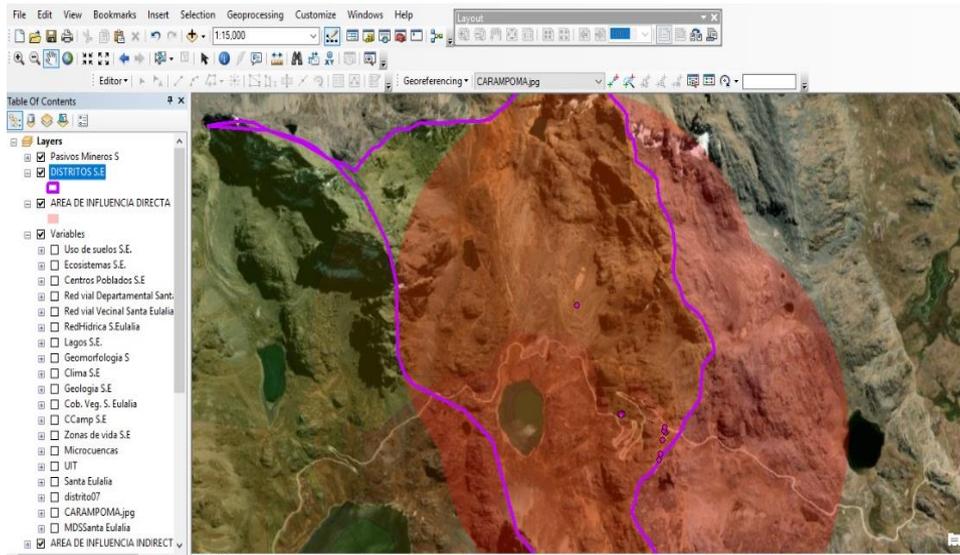
| Nombre de UIT                               | Área total (Ha) | Pasivos Identificados                             | Área Impactada | % del área impactada (Ha) | Calificación del impacto | Valor Crítico |
|---|-----------------|---|----------------|---------------------------|--------------------------|---------------|
| Área Altoandina con Escasa y Sin Vegetación | 17534.46        | Bocamina, Campamento, oficinas y talleres, Pique  | 7441.03        | 42.44                     | Moderado                 | -57           |
| Matorral Arbustivo                          | 17908.91        | Desmante de mina, Campamento, oficinas y talleres | 6413.07        | 35.81                     | Irrelevante              | -35           |
| Pajonal Andino                              | 31735.86        | Desmante de mina, Campamento, oficinas y talleres | 7522.89        | 23.70                     | Irrelevante              | -35           |
| Comunidades Campesinas                      | 8749.77         | Bocamina, Chimenea, Tajo                          | 5811.99        | 66.42                     | Moderado                 | -60           |
| Valle Glaciar                               | 1193.16         | Bocamina, Campamento, oficinas y talleres, Tajo   | 984.56         | 82.52                     | Moderado                 | -60           |
| Colina Lomada en Roca Volcánica             | 130.43          | Bocamina, Tajeo comunicado, Chimenea              | 103.49         | 79.34                     | Moderado                 | -51           |
| Montaña en Roca Intrustiva                  | 141.69          | Bocamina, Tajeo Comunicado, Trinchera, Chimenea   | 107.41         | 75.81                     | Moderado                 | -51           |

|                              |          |   |          |       |             |     |
|------------------------------|----------|---|----------|-------|-------------|-----|
| Montaña en Roca Sedimentaria | 718.23   | Bocamina, Media barreta, Plantas de procesamiento, Relaves, Tajeo comunicado                          | 642.57   | 89.47 | Severo      | -70 |
| Microcuencas                 | 15763.34 | Bocamina, Campamento, oficinas y talleres, Chimenea, Media barreta, Plantas de procesamiento, Relaves | 14374.41 | 91.19 | Crítico     | -92 |
| Lagos                        | 772.93   | Relaves, Plantas de procesamiento   | 234.70   | 30.36 | Moderado    | -60 |
| Cardonal                     | 8718.93  | Desmante de mina  | 1114.72  | 12.79 | Irrelevante | -35 |
| Agricultura Costera y Andina | 1892.20  | Desmante de mina, Plantas de procesamiento, relaves, Campamento, oficinas y talleres                  | 123.44   | 6.52  | Moderado    | -56 |
| Desierto Costero             | 1737.16  | Desmante de mina  | 78.27    | 4.51  | Irrelevante | -35 |

