

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y
METALÚRGICA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

**EFFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL CAUSADOS
POR LA MINERÍA INFORMAL EN LA LOCALIDAD DE LA RINCONADA
PUNO – 2024**

PRESENTADO POR:

Br. EDU LASTEROS BARRIOS

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO DE MINAS**

ASESOR:

Mgt. TOMAS ACHANCCARAY PUMA

CUSCO - PERÚ

2026



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

ANEXO 1 INFORME DE SIMILITUD

El que suscribe, el **Asesor Mgt. TOMAS ACHANCCARAY PUMA**, quien aplica el software de detección de similitud al trabajo de investigación/tesis titulada: "EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL CAUSADOS POR LA MINERÍA INFORMAL EN LA LOCALIDAD DE LA RINCONADA PUNO - 2024"

Presentado por: **EDU LASTEROS BARRIOS** con DNI Nro: 70486430

Para optar el Título Profesional/Grado Académico de **INGENIERO DE MINAS**

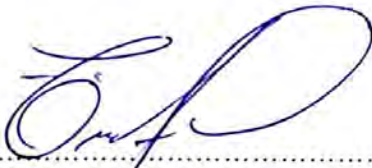
Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por...3...veces, mediante el software similitud, conforme al Artículo 6° del Reglamento para Uso del Sistema de Detección de similitud de la UNSAAC y de la evaluación de originalidad; teniendo como resultado un porcentaje de...9...% de similitud.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud	X
Del 11 al 30%	Devolver al usuario para las subsanaciones	
Mayores a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; sin perjuicio de las sanciones administrativas que corresponden de acuerdo a ley.	

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera página del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 02 de Julio del 2026


.....
Mgt. TOMAS ACHANCCARAY PUMA
DNI N° 23991386
ORCID del Asesor 000-0002- 5316- 1452

Se adjunta:

1. Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud.
27259:604105450

EDU LASTEROS BARRIOS

EFFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL CAUSADOS POR LA MINERÍA INFORMAL EN LA LOCALIDAD DE LA RINC...

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:604105450

Fecha de entrega

1 jul 2026, 7:55 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

1 jul 2026, 9:39 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

EFFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL CAUSADOS POR LA MINERÍA INFORMAL EN LA LOC.....pdf

Tamaño del archivo

4.6 MB

195 páginas

39.828 palabras

225.537 caracteres



9% 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 10 palabras)

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 8%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 5%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Texto oculto**
39 caracteres sospechosos en N.º de páginas
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

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

A Dios, por darme la fortaleza de levantarme en cada tropiezo. A mi padre, Marcial Lasteros Villena, cuyo ejemplo de trabajo duro ha sido mi mayor motor; a mi madre, Vilma Barrios Torre, por creer en mis sueños incluso cuando yo mismo dudaba de ellos; A mis hermanos y parientes por brindarme la confianza y el apoyo necesarios para culminar mis estudios en la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco; y a mí mismo, por la perseverancia de no rendirme cuando el camino se tornó difícil.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más sincero agradecimiento a la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, a su Escuela Profesional de Ingeniería de Minas y a todos los señores docentes del Departamento Académico de Ingeniería de Minas, por haberme encaminado con sus enseñanzas formación académica a lo largo de estos años.

A mi asesor, Mgt. Tomas Achanccaray Puma, por su valiosa orientación, apoyo incondicional y paciencia.

Mi agradecimiento especial a mis padres, por su amor, comprensión y apoyo constante; de igual manera, a todos mis familiares y amigos por ese aliento que formó en mí una fortaleza para ser profesional.

RESUMEN

La localidad de La Rinconada, situada en la región de Puno, es una zona minera caracterizada por una intensa actividad extractiva, donde operan tanto la Corporación Minera Ananea S.A. como mineros informales, incluyendo pequeños productores y minería artesanal. Estas actividades se llevan a cabo mediante procesos semi mecanizados y artesanales, lo que ha propiciado un significativo impacto ambiental en la zona; afectando al agua, al suelo, aire y depósitos glaciales de manera desconsiderada, se ignora las exigencias de la normativa de Seguridad y Salud Ocupacional, lo que compromete la salud de la población y trabajadores. Carecen de procedimientos de trabajos estandarizados y de controles para la preservación del medio ambiente; ante estas consideraciones se realizó un diagnóstico de la contaminación ambiental en la zona de estudio, tomando en cuenta los recursos existentes, la flora, fauna y otros elementos que claramente son afectados por la minería informal; mediante la presente tesis de investigación se ha determinado, la contaminación ambiental en la Zona Minera La Rinconada, principalmente en dos aspectos; contaminación al agua del rio Ramis, el retroceso y la degradación del glaciar Rinconada.

Palabras clave: Efectos, Ambiente, Minería informal, Glaciar.

ABSTRACT

The town of La Rinconada, located in the Puno region, is a mining area characterized by intense extractive activity. Both the Ananea Mining Corporation and informal miners, including small-scale producers and artisanal miners, operate there. These activities are carried out using semi-mechanized and artisanal processes, which has led to a significant environmental impact in the area. Water, soil, air, and glacial deposits are affected in a disregarded manner, and occupational health and safety regulations are ignored, jeopardizing the health of the population and workers. Standardized work procedures and controls for environmental preservation are lacking. Given these considerations, an environmental pollution assessment was conducted in the study area, taking into account existing resources, flora, fauna, and other elements clearly affected by informal mining. This research thesis has determined the environmental pollution in the La Rinconada Mining Zone, primarily in two aspects: contamination of the Ramis River and the retreat and degradation of the La Rinconada Glacier.

Keywords: Impacts, Environment, Informal mining, Glacier.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS	III
RESUMEN	IV
ABSTRACT	V
ÍNDICE GENERAL	VI
ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XV
ACRÓNIMOS	XVII
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN	3
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	4
1.1.1. Problema General	4
1.1.2. Problemas Específicos	4
1.2. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	5
1.3. LIMITACIONES	5
1.4. OBJETIVOS	6
1.4.1. Objetivo General	6
1.4.2. Objetivos Específicos	6
1.5. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	6
1.5.1. Hipótesis General	6
1.5.2. Hipótesis Específicas	6
1.6. VARIABLES E INDICADORES	7
1.6.1. Variable independiente	7
1.6.2. Variable dependiente	7
1.7. INDICADORES	8
1.8. GENERALIDADES DEL ÁMBITO DE ESTUDIO	9
1.8.1. Ubicación y Accesibilidad	9
1.8.2. Clima y topografía	10
1.8.3. Pisos ecológicos	10

1.8.4. Flora y fauna	10
1.9. Estudios geológicos	11
1.9.1. Cadena de Nevados	11
1.9.2. Vertiente Amazónica	11
1.10. UNIDADES LITOLÓGICAS.....	12
1.10.1. Depósitos glaciales, fluvio glaciales y aluviales	12
1.11. GEOLOGÍA ECONÓMICA.....	13
1.11.1. Mantos y vetas auríferas, zona Rinconada	13
1.11.2. Yacimiento San Antonio de Poto (Ananea)	14
1.12. MARCO CONTEXTUAL.....	15
1.12.1. Población demográfica	15
1.12.2. Características Demográficas	17
1.12.3. Población por sexo y edad.....	18
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	20
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN:	20
2.1.1. Antecedentes Nacionales	20
2.1.2. Antecedentes Locales	21
2.2. BASES TEÓRICAS Y CONCEPTUALES.....	23
2.2.1. Actividad Minera	23
2.2.2. Zona aurífera de la localidad de La Rinconada	23
2.2.4. Empresas Mineras Ilegales.....	24
2.2.5. Conceptos Básicos de Contaminación Ambiental:.....	24
2.2.6. Fundamentos sobre glaciares tropicales	25
2.2.7. Daño a los glaciares	27
2.2.8. Impactos de la minería en zonas glaciares.....	28
2.2.9. Políticas de protección y conservación de glaciares en el Perú	31
2.2.10. Plataforma Google Earth Engine	34
2.2.11. Contaminación del agua	35
2.2.12. Déficit hídrico	36
2.2.13. Metales pesados.....	36
2.2.14. Estándar de calidad ambiental – ECA agua.....	36

2.2.15. Método de explotación en la mina La Rinconada	37
2.2.16. Secuencia de minado	37
2.2.17. Labores de desarrollo y preparación.....	38
2.2.18. Descripción de las actividades minero-metalúrgicas	38
2.2.19. Descripción de operaciones y procesos metalúrgicos	42
2.2.20. Recuperación artesanal del oro	52
2.2.21. Suministro de energía.....	55
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	56
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	56
3.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN	56
3.3. DISEÑO METODOLÓGICO	56
3.3.1. Metodología Población de estudio	57
3.3.2. Instrumentos de recolección de datos	57
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	57
3.4.1. Población	57
3.4.2. Muestra	58
3.5. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	59
3.5.1. Método científico aplicado:	60
3.5.2. Método descriptivo-explicativo	60
3.5.3. Método mixto	60
3.6. ANÁLISIS DE DATOS	83
3.6.1. Identificación De Los Impactos Ambientales Generados	92
3.6.2. Impactos al ambiente físico	93
3.6.3. Impactos al ambiente biológico.....	95
3.6.4. Impactos al ambiente de interés humano	97
3.6.5. Impactos al ambiente socioeconómico	97
3.6.6. Evaluación de impactos ambientales con el método RIAM (Evaluación Rápida de Impacto Ambiental)	103
3.6.7. Evaluación de impactos ambientales con el método de Vicente Conesa .	105
3.6.8. Información espacial	107
3.6.9. Cambio anual de la cobertura glaciaria	109

3.6.10. Procedimiento para el cálculo del NDSI en GEE	112
3.6.11. Datos para las muestras de entrenamiento y validación	115
3.6.12. Obtención de parámetros	122
3.6.13. Evaluación de implicancias	123
3.6.14. Cambio anual de la cobertura glaciar (1985 – 2022)	124
CAPÍTULO IV: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN Y ANÁLISIS / DISCUSIÓN .	135
4.1. Método de criterios relevantes integrados.....	135
4.1.1. Por componentes ambientales:	135
4.1.2. Por actividades de la minería informal	137
4.1.3. Por indicadores o variables empleadas	138
4.2. Método RIAM (evaluación rápida del impacto ambiental)	139
4.2.1. Por componentes ambientales	139
4.3. Método de Vicente Conesa	142
4.3.1. Por componentes ambientales	142
4.3.2. Por actividades de la actividad minería informal	144
4.3.3. Impactos al ambiente físico	145
4.3.4. Resultados de la evaluación de la contaminación ambiental causados por la actividad minera informal en La Rinconada	151
4.4. Evaluación comparativa de parámetros inorgánicos en la captación del río Ramis frente a los ECA (Subcategoría A)	152
4.5. Evolución anual de la cobertura glaciar.....	153
4.6. Evolución multitemporal de la cobertura no-natural	156
4.7. DISCUSIONES.....	164
CONCLUSIONES.....	166
RECOMENDACIONES	168
BIBLIOGRAFÍA	170
ANEXOS	173
ANEXO 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	173
ANEXO 2: RESULTADO DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE AGUA DEL RÍO RAMIS.....	174
ANEXO 3: RESULTADO DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUA DEL GLACIAR RINCONADA.....	175

ANEXO 4: VISTA FOTOGRAFICA DE LA TOMA DE AGUA DE MUESTRA EN LA LAGUNA RINCONADA	176
ANEXO 5: FOTOGRAFÍA DE AVES MUERTOS EN LA ZONA DE LA RINCONADA..	177
ANEXO 6: FOTOGRAFÍA DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL CON BASURAS O DESHECHOS	178
ANEXO 6: FOTOGRAFIA DE LA ACTIVIDAD EXTRACTIVA DEL ORO EN LA RINCONADA MEDIANTE CARROS MINEROS	179
ANEXO 7: FOTOGRAFIA DE LA ENCUESTA A LOS TRABAJADORES MINEROS DE LA ZONA DE LA RINCONADA.....	180
ANEXO 8: DISMINUCIÓN DE HIELO EN EL GLACIAR RINCONADA.....	181

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.....	9
Ubicación de la zona según coordenadas UTM.....	9
Tabla 2.....	65
<i>Escala de valoración de la intensidad del impacto</i>	65
Tabla 3.....	66
<i>Escala de valoración de la extensión del impacto</i>	66
Tabla 4.....	67
<i>Escala de valoración de la duración del impacto</i>	67
Tabla 5.....	68
<i>Escala de valoración de la reversibilidad de los impactos</i>	68
Tabla 6.....	68
<i>Escala de valoración de la intensidad del impacto</i>	68
Tabla 7.....	70
<i>Escala de significatividad de los impactos evaluados</i>	70
Tabla 8.....	72
<i>Valores asignados a esta variable</i>	72
Tabla 9.....	73
<i>Escala de valoración de la magnitud del cambio</i>	73
Tabla 10.....	74
<i>Escala de valoración de la permanencia del impacto</i>	74
Tabla 11.....	74
<i>Escala de valoración de la reversibilidad del impacto</i>	74
Tabla 12.....	75
<i>Escala de valoración de la acumulación del impacto</i>	75
Tabla 13.....	76
<i>Escala de significación de los impactos evaluados</i>	76
Tabla 14.....	77
<i>Criterios que caracterizan el impacto ambiental</i>	77
Tabla 15.....	78
<i>Intensidad</i>	78

Tabla 16.....	79
<i>Extensión del impacto</i>	79
Tabla 17.....	79
<i>Momento del impacto</i>	79
Tabla 18.....	80
<i>Persistencia del impacto</i>	80
Tabla 19.....	80
<i>Reversibilidad del impacto</i>	80
Tabla 20.....	81
<i>Recuperación del impacto</i>	81
Tabla 21.....	81
<i>Sinergia del impacto</i>	81
Tabla 22.....	82
<i>Periodicidad del impacto</i>	82
Tabla 23.....	101
Identificación de las actividades de la minería informal.....	101
Tabla 24.....	102
<i>Identificación de los componentes ambientales de la minería informal</i>	102
Tabla 25.....	104
<i>Identificación y clasificación de los componentes ambientales de la minería informal</i>	104
Tabla 26.....	106
<i>Componentes ambientales de minería informal</i>	106
Tabla 27.....	107
<i>Características de las imágenes Landsat 5 TM, 8 OLI (Colección) y Sentinel-2</i>	107
Tabla 28.....	110
<i>Bandas usadas en el NDSI de acuerdo con los satélites</i>	110
Tabla 29.....	116
<i>Tamaño de muestras por clase</i>	116
Tabla 30.....	126
<i>Cambios anuales en la cobertura glaciar de la Cordillera Apolobamba (1985 – 2022)</i>	126

Tabla 31.....	127
<i>Cambios anuales en el glaciar Rinconada</i>	<i>127</i>
Tabla 32.....	129
Cambio altitudinal en el glaciar Rinconada	129
Tabla 33.....	129
<i>Año de retroceso del glaciar Rinconada.....</i>	<i>129</i>
Tabla 34.....	130
<i>Evaluación de exactitud de la clasificación</i>	<i>130</i>
Tabla 35.....	132
<i>Correlaciones de la variable área glaciar</i>	<i>132</i>
Tabla 36.....	133
Correlaciones de la variable área Urbana	133
Tabla 37.....	133
<i>Correlaciones de la variable área degradada</i>	<i>133</i>
Tabla 38.....	135
<i>Número de impactos por componente ambiental</i>	<i>135</i>
Tabla 39.....	137
<i>Impactos generados por las actividades de la minería informal</i>	<i>137</i>
Tabla 40.....	139
Indicadores utilizados en el método CRI	139
Tabla 41.....	140
<i>Jerarquización de impactos ambientales</i>	<i>140</i>
Tabla 42.....	141
<i>Componentes ambientales impactados</i>	<i>141</i>
Tabla 43.....	142
Impactos por componente ambiental	142
Tabla 44.....	143
<i>Componentes ambientales impactados: importancia absoluta</i>	<i>143</i>
Tabla 45.....	144
<i>Interrelaciones actividades de la actividad minera informal vs sistemas del medio ambiente</i>	<i>144</i>