Fuente: Elaboración propia

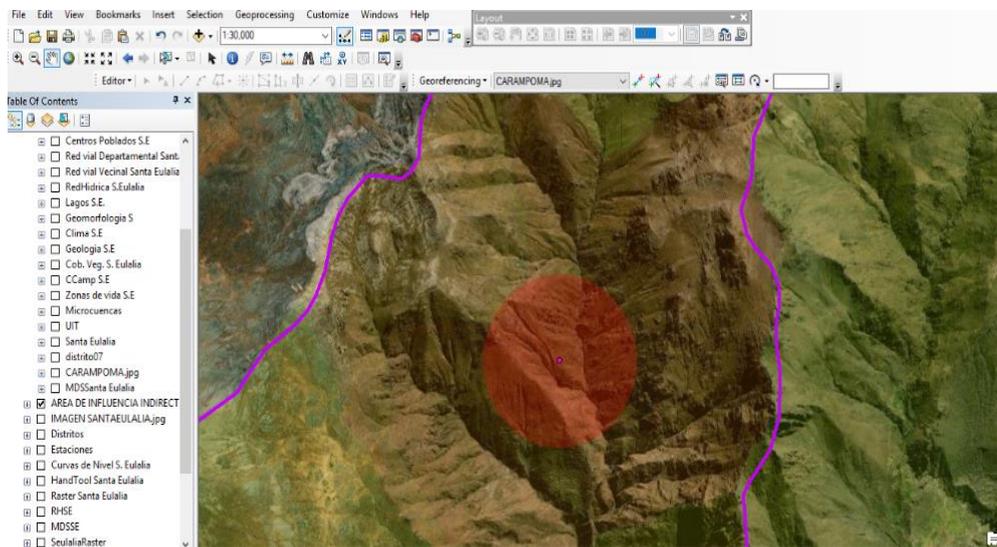
Se puede visualizar los tipos de pasivos mineros existentes en cada Unidad Integral Territorial, se rechaza la hipótesis nula de la escala de impacto severa y se acepta la hipótesis alternativa pues tiene una escala de impacto moderado, debido al porcentaje de área impactada y la calificación de impacto. Cabe resaltar que estas están identificadas en 4 de los 10 distritos que pertenecen al área de estudio de la subcuenca Santa Eulalia.

**Figura 9**  
*Impacto Ambiental en el distrito de Marcapomacocha*



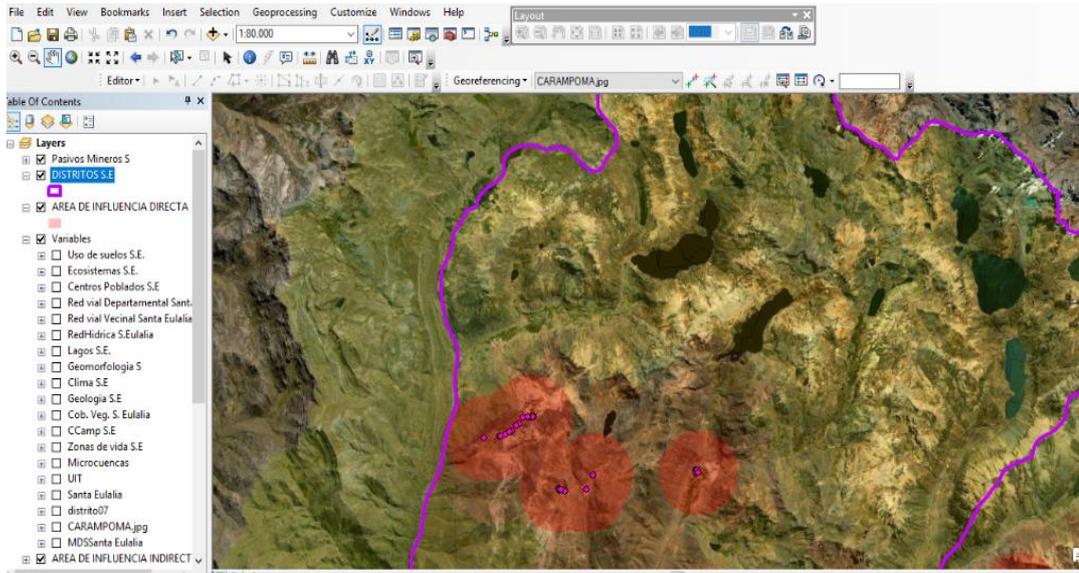
*Nota:* Se puede visualizar los impactos ambientales a escala satelital de 1:15 000 en el distrito de Marcapomacocha, los cuales se generan en la laguna, ya que fue utilizada como cuerpo receptor y de abastecedor para las diversas operaciones mineras; la deformación geomorfológica, contaminación e infertilidad del suelo son otros impactos ambientales debido a la extracción los minerales y las explosiones para la exploración.

**Figura 10**  
*Impacto Ambiental en el distrito de Huachupampa*



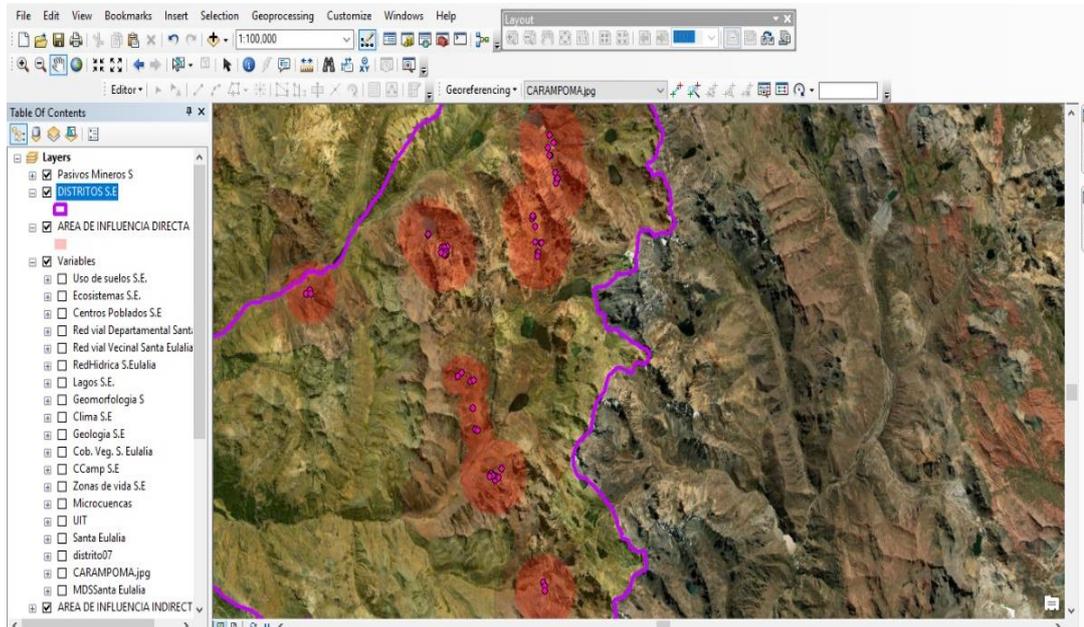
*Nota:* Se puede visualizar los impactos ambientales a escala satelital de 1:30 000 en el distrito de Huachupampa, de manera que estos son pérdida de vegetación y deformación geomorfológica del suelo debido a las explosiones para la exploración y la polución de material particulado debido al almacenamiento de desmontes mineros.

**Figura 11**  
*Impacto Ambiental en el distrito de Huanza*



*Nota:* Se puede visualizar los impactos ambientales a escala satelital de 1:80 000 en el distrito de Huanza, de manera que estos son perdida de vegetación y deformación geomorfológica del suelo debido a las explosiones para la exploración, contaminación de las lagunas, ya que son utilizadas como cuerpos receptores de los procesamientos de mineral.

**Figura 12**  
*Impacto Ambiental en el distrito de Carampoma*



*Nota:* Se puede visualizar los impactos ambientales a escala satelital de 1:100 000 en el distrito de Carampoma, de manera que este distrito es el que más ha sido afectado por los pasivos mineros en el transcurso de los años, la perdida de vegetación, deformación geomorfológica e infertilidad del suelo es debido a las explosiones, contaminación de las lagunas ya que son utilizadas como cuerpos receptores y contaminación del aire y la salud humana debido a las emisiones gaseosas de los procesamientos de mineral.

## CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1. Discusiones

Los pasivos mineros tienen una relación directa con el impacto ambiental, pues son causantes del desequilibrio ecosistémico de la sub-cuenca Santa Eulalia, debido a que su nivel de significancia fue moderado. El nivel de significancia moderado del área de estudio puede ser causadas por: la deficiente gestión de proyectos mineros, la poca inversión de las organizaciones en tecnologías para que los recursos puedan regresar a sus condiciones iniciales debido a su alteración por los impactos y el desinterés de los gobiernos regionales como factores principales que contribuyeron con la permanencia de estos daños ambientales en el tiempo como lo indican Rodríguez et al. (2016). Asimismo, Ariza et al. (2020), concuerdan que el impacto ambiental producido por los pasivos mineros presenta un nivel de significancia crítico debido a que no solo es visible en el área de la mina, sino también en las áreas colindantes. Además, Estupiñan et al. (2013) mencionan que la mayoría de los pasivos mineros no han sido remediados hasta la actualidad, y en algunas áreas se desconoce la organización responsable. Entre los impactos moderados más comunes son la alteración del recurso hídricos por efluentes, deforestación y alteración de la geomorfología del suelo.