Tabla 46.....	152
<i>Concentración de metales pesados y arsénico comparado con los ECA Subcategoría A:</i>	
<i>Aguas superficiales en el río Ramis</i>	152
Tabla 47.....	155
<i>Comparación de la extensión del glaciar Rinconada, con el inventario nacional, año base</i>	
<i>2016</i>	155

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.....	9
Ubicación del yacimiento minero La Rinconada en la cabecera de la cuenca del río Ramis	9
Figura 2.....	19
<i>Pirámide poblacional por sexo y grupos quinquenales de edad</i>	19
Figura 3.....	26
<i>Distribución de los glaciares tropicales</i>	26
Figura 4.....	28
<i>Glaciar Rinconada en los años 2011</i>	28
Figura 5.....	48
<i>Diagrama de flujo del proceso metalúrgico en la planta de beneficio de la mina Ana María</i>	48
Figura 6.....	51
<i>Procesamiento del oro mediante molienda del mineral en quimbaletes</i>	51
Figura 7.....	51
<i>Molienda de mineral de oro mediante molinos eléctricos.....</i>	51
Figura 8.....	53
<i>Proceso artesanal de obtención de oro en molino</i>	53
Figura 9.....	53
<i>Proceso artesanal de obtención de oro en quimbaleta</i>	53
Figura 10.....	55
<i>Toma de agua industrial, donde se observa el deshielo de la nevada</i>	55
Figura 11.....	64
<i>Ubicación del lugar de las muestras para el análisis fisicoquímico y microbiológico de agua</i>	64
Figura 12.....	88
<i>Población de la Localidad La Rinconada</i>	88
Figura 13.....	92
<i>Resultado de la encuesta a la población sobre conocimiento de la contaminación ambiental.....</i>	92

Figura 14.....	113
Diagrama de flujo para el cálculo de NDSI en GEE	113
Figura 15.....	118
<i>Matriz de confusión</i>	118
Figura 16.....	121
<i>Diagrama de flujo para el cálculo de la cobertura de suelo</i>	121
Figura 17.....	127
Evolución de la cobertura glaciaria en la Cordillera Apolobamba	127
Figura 18.....	136
<i>El impacto ambiental mostrado en porcentaje (%)</i>	136
Figura 19.....	138
<i>Impactos ambientales generados por la actividad minera en la zona de La Rinconada</i>	138
Figura 20.....	155
<i>Glaciares cubiertos mapeados por el INAIGEM</i>	155
Figura 21.....	157
<i>Precio mensual del oro 2000 – 2023</i>	157
Figura 22.....	158
<i>Evolución de la cobertura de suelo en La Rinconada (1990 – 2022)</i>	158
Figura 23.....	159
<i>Evolución del área degradada 2004 – 2010</i>	159
Figura 24.....	161
<i>Evolución de la cobertura de los glaciares Rinconada y Ananea 1985 – 2022</i>	161
Figura 25.....	162
Toma fotográfica de los glaciares de la zona La Rinconada (2018)	162
Figura 26.....	163
Toma fotográfica de los glaciares de la zona La Rinconada (2025)	163

ACRÓNIMOS

En la presente tesis de investigación se ha empleado los siguientes acrónimos:

1. ECA: Estándares de calidad ambiental
2. LMP: Límite máximo permisible
3. MIM: Minería Informal en la Mina
4. RPH: Rinconada, Puno, Huancané
5. MAI: Minería Artesanal e Informal
6. MC: Mejora Continua
7. PM: Plan de Manejo
8. SGA: Sistema de Gestión Ambiental
9. CI: Contaminación Inorgánica
10. CA: Contaminación Atmosférica
11. CC: Contaminación del Suelo
12. CG: Contaminación del Agua
13. RMC: Resultados de la Minería Contaminante
14. EIA: Estudio de Impacto Ambiental
15. SM: Salud Minera
16. SMA: Salud y Medio Ambiente
17. CRI: Criterios Relevantes Integrados
18. ERIAM: Evaluación Rápida de Impactos Ambientales
19. UEA: Unidad Extractiva de Ananea

INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental, en sus diversas formas, es un tema de gran relevancia para la humanidad, lo que hace imperativo que tanto las instituciones estatales como las privadas unan esfuerzos y realicen acciones concretas para abordar este problema. La presente investigación se centra en los "Efectos de la contaminación ambiental causados por la actividad minera de las empresas mineras informales en la localidad de La Rinconada - Puno, Perú". El autor de este trabajo ha sido testigo directo de cómo la actividad minera llevada a cabo por empresas informales está afectando la calidad del agua y poniendo en peligro la existencia de reservas de glaciares, que representan fuentes vitales de agua.

La presencia de maquinaria pesada en las cercanías de estas reservas ha contribuido al aumento de temperatura en la zona, lo que, a su vez, ha acelerado el deshielo de los glaciares. Este fenómeno no solo representa un riesgo para la reserva natural de agua, sino que también afecta a las comunidades de las zonas bajas que dependen del agua para actividades agrícolas.

La presente tesis tiene como objetivo evaluar el grado de contaminación ambiental y el riesgo potencial de extinción de los glaciares, lo cual tendría consecuencias severas para la disponibilidad de agua en la cuenca del distrito de Ananea, provincia de San Antonio de Putina, región de Puno, país Perú. Asimismo, esta investigación busca servir como un recurso académico que respalde el desarrollo del trabajo para optar el título profesional de Ingeniero de Minas de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC).

El presente estudio se organiza en cinco capítulos, los cuales se desarrolló de la siguiente manera:

Capítulo I.- Planteamiento del problema, donde se detalla la descripción de la realidad problemática, planteamiento del problema y las razones del presente trabajo de investigación.

Capítulo II.- Marco teórico, donde desarrollaremos bases teóricas y definiciones de términos que son de vital importancia para entender de mejor manera la presente tesis.

Capítulo III.- Metodología de la investigación, donde se desarrolla la metodología utilizada en el presente trabajo de investigación que se plasma en un diseño de investigación, la población y muestra; así mismo se indican las técnicas, instrumentos y metodología utilizada para la realización del presente trabajo de investigación. También abordaremos una evaluación tanto cuantitativa como cualitativa de los impactos ambientales resultantes de las actividades mineras, empleando tres metodologías específicas: el método de Criterios Relevantes Integrados (CRI), el método de Evaluación Rápida de Impactos Ambientales (ERIAM), y el método de Vicente Conesa. A través de este proceso, se identificaron diversos componentes ambientales susceptibles a los impactos generados por las actividades mineras.

Capítulo IV. - Resultados de la investigación, donde se presentan los resultados derivados de los datos obtenidos, los cuales evidencian varios tipos de impactos ambientales. Los componentes más afectados incluyen la topografía, los suelos y la calidad del agua superficial, los cuales no son aptos para el consumo humano ni animal. Las actividades mineras que han demostrado mayor efecto negativo son la minería artesanal, la disposición de desmonte, el depósito de relaves y la recuperación artesanal del oro. Resultados de laboratorio como también el resultado del retroceso y degradación del glaciar Rinconada.

CAPÍTULO I: PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La contaminación ambiental causada por la minería informal en la localidad de La Rinconada se manifiesta en:

- Contaminación de fuentes de agua por mercurio y cianuro.
- Degradación de suelos y pérdida de biodiversidad.
- Riesgos para la salud de la población local.

La Rinconada ubicado al sur del Perú a más de 5000 m.s.n.m. es muy preocupante, ya que se está contaminando al agua que escurre a las lagunas donde hay vida de animales, aves, peces y animales cuadrúpedos, puesto que son contaminados con sustancias tóxicas que son el cianuro y el mercurio, que no es favorable para la sobrevivencia de todo ser vivo. Por otra parte, las empresas mineras informales para su operación en el sistema de tratamiento metalúrgico emplean cantidad de agua y estas plantas metalúrgicas están ubicadas a unos 100 a 200 metros de los grandes blocks de glaciares de nieve y estas plantas trabajan con energía eléctrica haciendo de que haya un calentamiento del medio ambiente haciendo que las nevadas tengan un deshielo forzado, disminuyendo notablemente la reserva de agua en estado sólido (hielo) siendo una amenaza de aquí a unos cinco a diez años y ya no se tenga las nevadas que son reservas de agua que mantienen en las partes bajas a pobladores que como único medio se sobrevivencia tienen la actividad agrícola y dependen de las fuentes de aguas glaciares, además está en peligro la existencia de todo ser vivo (el hombre, animales, aves, etc.). Siendo esta situación un gran problema. En este trabajo se pretende

demostrar que la actividad minera metalúrgica de empresas mineras informales está contaminando y depredando el elemento vital que es el agua.

1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La minería informal en La Rinconada, considerada la mina de oro más alta del mundo, se caracteriza por la ausencia de controles ambientales y laborales. El uso de químicos tóxicos y la falta de gestión de residuos han generado una crisis ambiental que afecta tanto a la población como al ecosistema circundante. Este estudio busca analizar los efectos de la contaminación ambiental en el 2024, con el fin de proponer alternativas de solución y concientización.

1.1.1. Problema General

¿Las empresas mineras informales e ilegales que explotan oro en la localidad de La Rinconada, vienen causando la contaminación ambiental generando impactos ambientales en el agua y el glaciar?

1.1.2. Problemas Específicos

- 1) ¿Cuál es la influencia de la minería informal en la contaminación ambiental de La Rinconada?
- 2) ¿Cuál es el nivel de contaminación en el Rio Ramis en la localidad de La Rinconada?
- 3) ¿Cuál es el nivel de afectación de la minería informal en el retroceso y degradación del glaciar Rinconada?

1.2. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Hace 40 años aproximadamente, se inició la explotación del oro en la localidad denominada La Rinconada ubicada en el distrito de Ananea, provincia de San Antonio de Putina, región de Puno, país Perú, y se ha observado dos aspectos significativos de contaminación ambiental, uno contaminación del agua, las aguas de subsuelo generadas por la actividad minera metalúrgica han sido evacuadas a dos lagunas llamadas laguna Comune y laguna Rinconada, en ella han aparecido aves muertas y peces muertos y ha desaparecido totalmente los peces, trucha; asimismo se viene contaminando al afluente del río Sandia y la cuenca del río Cuyocuyo y por otra parte a 200 metros aproximadamente se encuentra la cordillera Apolobamba con el glaciar Rinconada y que haciendo una comparación el glaciar Rinconada tuvo una pérdida del 35% y actualmente continua disminuyendo la acumulación de hielo y solamente se observa en lo más alto de la montaña (6000 m.s.n.m.) la nieve, cuando antes estaba la acumulación de hielo a los 4000 m.s.n.m., la preocupación es, si continua esta actividad minera provocará un problema de escases de agua en las partes bajas en donde la población de Puno tiene áreas de cultivo de productos como trigo, papa, maíz, etc. y también para el consumo humano y de los animales, habrá escases de agua y contaminado con gases tóxicos como cianuro y mercurio, atentándose a la vida y a la salud de las personas y de los animales.

1.3. LIMITACIONES

La investigación de la tesis será en la localidad de La Rinconada ubicado en el distrito de Ananea, provincia de San Antonio de Putina, región de Puno, país Perú.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General

Determinar los efectos de la minería aurífera informal en la mitigación ambiental en la localidad de La Rinconada.

1.4.2. Objetivos Específicos

- 1) Precisar la influencia de la minería informal en la contaminación ambiental de la localidad de La Rinconada.
- 2) Determinar el nivel de contaminación en el río Ramis de la localidad de La Rinconada.
- 3) Conocer el área de retroceso y degradación del glaciar Rinconada por efectos de la minería informal en la localidad de La Rinconada.

1.5. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Hipótesis General

La minería informal en la localidad de La Rinconada - Puno, genera efectos significativos en el ambiente, la salud y la economía local debido al uso de químicos tóxicos y prácticas no reguladas.

1.5.2. Hipótesis Específicas

- 1) La minería informal incrementa significativamente la contaminación ambiental en la localidad de La Rinconada.

- 2) La actividad minera realizada por las empresas mineras informales en la localidad de La Rinconada eleva de manera crítica el grado de contaminación por metales pesados en el río Ramis.
- 3) La minería informal acelera el proceso de retroceso y degradación del glaciar Rinconada.

1.6. VARIABLES E INDICADORES

1.6.1. Variable independiente

Minería informal (uso de químicos, prácticas no reguladas).

1.6.2. Variable dependiente

Efectos de la contaminación ambiental (agua, suelo, aire, salud, economía)

CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Variable	Dimensiones	Indicadores	Técnicas/Instrumentos
Minería informal (VI)	Uso de químicos	- Presencia de mercurio y cianuro en procesos - Cantidad de químicos utilizados	Observación directa, entrevistas a mineros
	Prácticas no reguladas	- Ausencia de permisos - Falta de medidas de seguridad	Observación directa, Revisión documental, encuestas a trabajadores
Contaminación ambiental (VD)	Agua	- Niveles de metales pesados en ríos y lagunas - Alteración de fauna acuática	Muestreo y análisis de laboratorio
	Suelo	- Concentración de metales en suelos cercanos - Pérdida de cobertura vegetal	Muestreo de suelos, observación
	Aire	- Presencia de polvo en suspensión - Emisiones de mercurio	Observación, medición con equipos

	Salud	- Casos de enfermedades respiratorias, neurológicas y dermatológicas	Encuestas, registros médicos
	Economía	- Dependencia de la minería informal - Gastos en salud por contaminación	Entrevistas, encuestas socioeconómicas

1.7. INDICADORES

- Presencia de mercurio y cianuro en procesos
- Cantidad de químicos utilizados
- Ausencia de permisos
- Falta de medidas de seguridad
- Niveles de metales pesados en ríos y lagunas
- Alteración de fauna acuática
- Concentración de metales en suelos cercanos
- Pérdida de cobertura vegetal
- Presencia de polvo en suspensión
- Emisiones de mercurio
- Casos de enfermedades respiratorias, neurológicas y dermatológicas
- Dependencia de la minería informal
- Gastos en salud por contaminación
- Retroceso y degradación del glaciar Rinconada

1.8. GENERALIDADES DEL ÁMBITO DE ESTUDIO

1.8.1. Ubicación y Accesibilidad

El estudio será investigado en la localidad de La Rinconada distrito de Ananea, provincia de San Antonio de Putina, región de Puno, país Perú., más propiamente se recabará la información de las empresas mineras informales que operan en la zona de La Rinconada, a una altitud promedio de 5100 m.s.n.m.

Tabla 1. Ubicación de la zona según coordenadas UTM.

Coordenadas UTM-19L	
ESTE	NORTE
451929.14083624 m	8382410.3313813 m

Fuente: Cuentas Alvarado, Mario (2008).

Figura 1. Ubicación del yacimiento minero La Rinconada en la cabecera de la cuenca del río Ramis.



Fuente: Cuentas Alvarado, Mario (2008) **Nota:** Esta figura muestra la ubicación del yacimiento minero La Rinconada.

1.8.2. Clima y topografía

El clima es variado en la parte del altiplano frío y muy frío en las zonas altas donde se encuentran las minas con frecuencia con tormentas, y los cerros cubiertos de nieve, temperatura entre 2 a 5 grados centígrados, por las noches baja hasta 10 a 15 grados bajo cero. La topografía es muy accidentada hay valles y quebradas, lugar de la cordillera de los Andes con presencia de nieves.