Para la evaluación del impacto ambiental de los pasivos mineros mediante las Unidades Integrales Territoriales empleando el Sistema Integrado Geográfico se tuvieron en cuenta niveles de impacto como: irrelevante, moderado, relevante y crítico, teniendo como referencia el método AD-HOC con la ecuación de Importancia y sus indicadores, las cuales resultaron ser localizadas en 4 de los 10 distritos que conforman el área de estudio, las cuales son Marcapomacocha, Hachupampa, Huanza y Carampoma y gran parte de sus áreas han sido afectadas por los pasivos mineros de manera moderada y relevante, y en los lugares más cercanos a estos, de manera crítica. Por otro lado, la representación cartográfica de los

pasivos mineros permite desarrollar la investigación con el método descriptivo y no experimental con actividades in situ como Cuentas et al. (2019) en el río Choquene en Bolivia y García et al. (2014), en la Cantera Villa Gloria en Bogotá, evaluaron el impacto ambiental extrayendo muestras de agua y suelo respectivamente, analizadas en el laboratorio permitiéndoles aseverar que el impacto generado por los pasivos mineros tiene un nivel de significancia crítica, por la alteración de los componentes del recurso hídrico y del suelo.

En la presente investigación se logró identificar el impacto ambiental de los pasivos mineros empleando el geoprocesamiento de las Unidades Integrales territoriales con el método AD-HOC a través del Sistema Integrado Geográfico, este método fue empleado debido a la facilidad de llevarse a la práctica con los indicadores de la ecuación de importancia, permitiéndole su adaptación a las necesidades particulares de la investigación, además su representación cartográfica visualmente se puede interpretar; a diferencia de otros métodos como lo es en el caso de Leopold que está limitado a solo acciones que pueden causar impactos, características y condiciones ambientales Cardoso (2015), o el método Batelle que fue diseñado exclusivamente para evaluar impactos relacionados con los recursos hídricos Vicente (2018). Al emplear el método AD-HOC y la cartografía se evidenció que la mayoría de zonas afectadas por los pasivos mineros tuvieron un nivel de significancia moderado; sin embargo, Lechner et al. (2016) y García et al. (2014) en sus estudios realizados tuvieron estimaciones de nivel de significancia crítico, puesto que sus investigaciones fueron desarrolladas in situ, concluyendo que la generación de lixiviados por las relaveras afecta al suelo haciendo que este pierda materia orgánica, acidificándolo y volviéndolo infértil, al igual que los cuerpos de agua son contaminados por metales pesados aumentando la turbiedad y volviendo su potencial de hidrogeno (pH) ácido.

Finalmente, para determinar el grado de impacto ambiental de los pasivos mineros mediante las UIT empleando el SIG se empleó el software ArcGis, teniendo en cuenta que la información geoprocesable fue descargada de geoservidores que tienen información relevante y validada. Además, conocer las herramientas que se usaron para lograr el objetivo de la investigación, debido a que, a través de la resolución satelital se apreció la degradación del suelo. Cabe resaltar que, existen diversos softwares para realizar estudios ambientales tales como: ArcGIS, QGIS, WhiteBox, GeoServer, GrassGis, ENVI clasic, etc, los cuales son utilizados según el objetivo del investigador porque algunos están diseñados solo para un tipo de análisis ambiental. En este caso debido a que se geoprocesaron imágenes satelitales, y se utilizaron una serie de herramientas para analizar el grado de afectación se empleó ArcGIS, este software permitió obtener una representación gráfica detallada del impacto ambiental de los pasivos mineros, resultando un impacto moderado según el área de estudio analizada. A diferencia de Pezo eta al (2023) y Ticona (2021) que en sus investigaciones además de ser en un periodo de tiempo mayor a 10 años, emplean ArcGIS, la Matriz de Leopold y la estadística de tal manera que determinan el grado de impacto ambiental, a través del SIG miden la pérdida de cobertura vegetal en porcentaje siendo las imágenes Landsat la información relevante la cual a través de herramientas de geoprecesamiento se puede interpretar, describir y medir en porcentaje los impactos ambientales y las áreas afectadas.

### **Limitaciones**

Se presentaron como limitaciones la escasa información de investigadores que empleen análisis ambientales con softwares y herramientas similares aplicadas el Sistema Integrado Geográfico y la cartografía; es por ello por lo que no se pudo contrastar con otros autores que hayan empleado lo mencionado anteriormente. Así como también la extensión y acceso

a las localizaciones de los pasivos mineros y los recursos económicos para realizar monitoreos, extracción y análisis de muestras in situ; ya que, esto demandaría vías de acceso, movilidad, permisos de los gobiernos municipales o regionales, equipos, personal y tiempo de trabajo.

## **Implicancias**

Los resultados de este trabajo de investigación promueven el empleo de herramientas de geoprocésamiento para realizar estudios ambientales como también del método AD-HOC que es rápido y fácil de llevar a la práctica a diferencia de otros métodos. La representación gráfica empleando el SIG y la cartografía permiten desarrollar habilidades de interpretación, así como también el uso de la tecnología según los conocimientos, la información y el objetivo final. Esto es beneficioso tanto como para los gobiernos regionales, municipales y la población, puesto que, se pueden definir, organizar y realizar acciones correctivas en algunas áreas acorde a sus recursos económicos. Además, esta investigación puede ser utilizada como referencia para futuras investigaciones que empleen el mismo método o algún software de SIG.

## **4.2. Conclusiones**

Se pudo concluir que para la identificación del impacto ambiental de los pasivos mineros empleando el sistema integrado geográfico, es necesario clasificar los pasivos mineros según sus aspectos que son las actividades que se realizaron en el área respectiva y los impactos que son las consecuencias generadas por las actividades.

Al evaluar el grado de impacto ambiental de los pasivos mineros sobre las Unidades Integrales Territoriales, se llegó a la conclusión de que el mayor porcentaje del área de estudio es impactada con un nivel de significancia moderado en las UIT.

Al determinar el grado de impacto ambiental de los pasivos mineros sobre las UIT en el software ArcGis a nivel satelital, se pudo apreciar gráficamente los impactos moderados, llegando a la conclusión de que los pasivos mineros generan acidificación de suelos, desertificación, alteración de los componentes del recurso hídrico, deforestación, deformación geomorfológica del suelo.

Se recomienda que para realizar la investigación se debe de tener conocimientos previos sobre el área específica, y su ubicación espacial según las coordenadas UTM y la zona a la que pertenece. Además, se debe tener dominio de las herramientas del software y los datos más recientes de los geoservidores; puesto que, al realizar el geoprocesamiento con la información, empleando las herramientas necesarias el método AD-HOC se vea reflejado en los resultados.

## REFERENCIAS

- Ariza, J., Vargas-Prieto, A., & García-Estévez, J. (2020). The effects of the mining-energy boom on inclusive development in Colombia. *The Extractive Industries and Society*, 7(4), 1597–1606. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2020.10.002>
- Bartkowski, B., Bartke, S., Helming, K., Paul, C., Tehen, A. K., & Hansjürgens, B. (2020). Potential of the economic valuation of soil-based ecosystem services to inform sustainable soil management and policy. *PeerJ*, 8, e8749. <https://doi.org/10.7717/peerj.8749>
- Cárdenas, A. (2020). Impacto de las Amunas en la Seguridad Hídrica de Lima. Alianza Latinoamericana de Fondos de Agua, Lima-Perú. Obtenido de: <https://www.fondosdeagua.org/es/>
- Cardoso, A. (2015). Behind the life cycle of coal: Socio-environmental liabilities of coal mining in Cesar, Colombia. *Ecological Economics*, 120, 71–82. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.10.004>
- Corzo, A., & Gamboa, N. (2016). *Environmental impact of mining liabilities in water resources of Parac micro-watershed, San Mateo Huanchor district, Peru. Environment, Development and Sustainability*, 20(2), 939–961. doi:[10.1007/s10668-016-9899-z](https://doi.org/10.1007/s10668-016-9899-z)
- Cuentas, M., Velásquez, O., Arizaca, A., Huisa, F. (2019). Evaluación de Riesgos de Pasivos Ambientales Mineras en la Comunidad Condoraque – Puno. *Revista de Medio Ambiente Minero y Minería 4 Vol. 1*. 45-57. ISSN: [2519-5352](https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2017.01.010)
- Espinoza, R. D., & Morris, J. W. (2017). Towards sustainable mining (part II): Accounting for mine reclamation and post reclamation care liabilities. *Resources Policy*, 52, 29–38. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2017.01.010>

- Fernández, P., Rodríguez Granda, G., Krzemień, A., García Cortés, S., & Fidalgo Valverde, G. (2020). Subsidence versus natural landslides when dealing with property damage liabilities in underground coal mines. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 126, 104175. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2020.104175>
- García, C., García, M. y Agudelo, C. (2014). Evaluación y diagnóstico de pasivos ambientales mineros en la Cantera Villa Gloria en la localidad de Ciudad Bolívar, Bogotá D.C. *Tecnura* 42, Vol 18. 90-92  
<http://www.scielo.org.co/pdf/tecn/v18n42/v18n42a08.pdf>
- Guo, Y., Chen, J., Tsolmon, B., He, A., Guo, J., Yang, J., & Bao, Y. (2020). Effects of subsidence and transplanted trees on soil arbuscular mycorrhizal fungal diversity in a coal mining area of the Loess Plateau. *Global Ecology and Conservation*, 24, e01308. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01308>
- Jain, R. K., Cui, Z. “Cindy”, & Domen, J. K. (2016). *Environmental Impacts of Mining. Environmental Impact of Mining and Mineral Processing*, 53–157. doi:[10.1016/b978-0-12-804040-9.00004-8](https://doi.org/10.1016/b978-0-12-804040-9.00004-8)
- Koszela, K., Przybył, J., Kujawa, S., Kozłowski, R.J., Przybył, K., Niedbała, G., Idziaszek, P., Boniecki, P. y Zaborowicz, P. (2016). IT system for the identification and classification of soil valuation classes. Eighth International Conference on Digital Image Processing (ICDIP) DOI: [10.1117/12.2244066](https://doi.org/10.1117/12.2244066)
- Lechner, A. M., Kassulke, O., & Unger, C. (2016). Spatial assessment of open cut coal mining progressive rehabilitation to support the monitoring of rehabilitation liabilities. *Resources Policy*, 50, 234–243.  
<https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2016.10.009>