1.8.3. Pisos ecológicos

El relieve constituye el factor modificador del clima de mayor importancia, por lo que los distintos tipos climáticos están relacionados principalmente con la altitud relativa determinada por ese relieve. Surge así el concepto de pisos térmicos, también llamados pisos climáticos, pisos bióticos y también pisos ecológicos, dependiendo de los criterios que tomemos en cuenta. Y, en este caso se considera piso ecológico a la franja de suelo o de vegetación que corresponde a una determinada altitud sobre el nivel del mar. La zona de La Rinconada se encuentra a una altura entre 5000 a 5500 m.s.n.m., el relieve es accidentado, está formado por declives suaves, pendientes como son los valles interandinos, de ríos caudalosos, de aguas frías, la cordillera cubierta de nieve y en sus quebradas hay vegetación de pastos como el hichu, el clima es muy variado de frío a muy frío temperaturas que varían desde los 10 °C y por la noche baja hasta -20°C.

1.8.4. Flora y fauna

La localidad de La Rinconada es la de menor cobertura animal y vegetal. La flora típica está conformada por el hichu (en términos de lenguaje común de la zona se llama la paja) que es utilizada para la cubierta del techo caseríos de cabañas, también crecen

hierbas como la huamanripa (yerba silvestre de los andes). De otro lado la Fauna es escasa y se ve esporádicamente el cóndor, la vizcacha y la vicuña.

1.9. Estudios geológicos

La zona materia de investigación de tesis está ubicada en la unidad morfoestructural Cordillera Oriental. Esta unidad en la zona del proyecto está manifestada principalmente por la cadena de Nevados y Vertiente Amazónica.

1.9.1. Cadena de Nevados

Los principales nevados están concentrados al Noreste de la laguna La Rinconada y al Este de la zona de estudio. Estas geoformas se desarrollan entre 4800 a 5850 m.s.n.m. La sub – unidad se caracteriza por su topografía abrupta y perfiles angulosos y la presencia de potentes glaciares. Los principales nevados son: Ñacaria (5360 m.s.n.m.), Vilcanota (5179 m.s.n.m.), Ananea (5600 m.s.n.m.), Ananea Grande (5829 m.s.n.m.), Ritipata (5350 m.s.n.m.), Chapi (5400 m.s.n.m.) y Callejón (5350 m.s.n.m.).

1.9.2. Vertiente Amazónica

Esta denominación le ha asignado al flanco Este de la Cordillera Oriental. Se caracteriza por presentar una topografía abrupta con laderas escarpadas, valles angostos y de fuertes pendientes. Se desarrolla entre las cumbres de la cordillera que está a 5800 m.s.n.m. y los 1000 m.s.n.m. Los ríos principales drenan por un lecho de fuerte pendiente formando en algunos sectores rápidos y pequeñas cascadas, lo que hace que el río tenga un flujo excesivamente torrentoso. Estas características de los ríos van desapareciendo según van acercándose hacia el río Inambari. Los ríos de la cuenca

del río Inambari drenan de Suroeste a Noreste y el río Inambari va de Sureste a Noroeste, recogiendo todos los ríos que bajan de la Cadena de Nevados. Los ríos principales son: Huari, Sandia, Patambuco y Limbani.

1.10. UNIDADES LITOLÓGICAS

En el área de estudio afloran rocas que en edad van desde el Paleozoico Inferior (Ordovícico) hasta el Cenozoico (Terciario Superior). Depósitos de origen glacial y aluvial de gran potencia están limitados a la depresión de Crucero-Ananea y de menor magnitud al fondo de los valles.

Las zonas litológicas están definidas por las siguientes formaciones:

- a) Formación San José: La litología consiste en lutitas negras intercaladas con capas de areniscas claras y delgadas. Esta unidad está infra yaciendo a la formación Sandia y le han asignado una edad Ordovícico Medio.
- b) Formación Sandia: La litología consiste en limolitas pizarrosas de color gris oscuro intercaladas con capas de areniscas de grano fino y color gris clara. Estas rocas son las portadoras de los yacimientos de oro, por lo que se considera como una formación con valor económico.
- c) Formación Ananea: Litológicamente consiste en pizarras color gris oscuro, en paquetes de 20 hasta 80 cm el mayor afloramiento está en la zona de La Rinconada.

1.10.1. Depósitos glaciales, fluvio glaciales y aluviales

Los depósitos glaciales son portadores del oro y constituyen los yacimientos auríferos, que están en la cuenca superior del río Grande. Ocupan los flancos y fondo de

la depresión Crucero- Ananea, como morrenas laterales y frontales, drumlis (colina ovalada) y llanuras. Los depósitos fluvio glaciales consisten en cantos y gravas redondeados con matriz areno-limosa. Los depósitos aluviales ocupan el cauce y márgenes del río y están formados por cantos, grava y arena.

1.11. GEOLOGÍA ECONÓMICA

El área de estudio está dentro del área metalogénica aurífera XII Ananea-Sandia. En esta área según el criterio genético existen yacimientos primarios (Endógenos) de tipo veta y manto, además de yacimientos secundarios (Exógenos) denominados placeres. Los yacimientos en mantos son Gavilán de Oro, Untuca, Ana María y La Rinconada; y yacimientos en vetas son: Quince Mil, Manco Capac, Benditani y Santo Domingo. Los yacimientos en placer son: San Antonio de Poto y Antocala.

Los principales yacimientos están concentrados en la cabecera del río Grande (Ananea) y en el cerro San Francisco, más conocido como Rinconada. Para fines de este estudio, según los tamaños y tipos de depósitos e intensidad de la actividad minera; los yacimientos han sido agrupados en cuatro zonas; la zona de Rinconada, la zona Ananea (San Antonio de Poto), la zona Ancocala – Laca y a zona del flanco Este de la Cordillera Oriental.

1.11.1. Mantos y vetas auríferas, zona Rinconada

En esta zona los yacimientos son tipo manto y su área de influencia esta entre las coordenadas 69°20' a 69°30' Oeste y 14°34' a 14°38' Sur. Las minas que están actualmente en explotación son: Lunar de oro, Ana María, La Rinconada y Untuca.

Estos depósitos auríferos están ubicados por encima de la cota de 5000 m.s.n.m. y en ambos flancos del nevado Ananea que drenan hacia las cuencas del Atlántico y Titicaca. El yacimiento es de tipo manto, cuyo mineral principal es el cuarzo ahumado.

Los mantos de cuarzo son paralelos a los estratos, buzan con 10° a 25°, sus potencias van de 2 a 40 cm, y su extensión es de varios cientos de metros. En el lado Sur del yacimiento, sector de Rinconada, existen tres frentes de explotación denominados. Rinconada, Riticucho y Lunar de Oro, en los dos primeros han identificado hasta 30 mantos, mientras que en el tercero sólo se han identificado 5 mantos.

1.11.2. Yacimiento San Antonio de Poto (Ananea)

En la cabecera del río Grande, tanto en el flanco derecho como en el fondo, existen depósitos glaciales y fluvioglaciares auríferos. Este yacimiento está en los alrededores del Distrito de Ananea y las minas están concentradas en las coordenadas siguientes:

El material detrítico cuaternario que es portador del oro es de origen glacial y fluvioglacial.

Estos depósitos están constituidos por fragmentos de roca con matriz areno-limosa, dispuestos en estructuras lenticulares. Estos yacimientos son explotados por mineros informales sin el menor cuidado del medio ambiente y de los mismos mineros que arriesgan su vida ingresando a pequeños socavones en situaciones de alto riesgo.

1.12. MARCO CONTEXTUAL

1.12.1. Población demográfica

La localidad de La Rinconada está situada en el distrito de Ananea, comprensión de la provincia de San Antonio de Putina de la región de Puno, en la cordillera oriental del Perú a una altitud aproximada de 5100 m.s.n.m. Partiendo de la ciudad de Puno se encuentra a una distancia de aproximada de 200 km, con un recorrido variable de 6 a 7 horas, mayormente por carretera afirmada.

Cuenta con un área territorial de 7 km² (sin contar la extensión de las áreas de labor minera) donde se asienta la población en 15 barrios y una urbanización, los habitantes dependen en su mayoría de la minería artesanal informal, cuyas fuentes son de tipo filoniano. Sus suelos son rocosos.

El clima se caracteriza por presentar dos estaciones diferenciadas: de setiembre a abril con mayor precipitación pluvial, presencia de nevadas y granizadas y con temperaturas que oscilan entre 3 °C a 13 °C; el período de abril a agosto se caracteriza por ser mucho más frígido y seco, con temperaturas que descienden hasta los 15 °C bajo cero. La humedad relativa promedio anual es de 43.5% variando hasta 85% en época lluviosa y 33% en la estación seca, durante esta estación, los vientos alcanzan 3.8 m/s (según información del SENAMHI).

El centro poblado se fue formando en la mitad del siglo pasado, atraídos por las expectativas de explotar el oro existente en la zona; en los años 50 se hacen los denuncios para explotar las minas y hasta los años 80 se realizó una explotación a mayor escala, constituyéndose la primera compañía minera, en cuyo recorrido se suceden

diversos figuras administrativas generándose otras empresas mineras, con conflictos de por medio, flujo de emigrantes, conflictos laborales con los obreros mineros, crecimiento desordenado del centro poblado, y sin ofrecer los servicios elementales de agua potable y desagüe, incrementándose el nivel de contaminación por los efectos de la producción de oro, así como la constatación de las condiciones de vida extremas en las familias residentes.

En el año 2000 se instala el servicio de luz eléctrica, y con ello se estimuló más la ya activa vida del centro poblado. Se cuenta con servicios de educación por centros públicos y privados, una posta de salud y un conjunto de instituciones públicas y privadas (juzgado de paz, puesto policial, oficina de RENIEC, asociaciones de mineros, de barrios, y otros).

Como resultado de la dinámica que ha venido adquiriendo el centro poblado en la última década, sustentado en la actividad extractiva del oro, el centro poblado ha tenido un crecimiento fuertemente acelerado, hacinamiento y condiciones críticas de servicios básicos y consiguientemente limitadas condiciones de vida para la población asentada en la localidad.

Dado que la actividad minera que se desarrolla en la zona está involucrando a niños y adolescentes en labores mineras, situación que convocó la presencia del IPEC-OIT en el año 2000, con el objetivo de contribuir a la prevención y erradicación progresiva del trabajo infantil en la minería artesanal informal de oro y la mejora de la calidad de vida de los niños.

En abril del año 2002 se efectúa un censo local en los centros poblados de La Rinconada y Cerro Lunar, por la RED TITIKAKA, con el asesoramiento del INEI Regional, con la finalidad de conciliar las estimaciones y la realidad existente, a la vez, mejorar la estrategia de intervención del programa de la IPEC-OIT, habiéndose presentado hasta la fecha dos resultados: “Estudio Socio demográfico y Económico – CC.PP. Rinconada – Cerro Lunar Censo 2002” y “Síntesis de los Resultados del Censo: Estudio Socio demográfico de La Rinconada” formulados por la RED TITIKAKA.

Los resultados que se presentan son formulados por el equipo de consultores contratados por CARE Puno, para la “Revisión, ampliación del análisis, informe técnico de datos y edición del censo local de La Rinconada y Cerro Lunar: Censo Socio demográfico y Económico” en el cual sobre la base de diversas acciones de corrección de datos y variables y consustanciación de información y ampliación de los análisis correspondientes, se presenta la “Situación socioeconómica de la población de La Rinconada al 2002”, con la finalidad de complementar la información para el programa IPEC-OIT, y para una probable segunda fase del Programa, para que los esfuerzos de superar las condiciones críticas existentes tengan mayor consistencia y sostenibilidad.

1.12.2. Características Demográficas

El Centro Poblado La Rinconada conforme a los resultados del Censo de Población efectuado en abril del 2002, cuenta con una población total de 10114 habitantes, comprendiendo la población nominalmente censada (9772 personas) y la no censada en el empadronamiento (342 personas). Mostrándose como el Centro Poblado de mayor magnitud poblacional del distrito (Ananea) y de la provincia (San Antonio de

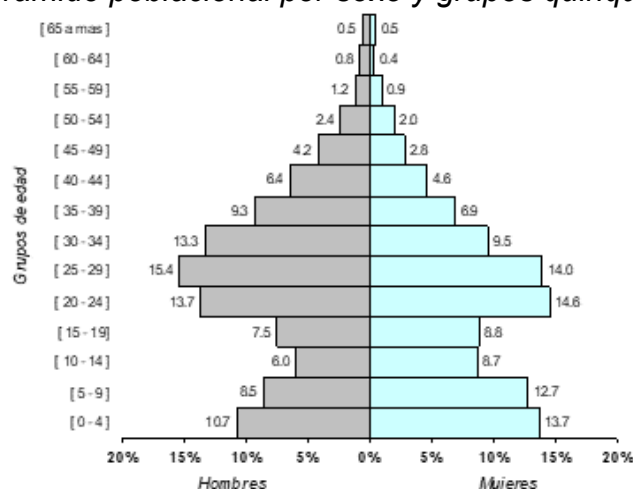
Putina), sí la referenciamos con la población estimada por el INEI para el año en el ámbito de distritos, provincias y departamentos para el año 2002.

1.12.3. Población por sexo y edad

Del total de personas censadas, el 58% son varones, lo que arroja un índice de masculinidad de 138.2%, cifra muy superior al promedio departamental (96.8%). La población masculina mayoritaria, es consecuencia de que las actividades mineras que se desarrollan en el centro poblado están más orientadas al trabajo basado a un fuerte esfuerzo físico, los cuales generalmente son más desarrollados por varones y consecuentemente han atraído al mencionado centro poblado minero, una fuerte población emigrante del sexo masculino.

La población es relativamente joven, observándose que el 29.4% (2872 personas) son menores de 15 años, mientras que a partir de los 65 años la población existente es de solo 50 personas, consiguientemente la proporción es bastante pequeña (0.5%), como consecuencia de las exigencias que refleja la dura actividad minera que se desarrolla en la mencionada zona minera, lo que refleja adicionalmente las condiciones difíciles de vida de radicar en un medio geográfico y climático extremadamente riguroso como es La Rinconada y que se debe traducir en la baja esperanza de vida de los pobladores de la zona y de radicar en un medio de características tan difíciles como en el que se encuentra La Rinconada. Como consecuencia la tasa de dependencia económica es de solo 29.9%, lo que implica una tasa mucho menor que el departamental y que se caracteriza básicamente por población joven que en muchos casos además participa efectivamente en las actividades laborales y económicas del centro poblado.

Figura 2. Pirámide poblacional por sexo y grupos quinquenales de edad.



Fuente: Adaptado del INEI (2000). **Nota:** Aunque es evidente que con los datos existentes no es posible estimar el valor real de la esperanza de vida de la zona.

Por otro lado, refiriéndonos a la estructura de población por grandes grupos de edad, que se traducen finalmente en la pirámide poblacional de La Rinconada, que se presentan en el gráfico adjunto. Los resultados del censo nos muestran que esta es una pirámide poco convencional, porque la base más amplia de población se encuentra a partir de los 20 años, como consecuencia de que la población proviene en la mayor parte de proceso migratorio y orientado básicamente al desarrollo de actividades laborales.