Mendoza, G. (2021). Identificación de impactos ambientales por uso de suelo, realizando una simulación multitemporal, para establecer un plan de manejo ambiental en la microcuenca del Río Caplina – Tacna. [Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Ambiental]. Universidad César Vallejo.

Pezo, S. & Ramírez, G. (2023). Análisis de pérdida de cobertura vegetal y su impacto ambiental en el Área de Conservación Regional (ACR), provincia de San Martín. [Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Ambiental]. Universidad Privada de Tacna.

Vicente, M. (2018). VALORACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL PARA LA PROPUESTA DE REMEDIACIÓN DEL PASIVO DE RELAVES LA POLVAREDA. UNDAC. Pisco, Perú. Obtenido de:  
<http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/427/1/MARILIA%20VICENTE%20GUERRA.pdf>

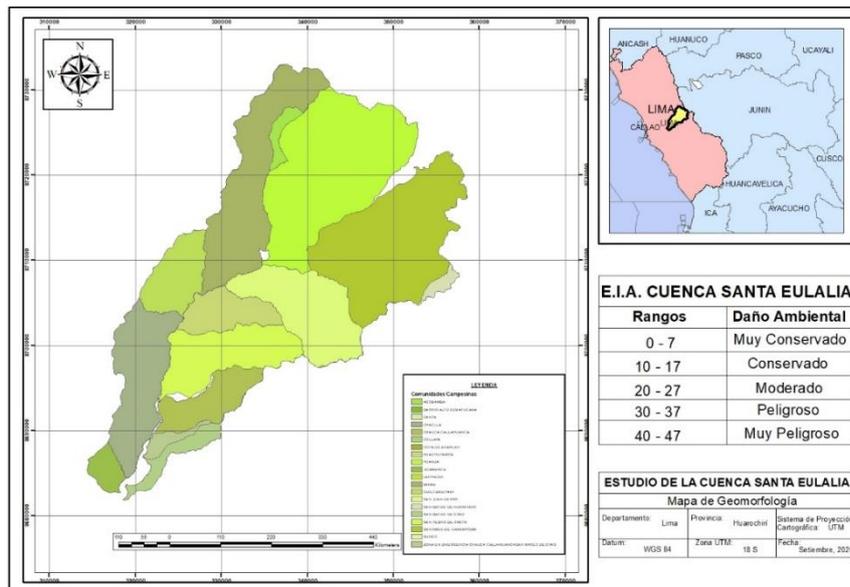
Wurtsbaugh, W. A., Leavitt, P. R., & Moser, K. A. (2020). Effects of a century of mining and industrial production on metal contamination of a model saline ecosystem, Great Salt Lake, Utah. *Environmental Pollution*, 266, 115072.  
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115072>

**ANEXOS**

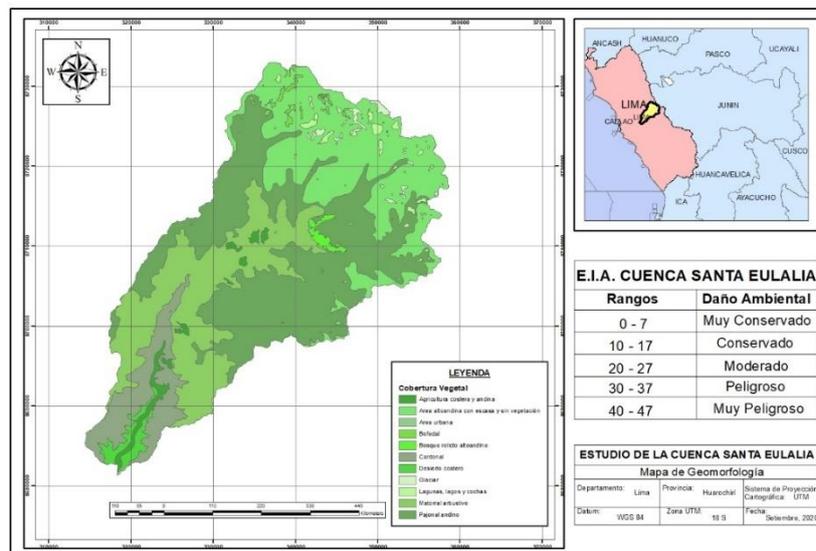
**ANEXO 1**

**Mapas de las Unidades Integrales Territoriales**

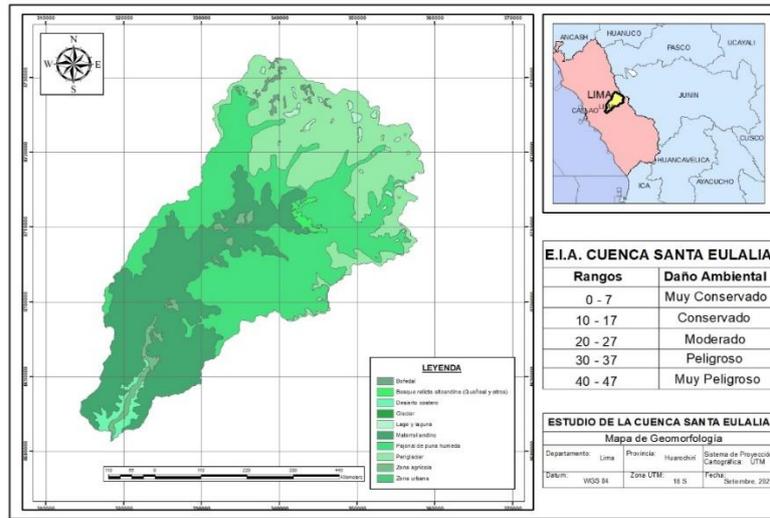
**Figura 13**  
*Comunidades Campesinas*