Otro aspecto que merece resaltar de la pirámide poblacional existente y de los datos por grupos de edad, es que en el caso de la población de los mayores de 25 años el índice de masculinidad es mucho mayor a 150%, consecuencia característica de una zona minera en la cual su base económica y sustento de su dinámica poblacional conduce a una mayor presencia de varones, lo que conlleva que las condiciones de desarrollo equilibrado de la familia no se puedan conducir adecuadamente, afectando por tanto a las condicionantes psicológicas y sociales que enfrenta la familia, pero además, en contraposición colocan a la mujer también en condiciones más difíciles que las que se desenvuelve en otras zonas del departamento.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN:

2.1.1. Antecedentes Nacionales

Rodríguez D. (2020) “Minería informal como generadora de la contaminación ambiental en el distrito de Contumazá, región de Cajamarca: 2019 – 2020”. El presente estudio se desarrolló con objetivo de analizar cómo la minería informal genera la contaminación ambiental en el Distrito de Contumazá, Región de Cajamarca: 2019 – 2020. El tipo de investigación es aplicada, orientada a la comprensión y libre, el diseño de la investigación es etnográfico y los métodos de investigación aplicados son el deductivo e inductivo y abstracción, el escenario de estudios corresponde al Distrito y Provincia de Contumazá y particularmente la zona de Cascabamba, Pozos Ricos, lugar donde se desarrolla la actividad minera informal, materia de estudio de la presente investigación. El estudio se concentra en 10 personas, entre autoridades, directivos, funcionarios y profesionales de prestigio y reconocida especialización en el tema de actividades mineras y ambiental en el ámbito regional y local. Se utilizaron las técnicas de la entrevista y análisis documental y los instrumentos guía de entrevistas y registro de análisis de documentos, la validez de contenido se realizó con la opinión de tres expertos conocedores del tema de estudio, se aplicó los criterios de rigor científico de credibilidad, auditabilidad o conformabilidad y transferibilidad o aplicabilidad. Al concluir el estudio de investigación se ha obtenido como principales resultados: La minería informal genera contaminación en el medio natural, social y ambiental en el distrito de Contumazá, y no existen condiciones adecuadas en las categorías de sostenibilidad económica, ambiental y social en el desarrollo de las actividades de la minería informal. La investigación al

presentar los efectos negativos de la actividad minera informal en el medio ambiente servirá de base para estudios posteriores, en tanto aporta conocimiento para afrontar la contaminación ambiental en el distrito, se pretende que el presente estudio se constituya en un elemento orientador hacia la formalización de la actividad minera informal dirigida a una adecuada protección del ambiente que brinde adecuadas condiciones de vida a la población.

Salva M. (2007) en la tesis " Evaluación ambiental de aguas superficiales y sedimentos en la cuenca del río Tablachaca. Pallasca Ancash: Universidad Nacional de Ingeniería". se llegó a la conclusión: En laboratorio se determinó que en los sedimentos se encontró los metales (Cu, Zn, Pb, Cd, As y Hg) y se efectuó también análisis granulométricos y mineralógicos. Se realizó además bio ensayos con el agua del Río Boca Cabana, por ser éste el más contaminado en época de estiaje. El río con mayor contaminación (metales) fue el Río Boca Cabana en época de estiaje y en época de lluvias el lugar con más fuerte contaminación fue el Río Tablachaca antes de la desembocadura del Río Ancho. Los sedimentos que tuvieron el mayor potencial de neutralización neta fueron los del Río Conchucos. El bioensayo realizado al agua del río Boca Cabana en época de estiaje, determinó que esta agua concentrada en un 59%, es capaz de matar a la mitad de los organismos bioindicadores en estudio (Daphnias), en un periodo de 96 horas.

2.1.2. Antecedentes Locales

Ccanapa. Y. (2015) en la tesis "Contaminación del Agua Superficial y Sedimentos Por Mercurio en La Rinconada, Originado Por la Minería Informal (ANANEA- Puno)". Repositorio Institucional. Distrito de Ananea, Puno, Peru: Universidad Nacional del

Altiplano de Puno. Se llegó a la conclusión: La concentración de mercurio en sedimentos fue en la quebrada del centro poblado Lunar (A) con 180 mg/l, en la parte baja de la quebrada del centro poblado La Rinconada, (B) de 43 mg/l, en la zona media de Pampas de Molino (C) fue 50 mg/l y en el ingreso de la laguna Rinconada (D) con 75.67 mg/l, los valores fueron mayores a los Límites Permisibles y estadísticamente similares entre zonas ($P > 0.05$). En el mes de diciembre el contenido de mercurio fue 64.75 mg/l, en enero 78 y en marzo 118.75 mg/l. El pH en aguas superficiales son ácidos entre 3.4 a 3.47 unidades, la temperatura del agua varió de 5.9 a 6.4°C debido a la altitud, los sólidos disueltos totales fueron de 693.3 a 713.3 mg/l con mayores valores en la zona alta del efluente, la turbidez fue de 24.3 a 140.3 UNT, el oxígeno disuelto varió de 2.27 a 3.28 mg/l, la conductividad eléctrica de 13.67 a 14.03 ms/cm Velázquez, N. (2023). en la tesis "Determinación de la contaminación por mercurio en agua y sedimentos en el Centro Poblado La Rinconada – Puno". Repositorio Institucional. Distrito de Ananea, Puno, Perú: Repositorio Institucional. se ha llegado a la conclusión: En conclusión, el 60 % de las muestras superaron los límites máximos permisibles que establece el (MINAM, 2017) y de los CEQG. Los valores de acumulación afirmaron que; la microcuenca 6 está considerablemente contaminado por Hg. Se empleó la prueba de Tukey donde se encontró discrepancias significativas ($p < 0,05$) obteniendo un R-de predicción con un valor de 88,31 % y 87,16 %, el valor se ajusta al modelo planteado.

2.2. BASES TEÓRICAS Y CONCEPTUALES

2.2.1. Actividad Minera

En el Perú la actividad minera está regulada por la norma del Texto Único Ordenado (TUO) Ley General de Minería D.S 014- 92 EM.

Que en sus artículos 1 al 7 se refieren a las siguientes actividades mineras:

Cateo, Prospección, Exploración, Explotación, Beneficio, Labor General y Transporte Minero, que son realizadas por personas naturales y jurídicas. La actividad minera en el Perú es el que más aporta al ingreso del Estado Peruano. Las cinco últimas de las actividades mencionadas se ejercen a través del sistema de concesiones.

2.2.2. Zona aurífera de la localidad de La Rinconada

La localidad de La Rinconada se encuentra en el distrito de Ananea, provincia de San Antonio de Putina, región de Puno, país Perú y zona Sur del Perú, es una región que se encuentra con yacimientos auríferos.

La mineralización en la zona se presenta en mantos, fracturas, microfracturas, dando una caracterización de filón en capa. Los minerales típicos de la zona son:

Mineral de Mina: oro libre de textura irregular “charpas” y en partículas muy finas.

Mineral de ganga: El cuarzo es el mineral más abundante, junto a pirita, arsenopirita, clorita, galena, etc.

Una característica de la minería que se practica en la zona es la explotación mediante el “busconeo”, tratando de seguir la parte más rica del manto, dejando de tratar áreas mineralizadas de baja ley, que podrían ser trabajadas utilizando procesos más eficientes.

2.2.3. Empresas Mineras Informales

Se denomina empresa minera informal a aquella persona natural o jurídica que realiza actividad minera en forma artesanal, sin tener la concesión minera otorgado por el Estado, asimismo realizan la actividad minera temporalmente utilizando herramientas básicas como pala , pico y no cuentan con ningún permiso para la explotación minera, desconocen la seguridad y salud ocupacional, no utilizan los Equipos de Protección Personal de Seguridad (EPPS), no pagan ningún impuesto al Estado, es decir no son supervisados por ninguna Institución Estatal como la Dirección Regional de Minería, OSENERMIN u otras instituciones, es decir las empresas informales explotan un recurso mineral como el oro y la plata u otros minerales polimetálicos, en una situación empírica, sin proyecto, plan ,etc.

2.2.4. Empresas Mineras Ilegales

Son empresas jurídicas o naturales que realizan la actividad minera, sin poseer ningún título de propiedad (concesión minera), ni mucho menos tener los requisitos legales que la ley establece, como el certificado de permiso. Certificado de uso de agua, Estudio de impacto ambiental, certificado de operación minera, certificado de permiso de servidumbre, etc., es decir se hace una actividad minera incumpliendo lo establecido por la ley y no pagan ningún impuesto de Ley al Estado.

2.2.5. Conceptos Básicos de Contaminación Ambiental:

Previamente es necesario conocer el significado del medio ambiente que según ISO 14001 define como el “entorno en el cual una organización opera, incluyendo el aire, el agua, el suelo, los recursos naturales, la flora, la fauna, los seres humanos y sus

interrelaciones. en base del concepto podemos decir que la contaminación ambiental es “la introducción de algún tipo de sustancia o energía que atentará contra el normal funcionamiento y equilibrio que ostentaba el medio inicialmente, provocando además un daño casi irreversible. La contaminación se da sobre y contra el medio ambiente que tantos los seres humanos como los animales y plantas utilizamos para vivir y desarrollarnos y se la denomina contaminación ambiental, siendo la presencia en el ambiente de algún tipo de agente físico, químico o biológico o la combinación de alguno de estos, la que producirá este desequilibrio del que hablábamos más arriba y que resulta ser ampliamente nocivo para la salud, seguridad o bienestar de los habitantes de cualquier nación y por supuesto lo es también para el resto de los seres vivos, como las plantas y animales.

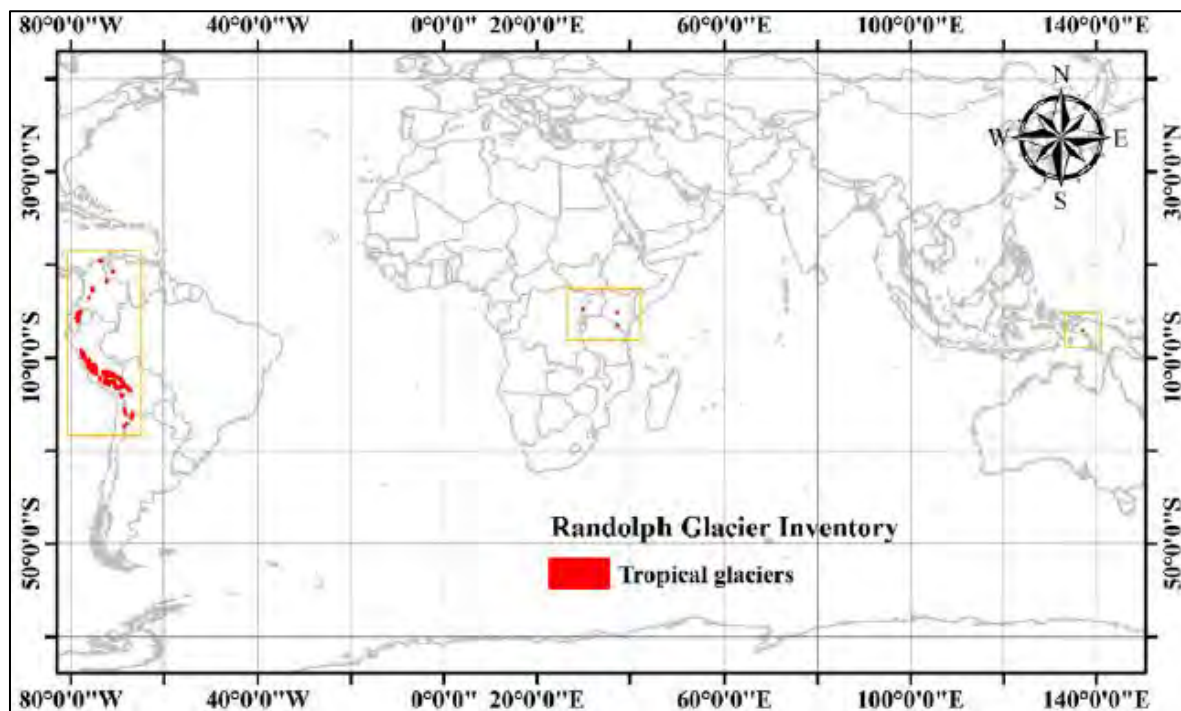
La contaminación puede darse exclusivamente en el suelo, el aire, el agua y los recursos, aunque también puede darse simultáneamente en estos tres ámbitos.

2.2.6. Fundamentos sobre glaciares tropicales

Un glaciar se define como una masa de hielo originada sobre la superficie terrestre, debido a procesos de acumulación, compactación y recristalización de la nieve. La formación y permanencia de los glaciares están determinadas por dos procesos: la acumulación y la ablación. La masa glaciar experimenta un incremento cuando predomina el proceso de acumulación. Por el contrario, se produce una pérdida de la masa glaciar cuando predomina la ablación. Cuando se alcanza un equilibrio entre ambos procesos, el balance glaciar resulta cero. Es decir, el glaciar mantiene un estado de estabilidad. En los Andes se encuentran los glaciares tropicales, los cuáles se distribuyen entre el trópico de Cáncer y Capricornio, de ahí su nombre, encontrándose

también en el este de África y Australasia. Más del 99 % (2 337.55 km²) de los glaciares tropicales se encuentran en los Andes sudamericanos, distribuidos entre Venezuela (0.79 km²), Colombia (66.19 km²), Ecuador (123.9 km²), Perú (1 602.96 km²), Bolivia (531.58 km²), en el norte de Chile (11.81 km²) y el norte de Argentina (0.32 km²). En la región andina, el Perú es el país que cuenta con la mayor cantidad de glaciares tropicales, con alrededor del 70 %.

Figura 3. Distribución de los glaciares tropicales.



Fuente: Veettil & Kamp (2009). **Nota:** Esta figura nos muestra la distribución de los glaciares tropicales en la región Andina.

En la región andina los glaciares se dividen en siete subregiones de acuerdo con su latitud y condiciones climáticas. Los glaciares peruanos se encuentran en la región tropical externa, caracterizados por presentar una estacionalidad muy marcada en sus precipitaciones. Esta condición determina la importancia de los glaciares para la región tropical externa, pues, si bien durante todo el año hay una entrada de agua de deshielo

a las cuencas glaciares, es durante la época de estiaje que el aporte relativo es mayor. Esto se debe a que la principal fuente hídrica para las cuencas glaciares en época de estiaje es el agua proveniente del deshielo, ya que las precipitaciones son mínimas o incluso nulas. Los glaciares representan una reserva hídrica que se destinada a diversas aplicaciones humanas, entre las que incluyen el suministro de agua para consumo doméstico, la producción agrícola, la generación de energía, así como valores culturales asociados, como las divinidades simbolizadas por los picos glaciares en la cultura andina.

2.2.7. Daño a los glaciares

Se llama glaciares a grandes acumulaciones de nieve en las faldas de las cordilleras o cerros, que sirven como cuencas donde se genera fluente de agua para el consumo de agua por parte del hombre y de todo ser y que hace que se preserve la flora y la fauna. Se dice que hay daño glaciar cuando las empresas mineras contaminan el medio ambiente, cuando estas hacen uso del sistema de voladura se utiliza equipos que generan mayor temperatura como los grupos electrógenos generadores de energía eléctrica lo cual causa calentamiento global, haciendo que los glaciares se derritan y se atente a la reserva de acumulación de glaciar y por ende se disminuya el volumen de los afluentes de agua hacia los niveles inferiores por ello pueden ser afectados las zonas de cultivo y consumo de agua por los seres vivientes.

Figura 4. Glaciar Rinconada en los años 2011.



Fuente: Fotografía propia. **Nota:** Esta fotografía nos muestra el nevado del glaciar Rinconada cerca a la población.

Tal es el caso en la localidad de La Rinconada existen muchas empresas mineras que están explotando oro empleando maquinaria de voladura que utiliza grupos electrógenos que generan calentamiento del medio ambiente y esto hace de que los glaciares se derritan. Esta situación se debe evitar aplicando los principios de control de medio ambiente y hacer trabajo de sensibilización en las empresas aplicando los factores de la FODA, Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas orientados a la preservación del Medio Ambiente, los glaciares que son acumulación de nieves en La Rinconada se encuentran en contacto con la forma de cómo se han instalado los grupos electrógenos.

2.2.8. Impactos de la minería en zonas glaciares

Las investigaciones se han enmarcado en el contexto de cambios en el sistema climático, sin embargo, se ha estudiado muy poco los impactos que puedan llegar a tener

otros factores de presión, como la minería, desarrolladas cerca o directamente sobre los glaciares.

Los casos de explotaciones mineras cerca a glaciares son poco conocidos en el Perú. Algunas minas ubicadas relativamente cerca a glaciares en el Perú son: la mina Antamina y Pierina, ubicadas a unos 20 y 10 kilómetros de los glaciares Huantsan y Vallunaraju en la Cordillera Blanca, la mina Toromocho, ubicada a unos 10 km del glaciar Rajuntai en la Cordillera Central, y finalmente, el área de estudio de esta investigación, La Rinconada. Esta ha recibido mayor atención, debido a su cercanía al glaciar Auchita, parte baja del glaciar Rinconada, y a su condición de urbe ubicada a mayor altitud en el mundo. Las investigaciones que se enfocan en el impacto de la minería en glaciares son escasas. En el caso de La Rinconada, los estudios existentes suelen tener como tema principal los impactos sobre la salud y la contaminación del medioambiente. Trigos (2008) y Goyzueta & Trigos (2009) estudiaron la exposición de las personas a la contaminación proveniente de la explotación minera y de las condiciones de vida en el centro poblado La Rinconada. Loaiza & Galloso (2008), Matamet & Bonotto (2019), Loza Del Carpio & Ccancapa (2020) estudiaron los impactos de la minería en la calidad del medio ambiente en La Rinconada. Estas investigaciones encontraron altas concentraciones de metales tóxicos como arsénico y mercurio en las fuentes de agua cercanas, como la laguna Rinconada y arroyos colindantes, y también en la cuenca baja del Ramis, cerca de la desembocadura en el Lago Titicaca. La actividad minera en zonas de alta montaña genera la contaminación de las fuentes de agua superficial y subterránea, y la disminución de los caudales, producto del uso del agua en los procesos mineros y la generación de aguas contaminadas con metales tóxicos. Por ejemplo, la exposición de

sulfuros a la superficie genera reacciones de oxidación y producen aguas ácidas cargadas de metales pesados que impiden el crecimiento normal de las plantas. Esto afecta directamente la capacidad productiva del suelo y los sistemas productivos tradicionales de la zona. Uno de los impactos más visibles de la minería en zonas de alta montaña es la modificación del paisaje. Ello debido a la remoción del suelo para la extracción de los minerales. Palacios & Lundberg (2006) identificaron que en la zona del proyecto minero Yanacocha, Cajamarca, se experimentó un cambio drástico del paisaje. Esto se debe a que, entre 1993 y 2000, el área de estudio cambió drásticamente, debido a que paisaje dominado por pastos naturales se redujo de 77.1 % a 9.8 % del área total en dicho periodo, mientras el área minera se expandió en el mismo periodo de 5.8 % a 48 %.

El impacto de la actividad minera en los glaciares ha sido poco estudiado, por lo que es difícil estimar el impacto real y hallar la correlación entre la actividad minera y los cambios en la extensión glaciar. Los principales impactos ligados a la minería cerca a glaciares se asocian con la producción de residuos, provenientes de la explotación y de la infraestructura necesaria para su funcionamiento, como carreteras, campamentos, entre otros. El material extraído, que es depositado sobre los glaciares, genera que el flujo normal entre en desequilibrio, debido al peso extra que reciben. Esto ocasiona que el glaciar se desestabilice y desplace a una velocidad mayor, lo que genera que su balance sea negativo. Sin embargo, la interacción entre el material residual y los glaciares puede tener un aspecto positivo. Esto se debe a que la cubierta formada sobre el hielo/nieve puede actuar como un aislante térmico, y de este modo, reducir la fusión del hielo y aumentar la longevidad del glaciar.

Brenning & Azócar (2010) estudiaron el impacto de los proyectos mineros, Pascua-Lama, Los Bronces, Codelco División Andina entre otros, sobre los glaciares rocosos de los Andes de Chile. Llegaron a la conclusión de que las intervenciones mineras en este tipo de glaciares pueden ocasionar su colapso, la degradación del permafrost y la inestabilidad de los glaciares, producto de los efectos geotérmicos y geoquímicos. Además, señalan que el agua almacenada puede llegar a contaminarse, como resultado del drenaje ácido de mina. Por su parte, H. A. Fernández & Ferrando (2018) estudiaron los glaciares rocosos de la cabecera del río Putaendo en Chile, llegando a la conclusión que los glaciares rocosos están siendo removidos para poder acceder a los yacimientos mineros, lo que afecta la recarga de los glaciares.

Otro impacto ligado a la actividad minera es la emanación de polvo, a raíz del paso de vehículos, las explosiones, la molienda y demás actividades, que pueden llegar a depositarse en la superficie glaciar. En ambientes glaciares, la cobertura de la superficie con partículas es perjudicial debido a que estas partículas son agentes que pueden alterar la tasa de ablación al reducir el albedo de la superficie y generar el aumento de la temperatura superficial, lo que conlleva el aumento de la tasa de deshielo. Las partículas que se depositan sobre la nieve y los glaciares generan un oscurecimiento de las superficies, aumentando la absorción de energía.

2.2.9. Políticas de protección y conservación de glaciares en el Perú

En el Perú aún no se cuenta con una ley específica que tenga como objetivo la protección de los glaciares, pero sí existen mecanismos legales que incluyen el estudio y la protección de glaciares y ecosistemas de alta montaña. El primer mecanismo es la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos (2009). Específicamente el Artículo 173 aborda

el tema de los glaciares, pero no para su protección, sino para su estudio y monitoreo, con fines de determinar el impacto del cambio climático sobre estos. Asimismo, el Artículo 89 de esta Ley señala que se deben desarrollar estrategias y planes para la prevención y adaptación a los efectos del cambio climático, y realizar análisis de vulnerabilidad de las fuentes de agua, entre ellos, los glaciares. Esto mismo se señala en el Artículo 3 de la Ley Marco Sobre Cambio Climático (2018), primera Ley de Cambio Climático en América Latina (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2018), en el cual se manifiesta que se deben implementar acciones con fines de protección, conservación y restauración de ecosistemas frágiles, como los glaciares y ecosistemas de montaña, con el fin de asegurar la prestación de los servicios ecosistémicos. Por su parte la Política Nacional de Glaciares y Ecosistemas de Montaña (PNGYEM), que se encuentra en elaboración, tiene la finalidad de establecer un marco estratégico que guíe las intervenciones en este tipo de ecosistemas. Esta política se está elaborando, teniendo como base los objetivos prioritarios de la seguridad hídrica, la seguridad de las personas, la mitigación ante el efecto del cambio climático y el fortalecimiento de las cadenas de valor en zonas de montaña (INAIGEM, 2023). Esta política se fortalece con las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDC, por sus siglas en inglés) que el Perú viene adoptando. Una medida de adaptación referido a glaciares es la implementación de Sistemas de Alerta Temprana (SAT) ante peligros de origen glaciar. Esta medida es tomada con el fin de afrontar los peligros y riesgos de cambios en el sistema climático. Sin embargo, las iniciativas contenidas en las leyes y políticas mencionadas giran alrededor de los impactos del cambio climático en los glaciares y ecosistemas de montaña, y no se menciona directamente el impacto de actividades humanas sobre estos

y cómo protegerlos. Donde sí se establece una relación entre glaciares y actividades humanas es en el Reglamento de Protección Ambiental para las Actividades de Exploración Minera (DS N° 042-2017-EM). En el Artículo 28 se manifiesta que el titular minero debe evitar la perforación de áreas cercanas a glaciares y, en caso no sea posible, adoptar medidas de contingencia para evitar afectaciones. Asimismo, el Artículo 37 señala que, si el proyecto minero se encuentra a menos de 100 metros de distancia de una zona glaciar, se deberá contar con la opinión técnica favorable del INAIGEM, quien evaluará el impacto que se podría generar en este tipo de ecosistemas. Pese a ello, aún no se cumplen estas disposiciones, y se desarrolla minería muy cerca a zonas glaciares, como en La Rinconada. En febrero de 2021 se presentó el proyecto de Ley que protege las Cabeceras de Cuencas, Subcuencas y Fortalece la Sostenibilidad Financiera del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado - SINANPE. Esta ley buscaba declarar la intangibilidad de las cabeceras de cuencas cuando las aguas superficiales y subterráneas sean afectadas, en su cantidad y calidad por la acción directa de actividades humanas en las zonas altas, limitando e impidiendo su uso por las poblaciones. En octubre de 2021 se presentó un nuevo proyecto de ley con la misma lógica de protección de cabeceras de cuenca. El proyecto de ley que modifica la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos, modificada por la Ley N° 30640, y declara la intangibilidad de las cabeceras de cuenca. Esta ley busca reconocer las cabeceras de cuencas como zonas vulnerables, por lo que no se debería otorgar ningún derecho para su uso, disposición o vertimiento. Asimismo, dispone la anulación de las concesiones mineras vigentes y prohíbe la realización de cualquier tipo de actividad minera a una distancia menor a 30 kilómetros de cualquier cuerpo de agua.

2.2.10. Plataforma Google Earth Engine

Uno de los principales problemas técnicos relacionado a la teledetección es la adquisición, almacenamiento y procesamiento de datos, pues requieren de supercomputadoras capaces de procesar datos que pueden llegar a pesar gigabytes o petabytes a escala planetaria. Este problema técnico ha sido una de las limitantes al momento de trabajar con datos pesados o grandes, los llamados “Big Data”, o áreas de interés extensas como países, continentes o a nivel global. Los datos usados en teledetección se consideran “Big Data” debido al crecimiento exponencial de su cantidad, al aumento de su diversidad y complejidad, que pueden llegar a superar la capacidad de almacenamiento e informática. Sin embargo, con el surgimiento de plataformas basadas en la nube, estos problemas técnicos se reducen considerablemente.

Las plataformas basadas en la nube se han desarrollado debido a la virtualización de la tecnología, trabajando en la nube con procesadores más potentes y de mayor almacenamiento. Ello se debe a que este tipo de plataformas utilizan diferentes servidores, ubicados en diferentes partes, que pueden brindar una mayor capacidad computacional.

Una plataforma basada en la nube que se ha expandido rápidamente es Google Earth Engine (GEE). Esta plataforma está basada en JavaScript, un lenguaje de programación empleado para la creación de scripts en la web, destacado por su notable flexibilidad y maleabilidad. Adicionalmente, GEE tiene la capacidad de utilizar una Interfaz de Programación de Aplicaciones (API, por sus siglas en inglés) en Python. GEE facilita el acceso a recursos informáticos de alto rendimiento para el procesamiento de grandes datos geoespaciales, incluyendo observaciones de diferentes satélites como

Landsat y Sentinel, variables ambientales, climáticas, cobertura del suelo y datos socioeconómicos. GEE, al ser una plataforma basada en la nube, divide los procesamientos en diferentes CPUs, por lo que su potencial técnico llega a resolver problemas relacionados a los largos periodos de procesamiento y las limitaciones de almacenamiento. El acceso GEE se realiza a través de una API por medio de internet, y se controla en un Entorno de Desarrollo Integrado (IDE, por sus siglas en inglés) basado en la web que permite la creación y visualización rápida de modelos desarrollados.

En los últimos años la utilización de GEE ha experimentado un incremento significativo, atribuible a las múltiples ventajas que esta plataforma ofrece. Entre las ventajas destacadas de la plataforma se encuentran las siguientes: es gratuita y solo requiere de una conexión a internet para su uso. Posee una gran capacidad de almacenamiento y amplia disponibilidad de datos espaciales. Permite el procesamiento de grandes bases de datos o “Big Data”. Además, ofrece la posibilidad de compartir scripts, archivos y repositorios con otros usuarios de la plataforma.

2.2.11. Contaminación del agua

El agua de consumo puede transmitir numerosas enfermedades producidas por agentes microbiológicos y químicos. En nuestro país los brotes de enfermedades hídricas que se relacionan con abastecimientos de agua no aptas para el consumo son de declaración obligatoria. La media de notificación anual es de 74 brotes. El problema emergente en nuestro entorno son las enfermedades causadas por contaminantes químicos, ya sea por contaminación del agua en origen o bien debido a las características químicas del abastecimiento, por los materiales instalados en contacto con el agua de consumo, por las sustancias formadas como subproductos de reacción por la utilización

de tratamientos químicos necesarios para la potabilización del agua, o por el mal mantenimiento o diseño de las instalaciones.

2.2.12. Déficit hídrico

Hoy en día el agua es sin duda un recurso disputado. Múltiples intereses, a menudo contrapuestos, giran alrededor del control del agua y de la forma como esta debería distribuirse y asignarse. Las controversias y conflictos que surgen por la distribución del agua son generalmente precedidos por una serie de discursos acerca de la cantidad de agua existente en una cuenca. Los discursos no sólo imaginan la oferta de agua en la cuenca, sino también moldean y deciden qué intereses deberían prevalecer y, por ende, cómo debería distribuirse el agua.

2.2.13. Metales pesados

Si bien los metales pesados pueden ser componentes intrínsecos de la pedogénesis natural, las actividades de origen antrópico han exacerbado sus concentraciones a niveles críticos. Este fenómeno representa una de las principales problemáticas ambientales contemporáneas, al inducir estados de estrés abiótico en los ecosistemas edáficos debido a la toxicidad derivada de la acumulación de dichos elementos.

2.2.14. Estándar de calidad ambiental – ECA agua

En el ordenamiento jurídico peruano, la gestión y vigilancia de los recursos hídricos se rigen por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, ratificados por el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM. Esta normativa establece un marco referencial de concentraciones máximas para indicadores fisicoquímicos y biológicos,

estratificados según la categoría de uso asignada al cuerpo de agua. De este modo, el marco legal actúa como un instrumento técnico-normativo indispensable para diagnosticar la aptitud del recurso y garantizar la sostenibilidad de los ecosistemas y la salud de la población (MINAN, 2017).

2.2.15. Método de explotación en la mina La Rinconada

El método de explotación empleado es de tipo subterráneo, denominado cámaras y pilares con avance en dirección y circado selectivo del manto, en este método se deja parte del mineral como pilares o columnas que servirán para sostener el techo. Las dimensiones de las cámaras y pilares dependen de las propiedades mecánicas del macizo rocoso. El mineral que queda en los pilares puede recuperarse posteriormente, parcial o totalmente, reemplazando los pilares por otro material o puede extraerse en forma de retirada, abandonando los tajos con el posterior hundimiento del techo. La resistencia de los pilares depende del material de que están constituidos (roca o mineral) y de las discontinuidades geológicas que los atraviesan. El diseño del ancho de las cámaras se realiza normalmente por métodos empíricos y según la experiencia, determinándose un ancho de cámara aproximado de 4,0 m, pilares de 2,0 x 2,0 m y altura de tajos de 1,5 m.