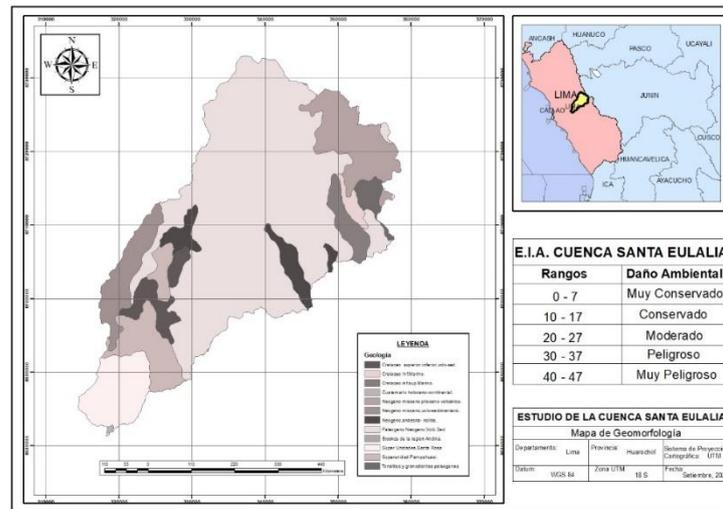
**Figura 14**  
*Cobertura Vegetal*



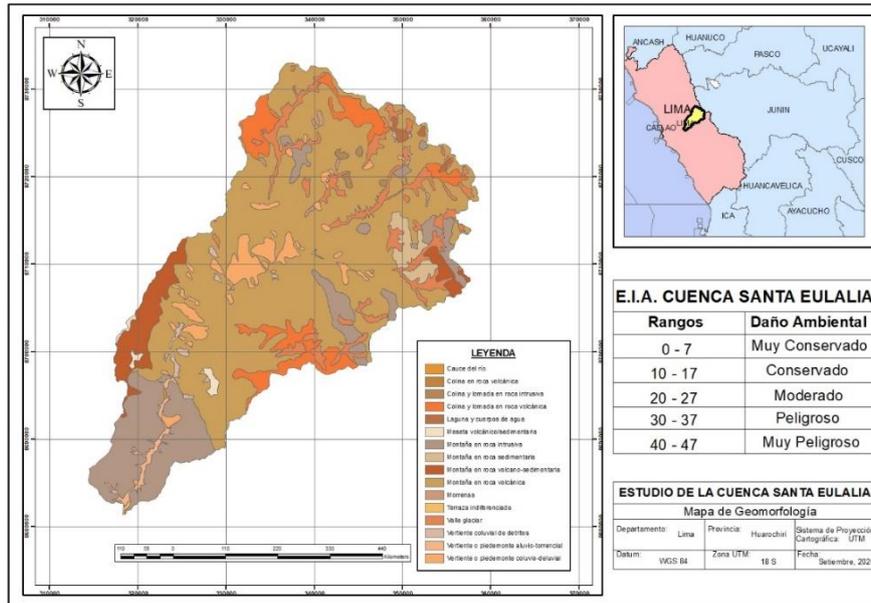
**Figura 15**  
*Ecosistemas*



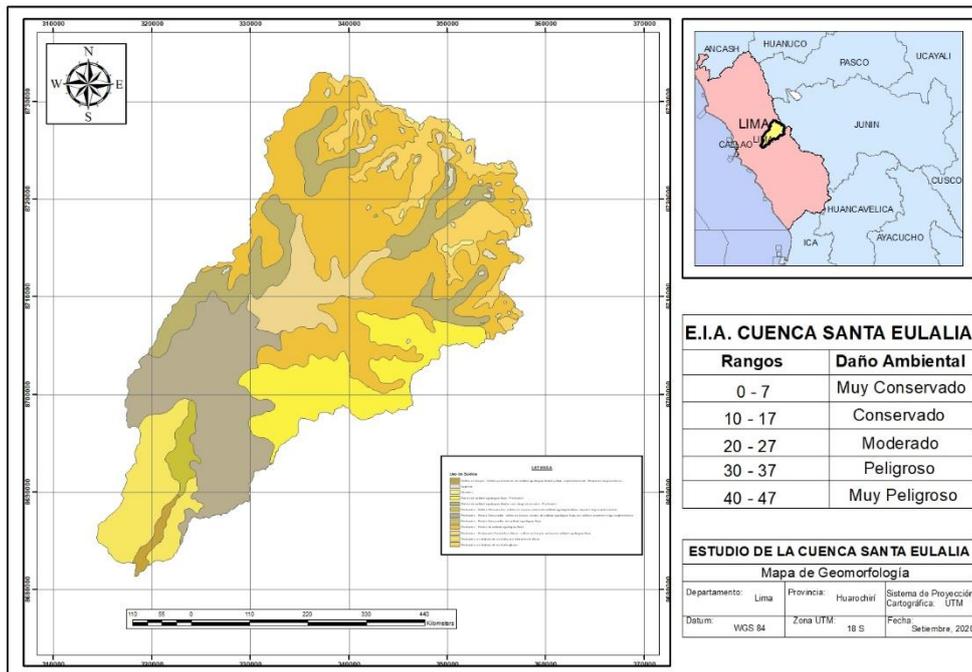
**Figura 16**  
*Geología*



**Figura 17**  
*Geomorfología*

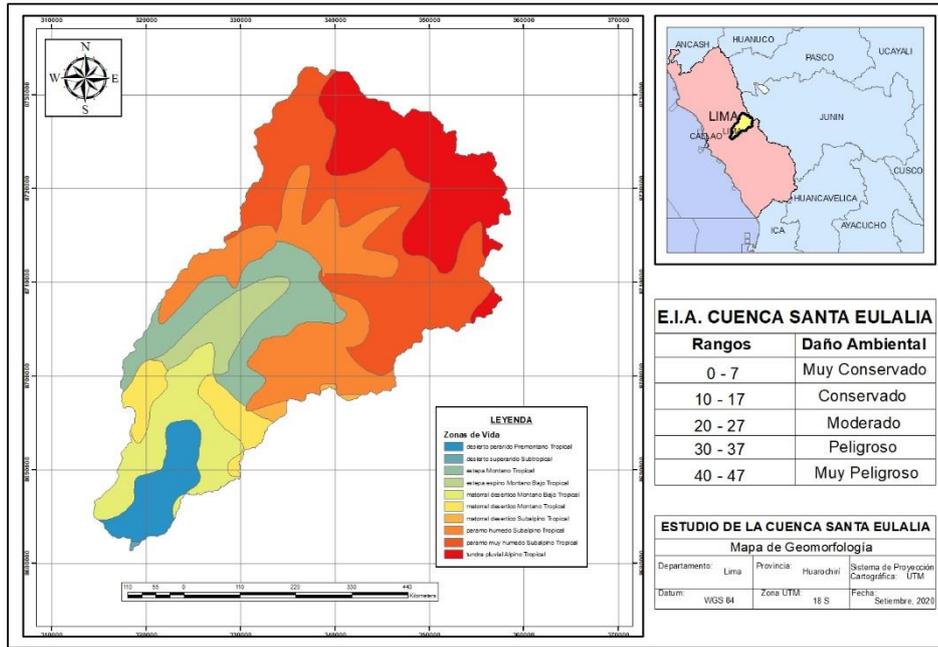


**Figura 18**  
*Uso de suelos*



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 19**  
*Zonas de Vida*



**Figura 20**  
*Vulnerabilidad*