2.2.16. Secuencia de minado

El sistema de minado se inicia desde la galería principal, en forma ascendente, se delimita el manto en bloques, con el fin de tener varios frentes de avance y así aprovechar eficientemente los equipos empleados en el minado. El ciclo en sí consiste en perforar y disparar la parte del desmonte sobre el manto mineralizado, es decir el mineral

generalmente queda en el piso, esta primera etapa se acumula con el avance según el plan previsto; este material es evacuado hacia las canchas de desmonte en superficie, en algunos casos se emplea como relleno de las cámaras vacías. La segunda etapa consiste en realizar la “quiebra”, consistente en extraer la parte del mineral dejado en el piso de la labor.

2.2.17. Labores de desarrollo y preparación

Las labores de desarrollo y preparación consisten en la ejecución de chimeneas de ventilación y de servicios, galerías de acceso, vías para el transporte del mineral, echaderos de mineral, talleres para servicios, bodegas, etc. Se prepara el sector mediante un sistema de dos galerías paralelas de 1,8 x 2,1 m de sección espaciados entre sí por 40 m, por una de estas galerías penetra la corriente de ventilación, por la segunda sale, una galería sirve para transportar mineral mientras que la otra se emplea para tránsito de personal. En el avance de estas labores se lleva el manto mineralizado al techo, ambas galerías se comunican entre sí por inclinados de 1,5 x 1,8 m de sección cada 50 m.

2.2.18. Descripción de las actividades minero-metalúrgicas

Para el análisis de las actividades inherentes a la investigación de tesis que pueden ocasionar efectos de contaminación ambiental, debe considerarse cada una de las etapas del proceso de explotación de una mina: El cateo, que es la acción conducente para poner en evidencia indicios de mineralización por medio de labores mineras elementales. La prospección, que es la investigación conducente para determinar áreas de posible mineralización, por medio de indicaciones químicas y físicas, medidas con

instrumentos y técnicas de precisión. La exploración, tendiente a demostrar las dimensiones, posición, características mineralógicas, reservas y valores de los yacimientos minerales. El desarrollo o construcción, que se realiza para hacer posible la explotación del mineral contenido en un yacimiento, se trata de la etapa en la cual se realizan los trabajos para preparar un depósito mineral para su explotación. La operación o explotación, es la extracción de los minerales contenidos en el yacimiento y el cierre, que son las actividades destinadas a la rehabilitación de las áreas utilizadas por la actividad minera que permitan eliminar, mitigar y controlar los efectos adversos al ambiente generados o que pudieran generarse por la actividad minera. En la presente investigación, se considera sólo la etapa de explotación, por los mineros informales y las etapas de cateo, prospección, exploración y desarrollo no se han desarrollado y no cuentan con el estudio de impacto ambiental correspondiente. En este apartado, se hará una breve descripción de las actividades minero metalúrgico, procurando dar una visión genérica en la que las características, peculiaridades y datos básicos que resultaron de interés para el estudio quedan expuestos, así como sus interrelaciones con el medio. El fin principal de este apartado es identificar las acciones que tengan repercusión en la contaminación del medio ambiente, específicamente en la contaminación del río Ramis, la disminución de los glaciares.

Las Empresa mineras informales han desarrollado la actividad minera extractiva del oro de labores subterráneas ubicadas en la zona de La Rinconada, muy empíricamente es decir artesanalmente, utilizando perforadoras Jack Leg hasta con baterías otros con aire comprimido y procesando el mineral mediante la molienda del mineral extraído en quimbaletes y/o molinos que funcionan con energía eléctrica, cuyas

instalaciones se encuentran en el mismo poblado de La Rinconada conocidos como molinos de mineral en más de 20 unidades, utilizando métodos combinados de concentración, amalgamación y cianuración, que son elementos contaminantes del agua y del suelo.

2.2.18.1. Operaciones unitarias

Las operaciones mineras unitarias que se ha observado en la zona de La Rinconada podemos afirmar que existen empresas mecanizadas como la empresa Titan S.A y los mineros artesanos informales que es materia de investigación y que realizan la actividad extractiva mediante el ciclo minado que consiste en los siguientes:

2.2.18.2. Perforación y voladura

Se ha observado que utilizan perforadoras tipo Jack leg por ser la pendiente de las labores casi horizontal llegando a una inclinación máxima de 25°. Los equipos y accesorios usados en la perforación son: compresora, perforadoras, barrenos integrales y de broca, llaves y accesorios de lubricación, barretillas y atacador. La voladura se realiza de manera convencional en los frentes de desarrollo y en los tajos; los materiales y los accesorios empleados son: dinamita semi gelatinosa de 65%, de 22,2 x 177,8 mm, fulminante N° 06 y mecha de seguridad. Tanto en las minas de la Corporación Minera Ananea S.A. y en la de los mineros artesanales, la voladura se realiza en dos etapas: primero se perfora el material estéril o desmonte, se carga con explosivos y se dispara, dejando el manto al techo para que, en una segunda etapa, después de la limpieza del desmonte y ventilación, se perfora taladros cortos solamente en la estructura

mineralizada, para efectuar disparos secundarios empleando 1/2 cartucho de dinamita con fulminante y guía.

2.2.18.3. Carguío y transporte

El material estéril derribado, es arrastrado hacia los chutes utilizando rastrillos accionados por winches eléctricos con potencia de 12 hp y 20 hp provistos de un tambor que aloja un cable de acero para operar hasta en una distancia de 30 m. Los mineros artesanales también operan en forma similar a la Corporación Minera Ananea S.A. Para el carguío, tanto la Corporación Minera Ananea S.A. así como los mineros artesanales, emplean sistemas convencionales, es decir, el material estéril derribado en los tajos se conduce a chutes con la ayuda de rastrillos accionados por winches eléctricos desde los cuales son cargados directamente a los carros mineros. La Corporación Minera Ananea S.A. acarrea mineral mediante los carros mineros accionado con locomotora a batería. Los mineros artesanales acarrean mineral empujando cada carro con dos hombres. En los frentes de las galerías la Corporación Minera Ananea S.A. emplea palas neumáticas sobre rieles, que cargan el desmonte directamente a los carros mineros de 25 pies cúbicos de capacidad y transportado hasta la cancha de desmonte ubicado en superficie con la ayuda del sistema indicado es decir mediante locomotoras.

2.2.18.4. Disposición de desmonte

El material considerado como desmonte, es el proveniente de las labores mineras, en una relación aproximada de 13 a 1; es decir, se extrae 13 toneladas de desmonte por 1 tonelada de mineral. Los desmontes se emplean como relleno en los tajos explotados, los excedentes se evacuan a las canchas de desmonte en las bocaminas, debiendo

construirse canales de drenaje de agua de escorrentía, para evitar la infiltración en el desmonte y la generación de aguas ácidas.

2.2.18.5. Drenaje

El flujo continuo de agua por medio de las fisuras en el interior de la mina lixivia a los minerales con contenido de sulfuros que se encuentran en el mineral y en la roca caja el oxígeno requerido para la formación del drenaje ácido de mina llega por medio de las filtraciones de aguas superficiales. En las operaciones de minado de la Corporación Minera Ananea S.A. las filtraciones de agua subterránea procedentes de los niveles altos del flanco occidental del cerro San Francisco son mínimos, las bocaminas de Comuni y Santa Ana, generalmente no evacúan efluentes líquidos, a diferencia de los mineros artesanales cuyo drenaje de mina es evacuada en su totalidad al afluente del río Ramis.

2.2.18.6. Transporte de mineral mina-planta

El mineral es transportado desde la bocamina hacia la planta, si es tratado en una planta concentradora que, en este caso a la tolva de gruesos de la planta de beneficio de la Empresa Minera Ana María, en un camión de 4,0 TM de capacidad, con un recorrido de 10 km. El mineral es previamente pesado en una balanza de ½ TM de capacidad en la bocamina y si es para un tratamiento artesanal a los molinos de bola que se encuentran en el mismo poblado de La Rinconada.

2.2.19. Descripción de operaciones y procesos metalúrgicos

En la zona de La Rinconada existen dos tipos de procesamiento metalúrgico para la recuperación del oro, uno en forma industrializada mediante una planta concentradora y otro en forma artesanal.

2.2.19.1. Procesamiento Metalúrgico en planta concentradora en La Rinconada

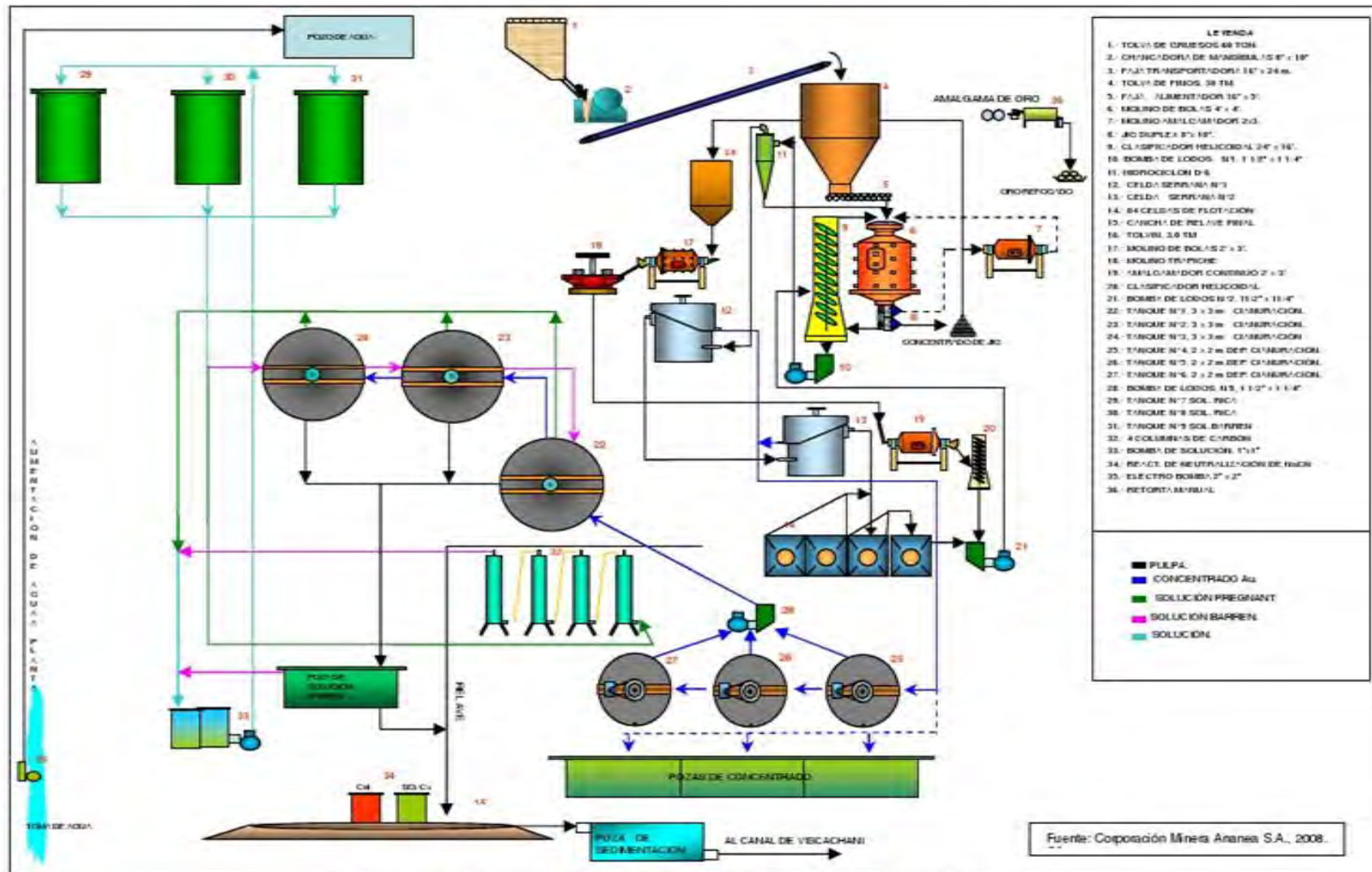
La descripción del proceso metalúrgico en la planta concentradora de la empresa Corporación Minera se realiza por lotes Batch en tres tanques agitadores de 3,0 m de diámetro por 3,0 m de altura, con una capacidad de cada tanque de 8 TMS de concentrado y 14 m³ de solución. La solución se lleva a un pH de 11, agregando CaO en una proporción de 5 kg/TM, la concentración inicial de cianuro es relativamente alta: 0,2 % CN, para una mejor cinética y ataque inicial, pasada las 24 horas se añade cianuro hasta el término del proceso, luego de 60 horas de cianuración, la ley de relave es de 1,5 g/TM, llegando la concentración final del cianuro a 0,08 %. Concluido las 60 horas de cianuración se hace decantar durante 16 horas en el mismo tanque para luego extraer la solución enriquecida que es transportada a uno de los tanques de deposición de solución.

Luego se hace ingresar la solución barren al tanque para realizar el lavado de la pulpa con el fin de extraer por completo el contenido de oro que pueda quedar en la pulpa cianurada. Una vez colocadas las soluciones ricas en los tanques de deposición, se hace circular la solución por las cuatro columnas de carbón activado de 100 kg de capacidad c/u, dispuestas en serie en circuito cerrado, proceso que dura 74 horas. El carbón activado cargado con una concentración de 1,0 g de Au/kg de carbón es descargado de las columnas para ser enviado y procesado en Lima. Los residuos sólidos de cianuración son descargados a la cancha de relaves, previamente son tratados con cal, sulfato de cobre para neutralizar los cianuros remanentes, ver figura 5 este proceso metalúrgico es utilizado por la Corporación Ana María que de alguna manera en este proceso hay control de los elementos pesados o químicos, mientras en el proceso de amalgamación que los

mineros artesanales emplean no hay control alguno de las aguas, directamente desembocan a los afluentes del río Ramis.

En la Figura N° 5, el Depósito de relaves que es uno de los principales residuos del procesamiento que genera la planta de beneficio Ana María es el relave, el mismo que es conducido a través de una tubería de 101,6 mm de diámetro hasta un depósito de relaves situado a 60 m de la planta, en un volumen inicial de 24,0 TM por día, que es clasificado mediante un sistema de ciclones para la disposición de los gruesos en las partes perimétricas que forman las crestas y los finos distribuidos en las partes posteriores. Los desechos producidos en la planta de beneficio Ana María como consecuencia de las operaciones metalúrgicas son: relaves con contenido de mercurio procedentes del proceso de amalgamación, relaves con contenido de cianuro provenientes del proceso de cianuración y agua de decantación.

Figura 5. Diagrama de flujo del proceso metalúrgico en la planta de beneficio de la mina Ana María.



Fuente: Tomado de Corporación Minera Ananea S.A. **Nota:** Esta figura nos muestra el diagrama de flujo de los procesos metalúrgico de la planta de beneficio de la mina Ana María.

2.2.19.3. Tratamiento de aguas del proceso metalúrgico

Para aspectos netamente informativos, se ha podido ver que en la zona La Rinconada existen empresas formales, como Contratistas Titan S. A. Corporación minera Ana María, etc. ; las cuales si tratan las aguas utilizadas en el proceso metalúrgico, es así que se ha observado, las aguas clarificadas del depósito de relaves son conducidas a una poza de sedimentación, que se encuentra en la parte baja del depósito, de la cual, por rebose caen en un sumidero de donde son bombeadas al reservorio de la planta de beneficio.

La solución barre, solución con bajo contenido de oro procedente de los tanques de cianuración. Por este proceso de control de tratamiento de aguas se controla la contaminación al medio ambiente no al 100%, siempre hay fugas a la parte inferior aguas contaminadas con mercurio y cianuro.

2.2.19.4. Procesamiento metalúrgico empleado por las empresas mineras informales

El proceso metalúrgico realizado por las empresas mineras informales fue principalmente materia de estudio de la presente investigación, siendo el mercurio utilizado ampliamente en la recuperación del oro, muchas veces sin las precauciones necesarias, causando gran efecto contaminante en la atmósfera, aguas, suelos, y en los propios trabajadores y sus familias que lo manipulan. La utilización inadecuada del mercurio en el tratamiento conduce a la producción de altas pérdidas tanto en forma de mercurio elemental durante el proceso de amalgamación, así como en forma de gas (vapor de Hg) y compuestos inorgánicos durante la separación oro – mercurio,

(refogado). El proceso de recuperación artesanal del oro mediante la amalgamación se realiza utilizando principalmente dos equipos: el quimbaleta y el molino (Figura 6 y 7). En la actualidad la cantidad de molinos existentes en la zona de La Rinconada es aproximadamente de 300 unidades y 180 quimbaletes; lo que nos demuestra la gran intensidad de uso de estos dos equipos.

El mineral producto del minado del yacimiento aurífero es transportado desde los frentes de explotación hasta la zona de bodegas donde se procede al charpeo, que viene a ser la trituración de los trozos más grandes de mineral con combos de 4 lb, escogiéndose el oro visible o charpas, el cual es sometido a un proceso de limpieza eliminando el cuarzo, obteniéndose de este modo un primer producto para comercializar denominado charpa de roca.

El mineral ya triturado y seleccionado, por lo general se muele y amalgama en quimbaletes o molinos. El mercurio que no está aleado (mercurio libre) es separado de la amalgama mediante filtración en forma manual. El mercurio evapora a una temperatura de alrededor de 360 °C. Por lo tanto, la amalgama debe ser calentada a una temperatura suficientemente más alta para evaporar mercurio (refogado). El oro permanece en el recipiente como producto final. Por lo general, para este propósito se utilizan calentadores de gas o sopletes de diferente índole. El producto final es vendido a comerciantes de la localidad (Corporación Minera Ananea S.A., 2008).

Los relaves del proceso anterior son acumulados en las canchas de relaves de las plantas de amalgamación, para su posterior venta a compradores de Juliaca, Nazca y Chala, en este caso hay mayor contaminación al ambiente más que nada al suelo y al agua que escurre a las partes inferiores. Ampliando respecto al tratamiento metalúrgico

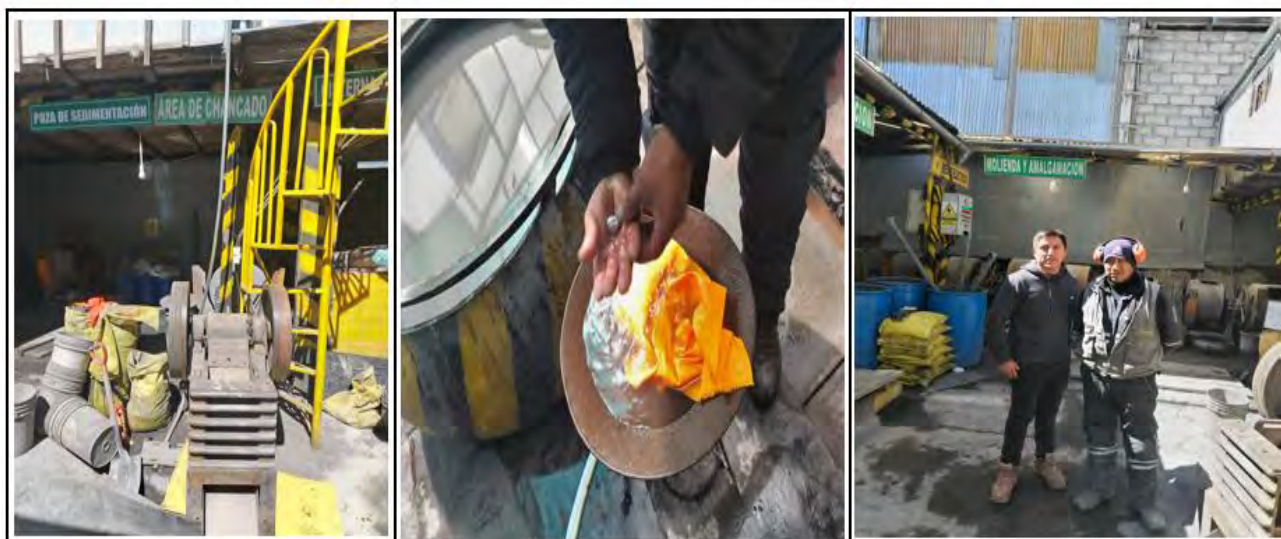
de recuperación del oro mediante proceso artesanal podemos aclarar que en la población La Rinconada, en la misma población en el centro de la población se han instalado en cada casa molinetes y molinos que procesan el mineral tal como podemos observar en las figuras mostradas:

Figura 6. Procesamiento del oro mediante molienda del mineral en quimbaletes.



Fuente: Fotografía propia. **Nota:** Esta fotografía nos muestra el proceso de molienda en quimbaletes.

Figura 7. Molienda de mineral de oro mediante molinos eléctricos.



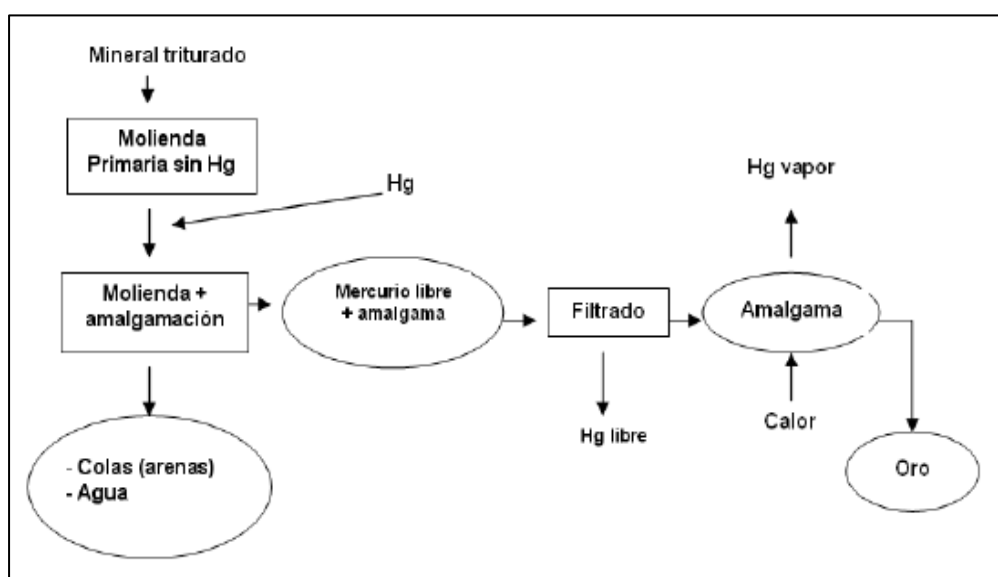
Fuente: Fotografía propia. **Nota:** Esta fotografía evidencia el proceso de molienda mediante molinos eléctricos y la amalgamación del oro con mercurio.

2.2.20. Recuperación artesanal del oro

El mercurio es utilizado ampliamente en la recuperación del oro, muchas veces sin las precauciones necesarias, causando gran efecto contaminante en la atmósfera, aguas, suelos, y en los propios trabajadores y sus familias que lo manipulan. La utilización inadecuada del mercurio en el tratamiento conduce a la producción de altas pérdidas tanto en forma de mercurio elemental durante el proceso de amalgamación, así como en forma de gas (vapor de Hg) y compuestos inorgánicos durante la separación oro – mercurio, (refogado). El proceso de recuperación artesanal del oro mediante la amalgamación se realiza utilizando principalmente dos equipos: el quimbaleta y el molino de bolas. En el año 2024 la cantidad de molinos existentes en la zona de La Rinconada era aproximadamente de 200 unidades y 120 quimbaletes; lo que nos demuestra la gran intensidad de uso de estos dos equipos. El mineral producto del minado del yacimiento aurífero es transportado desde los frentes de explotación hasta la zona de bodegas donde se procede al charpeo, que viene a ser la trituration de los trozos más grandes de mineral con combos de 4 lb, escogiéndose el oro visible o charpas, el cual es sometido a un proceso de limpieza eliminando el cuarzo, obteniéndose de este modo un primer producto para comercializar denominado charpa de roca; el mineral ya triturado y seleccionado, por lo general se muele y amalgama en quimbaletes o molinos. El mercurio que no está aleado (mercurio libre) es separado de la amalgama mediante filtración en forma manual. El mercurio evapora a una temperatura de alrededor de 360 °C. Por lo tanto, la amalgama debe ser calentada a una temperatura suficientemente más alta para evaporar mercurio (refogado). El oro permanece en el recipiente como producto final. Por lo general, para este propósito se utilizan calentadores de gas o sopletes de diferente

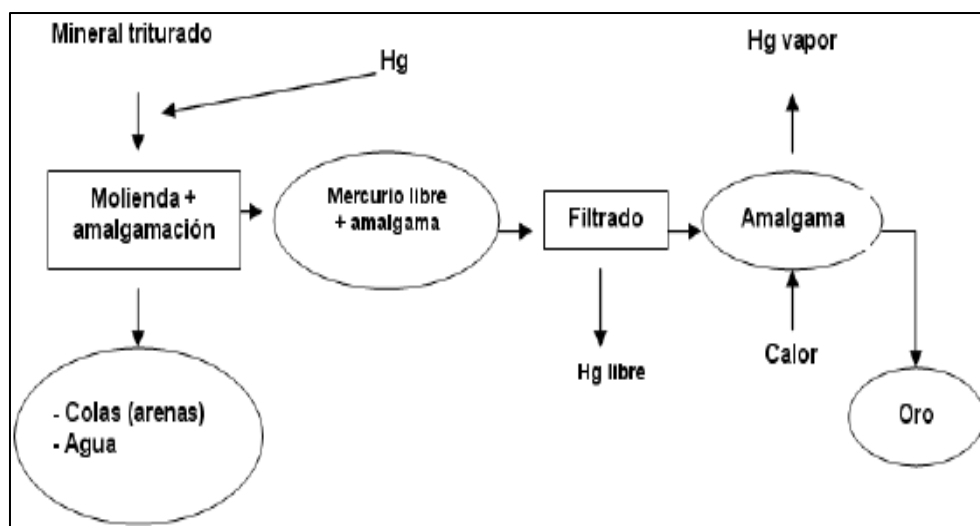
índole. El producto final es vendido a comerciantes de la localidad. Los relaves del proceso anterior son acumulados en las canchas de relaves de las plantas de amalgamación, para su posterior venta a compradores de Juliaca, Nazca y Chala.

Figura 8. Proceso artesanal de obtención de oro en molino.



Fuente: Cuentas Alvarado, Mario (2008) **Nota:** Muestra el proceso de molienda y amalgamación del mineral triturado en molino eléctrico.

Figura 9. Proceso artesanal de obtención de oro en quimbaleta.



Fuente: Cuentas Alvarado, Mario (2008) **Nota:** Muestra el proceso de molienda y amalgamación del mineral triturado en quimbaletes.

2.2.20.1. Suministro de agua para procesos metalúrgicos de empresas mineras formales e informales

Suministro de agua de empresas mineras formales

El agua para la planta concentradora proviene de la laguna Lunar (deshielo), ubicado al lado sur del nevado Ananea, entre los cerros San Francisco y Cerro Lunar. Dado que el requerimiento para la planta de beneficio es de 3 Lt/seg. el agua es bombeada a un reservorio de 20,5 m³ de capacidad y luego distribuida a la planta de beneficio mediante una tubería de 76,2 mm de diámetro.

Suministro de aguas de empresas mineras informales

Los mineros informales, tienen áreas de influencia, se ubican en la parte superior de la misma población y que captan de la cuenca Lunar que alberga la acumulación de hielo tal como se observa en la figura 10 y es así este recurso glaciar sufre el impacto ambiental y daño, puesto que a unos 200 m aproximadamente de la nevada (glaciar) se ubican compresoras que generan aire comprimido utilizados para la perforación voladura de tajos convencionales es decir generan aire y energía eléctrica, que causan el calentamiento del ambiente afectando directamente al glaciar provocando el deshielo de la nevada perdiéndose de esta manera la reserva natural del agua y actualmente solamente se puede observar el hielo en las cimas del cerro y en la partes de las faldas se observa el deshielo, las aguas del deshielo de los glaciares son captadas en la parte baja (quebrada), mediante tuberías acumuladas en tanques de agua, los cuales son utilizadas en el proceso de amalgamación del oro y sin ningún control los mineros informales dejan escapar las aguas amalgamadas a los afluentes del río Ramis.

Figura 10. Toma de agua industrial, donde se observa el deshielo de la nevada.



Fuente: Fotografía propia. **Nota:** Esta fotografía nos muestra a mi persona en el glaciar Rinconada para la toma de muestra del agua del glaciar.

2.2.21. Suministro de energía

La energía eléctrica es proporcionada por la empresa Electro puno S.A.A., tanto para los mineros formales como para los informales con una potencia total contratada de 540 kW. asimismo, se tiene instalado grupos electrógenos diésel que generan energía eléctrica y a su vez provocan el calentamiento del ambiente provocando el deshielo del glaciar, perdiéndose la capacidad de reserva natural del agua.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Aplicada: ya que el propósito es aportar soluciones prácticas y recomendaciones para mitigar la contaminación y mejorar la gestión ambiental.

Mixta (cualitativa y cuantitativa):

Cualitativa: entrevistas a pobladores, observación de prácticas mineras, percepción social sobre la contaminación.

Cuantitativa: medición de niveles de mercurio, cianuro y otros contaminantes en agua, suelo y aire; análisis estadístico de datos ambientales y de salud.

3.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Descriptivo: porque se requiere identificar y caracterizar los tipos de contaminación (agua, aire, suelo, residuos) presentes en la zona; Explicativo: porque además de describir, se busca comprender las causas (uso de mercurio, informalidad, ausencia de regulación) y las consecuencias (impacto en salud, ambiente y sociedad); se pretenderá encontrar las causas de la contaminación ambiental y el grado de contaminación al río Ramis y específicamente la contaminación a los glaciares que se encuentran en la cabecera de la zona de La Rinconada.

3.3. DISEÑO METODOLÓGICO

La estrategia a utilizar para la investigación del presente trabajo fue el tipo de diseño experimental, puesto que se ha determinado objetivamente los análisis de agua y también la medición matemática del volumen de agua que va en desmedro por

tiempos por efecto de daño a los glaciares en la zona de la localidad de La Rinconada, asimismo se tomaron muestras objetivas de la muerte de algunas aves y también se demuestran mediante pruebas con fotografías la actividad minera realizada por las empresas mineras informales en una zona próximo al glaciar.

3.3.1. Metodología Población de estudio

Para poder evaluar los agentes contaminantes, se determinaron las áreas geográficas en las cuales éstos se producen de manera que puedan identificarse los componentes ambientales susceptibles de ser impactados.

3.3.2. Instrumentos de recolección de datos

En el desarrollo del proyecto, se recolectaron datos y resultados obtenidos en anteriores estudios en la zona mediante investigaciones bibliográficas pormenorizadas; se realizaron visitas de campo para la obtención de datos faltantes y se utilizaron las metodologías de evaluación de impactos seleccionadas para la consecución de los objetivos trazados.

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

El ámbito del estudio se ha realizado en la localidad de La Rinconada ubicada en el distrito de Ananea, provincia de San Antonio de Putina, región de Puno - Perú, las muestras se tomaron de las empresas mineras informales que operan en esa zona.

3.4.1. Población

Población: habitantes de La Rinconada, trabajadores mineros informales, autoridades locales y ecosistemas afectados; para poder evaluar los agentes

contaminantes, se determinaron en las áreas geográficas en las cuales se producen la contaminación y daño al medio ambiente, específicamente al río Ramis y los glaciares de manera que se identificaron los componentes ambientales presentes en ellas y, por tanto, susceptibles de ser impactados. La población que se considerará en la investigación de la zona de La Rinconada comprende un área de 1359.06 km², según Boletín N° 66 publicado en la Universidad Nacional San Agustín de Arequipa. (Julio de 1996), en la que operan 6 empresas informales y habitantes de la localidad de La Rinconada y zonas aledañas (Chávez y otros, 1996).

3.4.2. Muestra

Muestra: selección representativa de familias, trabajadores y puntos de muestreo ambiental (agua, suelo, aire). Las muestras se tomaron de dos empresas mineras informales que es Titan Contratistas y Rosario Mining SAC que operan en la localidad de La Rinconada, en un área de 200 ha. El ámbito del estudio se realizó en la localidad de La Rinconada ubicada en el distrito de Ananea, provincia de San Antonio de Putina, región de Puno – Perú. La toma de muestras se realizó a 150 personas seleccionadas mediante muestreo aleatorio estratificado y técnicas e instrumentos de recolección de datos en el desarrollo del proyecto, se recolectaron datos y resultados mediante información real de las empresas mineras informales antes mencionadas, encuestas y datos de laboratorio. Se realizarán trabajos de campo mediante observación directa, visitas de campo para la obtención de datos faltantes y se utilizaron las metodologías de evaluación de impactos seleccionados para la consecución de los objetivos trazados. Se utilizó el Excel, cuaderno de datos, encuestas, entrevistas y equipos como analizadores de agua y estaciones de monitoreo ambiental.

TÉCNICAS

Las técnicas de recolección de datos se basarán en el análisis documentario y revisión de fichas bibliográficas.

ANÁLISIS DOCUMENTAL

Se realizó la revisión de documentos en distintos informes técnicos, notas de campo, reportes etc. realizados en la localidad de La Rinconada.

REVISIÓN DE FICHAS BIBLIOGRÁFICAS

Se empleó la base de información recopilada con referente a estudios precedentes, plan de minado de la Minera y fuentes bibliográficas (tesis, libros e informes).

INSTRUMENTOS

Cualitativas: entrevistas, grupos focales, observación directa.

Cuantitativas: encuestas estructuradas, análisis de laboratorio de muestras ambientales, registros de salud pública.

Se han complementado los siguientes instrumentos de recolección: Cuadros de Excel para la base de datos, guías de observación, que permitió anotar las ocurrencias de entrevistas semiestructuradas, encuestas estructuradas, fichas de observación y técnicas en la localidad de La Rinconada.

3.5. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Los métodos más adecuados para este trabajo fueron:

3.5.1. Método científico aplicado:

Se parte de la observación sistemática de la realidad (contaminación ambiental en La Rinconada).

Se formula el problema de investigación y se plantean hipótesis sobre causas y efectos.

Se procede a la recolección de datos (ambientales, sociales y de salud).

Se realiza el análisis e interpretación de resultados para confirmar o refutar hipótesis.

Finalmente, se proponen acciones de mitigación y recomendaciones.

3.5.2. Método descriptivo-explicativo

Descriptivo: permite identificar y caracterizar los tipos de contaminación (agua, aire, suelo, residuos).

Explicativo: busca comprender las causas (uso de mercurio, informalidad, ausencia de regulación) y las consecuencias (impacto en salud, ambiente y sociedad).

3.5.3. Método mixto

Cualitativo: entrevistas, grupos focales y observación directa para conocer percepciones sociales y prácticas mineras.

Entrevistas en profundidad

Se hicieron entrevistas a las mismas personas y en forma personalizada se recabó la información del tema de investigación y en conclusión casi todos dijeron que la

contaminación ambiental que se causa por la actividad minera por los informales es inevitable por cuanto nadie les dice nada y hay una ausencia del Estado.

Las entrevistas realizadas fueron cualitativas a los trabajadores de las empresas mineras que se encuentran en el ámbito de estudiado.

En suma, una entrevista ofrece la oportunidad para conocer de primera mano lo que el entrevistado desea, piensa, siente, opina y describe acerca de algo.

Las entrevistas en profundidad fueron de gran utilidad para estudios en, que se requiere conocer de cerca la explicación de algunos comportamientos.

Cabe indicar que la utilización de la entrevista en Profundidad se utilizó en los siguientes casos:

- a) Cuando se requiere información que explique los resultados de una investigación cuantitativa.
- b) Cuando se requiere definir hipótesis de trabajo antes de una investigación cualitativa y cuantitativa.
- c) Cuando el tipo de información que se requiere está referida a temas privados
- d) Cuando la información a recoger puede ser brindada solo en un contexto individual.

Focus group

Entendiendo por este término como grupo focal, que es una técnica de investigación cualitativa que reúne a un pequeño grupo de personas, que cuidadosamente se seleccionó en La Rinconada para obtener información acerca que

piensan de la actividad minera informal hasta ilegal que contamina el agua del río Ramis y que los glaciares vienen disminuyendo, en este caso se seleccionó 10 personas entre trabajadores y habitantes de la zona, quienes en su mayoría han manifestado que como pueden evitar si de esa actividad viven y que el Estado no se hace presente, todos opinaron que no pueden evitar.

Observación

La observación participante es una técnica de investigación que se basa en la sistematización de las actividades comunes de la vida diaria, es decir, observar, escuchar e interpretar. Consiste en hacer una descripción detallada de un fenómeno o hecho social a través de la observación de los sucesos mediante todos los sentidos disponibles (la vista, el oído, el tacto, el olfato, el gusto, la percepción, la intuición, entre otros).

La principal característica de la observación es que el investigador utiliza como instrumento de recolección de datos. Toda la información pasará a través de los sentidos del investigador y surgirá de la observación de los actores y elementos del objeto o fenómeno estudiado.

Se le denomina observación participante porque el investigador de una forma u otra tiene que intervenir o participar con los sujetos de estudio de su investigación. Así hay diferentes niveles de participación, desde una participación casi nula hasta una participación total con las personas.

La observación participante se utiliza en casos como los siguientes:

Caso investigado

En el presente caso respecto a la contaminación ambiental causado por las empresas mineras informales en la localidad de La Rinconada se han realizado observaciones objetivas de la muerte de aves, animales y la disminución de hielo del glaciar y se tomaron muestras de agua, mediciones de la acidez y también observaciones de espacios de zonas de glaciares, derretidos, etc.

3.5.3.2 Cuantitativo: Análisis de laboratorio de muestras ambientales y encuestas sobre incidencia de enfermedades relacionadas con la exposición a contaminantes.

El procesamiento de la información se efectuó mediante un análisis de contrastación normativa, fundamentado en la comparación de los resultados analíticos de laboratorio frente a los umbrales de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua. Específicamente, se evaluaron los parámetros bajo los criterios de la Categoría 1, Subcategoría A, conforme al D.S. N.º 004-2017-MINAM, empleando para ello una matriz de consolidación que detalla lo siguiente:

- Valor obtenido en el análisis de laboratorio.
- Valor máximo permitido según el ECA.
- Criterio de cumplimiento: Cumple / No cumple.

Subsiguientemente, se realizó el procesamiento estadístico-descriptivo de los hallazgos mediante el software Microsoft Excel. Esta etapa permitió la sistematización de la información a través de histogramas comparativos y diagramas de conformidad,

herramientas que facilitaron la visualización de las brechas entre los valores experimentales y los niveles permisibles, permitiendo así determinar el nivel de observancia de los parámetros analizados observancia parámetros analizados.

Figura 11. Ubicación del lugar de las muestras para el análisis fisicoquímico y microbiológico de agua.



Fuente: Google Earth. **Nota:** Esta figura muestra la ubicación de la toma de muestra del agua del rio Ramis.

3.5.3.3. Método no experimental, transversal

No experimental: porque no se manipulan variables, solo se observan en su contexto natural.

3.5.3.4. Método de Criterios Relevantes Integrados (CRI)

El método propone la elaboración del índice VIA (Valor del Impacto Ambiental) para cada impacto que generará el proyecto e identificado en la matriz respectiva. La metodología es aplicable a proyectos con intensa participación multidisciplinaria (Ingenieros, químicos, biólogos, arqueólogos, sociólogos, economistas, entre otros especialistas ambientales). Para determinar las relaciones causa – efecto, se completan matrices tipo Leopold, entre las actividades del proyecto fuentes de impacto

ambiental y los posibles efectos ambientales. El índice VIA se calcula como una suma ponderada de los valores de los indicadores: carácter, intensidad, extensión, duración, magnitud, reversibilidad y riesgo o probabilidad del impacto. Una vez obtenido el VIA se categoriza el impacto de acuerdo con el riesgo de ocurrencia. Al inicio de la evaluación, se intenta expresar cuantitativamente cada uno de estos indicadores de manera separada y aproximadamente de acuerdo con los criterios que se dan a continuación: (Cuentas, 2009).

Carácter del impacto o signo (+/-)

Esta calificación establece si el impacto de cada actividad del proyecto es beneficioso (signo positivo) o adversa (signo negativo). En caso de que la actividad no ocasione impactos o estos sean imperceptibles, entonces el impacto no recibe ninguna calificación.

Intensidad del impacto (I)

La intensidad, considera qué tan grave puede ser la influencia de la actividad del proyecto sobre el componente ambiental analizado. Para esta evaluación se propone un valor numérico de intensidad que varía de 1 a 10 dependiendo de la severidad del impacto analizado. La Tabla muestra la escala de valores sugeridos para calificar esta variable:

Tabla 2. Escala de valoración de la intensidad del impacto.

Intensidad	Descripción	Valor
Baja	Cuando el grado de alteración es pequeño, y la condición original de la componente prácticamente se mantiene.	1
Media	Cuando el grado de alteración implica cambios	5

	notorios respecto a su condición original, pero dentro de rangos aceptables.	
Alta	Cuando el grado de alteración de su condición original es significativo.	10

Extensión o influencia espacial del impacto (E)

Esta variable considera la influencia del impacto sobre la delimitación espacial del componente ambiental. Es decir, califica el impacto de acuerdo con el tamaño de la superficie o extensión afectada por las actividades desarrolladas por el proyecto, tanto directa como indirectamente. La escala de calificación de esta variable se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Escala de valoración de la extensión del impacto.

Extensión	Descripción	Valor
Puntual	Cuando su efecto se verifica dentro del área en que se localiza la fuente de impacto.	1
Local	Cuando su efecto se verifica fuera del área en que se ubica la fuente del impacto, pero dentro del territorio administrativo del proyecto.	5
Extenso	Cuando su efecto abarca el territorio que se encuentra fuera de la propiedad del proyecto.	6

Duración del impacto (D)

Esta variable considera el tiempo que durará el efecto de la actividad del proyecto sobre el componente ambiental analizado. La Tabla 4 muestra la escala de valores sugeridos para calificar la variable.

Tabla 4. Escala de valoración de la duración del impacto.

Duración	Plazo	Valor
Más de 10 años	Largo	10
De 5 a 10 años	Mediano	5
Menos de 5 años	Corto	1

Magnitud del impacto ambiental (M)

Esta variable no necesita ser calificada ya que su valor es obtenido relacionando las tres variables anteriores (signo, intensidad, extensión y duración). Sin embargo, cada variable no influye de la misma manera sobre el resultado final de la magnitud, cuya ecuación es la siguiente:

$$Mi = \pm [(Ii \times WI) + (EixWE) + (DixWD)]$$

Donde:

I ; Intensidad

E : Extensión

D : Duración

M : Magnitud del impacto ambiental

En la referida ecuación, *WI*, *WE* y *WD*, son factores adimensionales que representan el peso de incidencia de la variable considerada sobre la magnitud del impacto, y cuyo valor numérico individual es inferior a 1. La suma de los tres coeficientes de peso, en conjunto, debe ser siempre igual a la unidad. La asignación de valores a los coeficientes de peso dependerá del criterio del grupo evaluador. En caso de dudas, se asignará un valor de 1/3 a cada factor de peso.

Para la presente evaluación ambiental, se asignaron los siguientes valores:

$$WI = 0,4$$

$$WE = 0,4$$

$$WD = 0,2$$

Reversibilidad del impacto (RV)

Esta variable, considera la capacidad del sistema de retornar a las condiciones originales una vez cesada la actividad generadora del impacto. La Tabla 5. muestra la escala de valores asignados para calificar esta variable.

Tabla 5. Escala de valoración de la reversibilidad de los impactos.

Categoría	Capacidad de Reversibilidad	Valor
Irreversible	Baja o irrecuperable	10
	El impacto puede ser recuperable a muy largo plazo (> 30 años) y a elevados costos	8
Parcialmente Reversible	Media. Impacto reversible a largo y mediano plazo	5
Reversible	Alta. Impacto reversible de forma inmediata o a corto plazo	1

Riesgo o probabilidad del suceso (RG)

Finalmente, se valora la probabilidad de ocurrencia del impacto sobre el componente ambiental analizado. La Tabla 6. muestra la escala de valores asignados a esta variable:

Tabla 6. Escala de valoración de la intensidad del impacto.

Probabilidad	Rango de ocurrencia	Valor
Alta	Si el impacto tiene una probabilidad de ocurrencia mayor al 50%	10

Media	Si el impacto tiene una probabilidad de ocurrencia entre el 10% y el 50%	5
baja	Si el impacto tiene una probabilidad de ocurrencia casi nula en un rango menor al 10%	1

Una vez calificadas las seis variables de la valoración ambiental, se procede a calcular el valor del índice ambiental (VIA). Este valor considera la relación de la magnitud (M), la reversibilidad (RV) y el riesgo (RG), mediante la siguiente expresión matemática:

$$VIA = RV^{WRV} \times RG^{WRG} \times |M|^{WM}$$

Donde:

RV = Reversibilidad

RG = Riesgo

M = Magnitud

VIA = Valor del Índice Ambiental

En esta ecuación, *WRV*, *WRG* y *WM*, también son factores adimensionales que representan el peso de incidencia de la reversibilidad, el riesgo y la magnitud respectivamente. Al igual que la ecuación de magnitud, dichos coeficientes son menores que 1 y la suma de los mismos, debe dar la unidad.

Para la presente evaluación ambiental, se asignaron los siguientes valores:

$$WRV = 0,3$$

$$WRG = 0,3$$

$$WM = 0,4$$

Una vez obtenido el valor del índice ambiental (VIA) de cada impacto evaluado se procesan y analizan los resultados. El procedimiento consiste en la sumatoria algebraica de las filas y las columnas respectivamente. Adicionalmente, se procede a contabilizar los impactos negativos y positivos ocasionados por el proyecto.

Significatividad de los impactos ambientales evaluados

Para complementar la evaluación de impactos, se requiere de una fase de caracterización cualitativa de los impactos evaluados cuantitativamente. Esto se realiza con el fin de ayudar en la toma de decisiones respecto a las potenciales medidas de mitigación más prioritarias a ser implementadas. Para esto, se elabora la matriz de significatividad de impactos, en la que se detallan en forma cualitativa las características de los mismos. La significatividad del impacto se determina basándose en el valor de índice ambiental (VIA) de acuerdo a la Tabla 7.

Tabla 7. Escala de significatividad de los impactos evaluados.

VIA	Significatividad del impacto
< 2,0	No significativo
2,0 – 4,0	Poco significativo
4,0 – 6,0	Medianamente significativo
6,0 – 8,0	Significativo
> 8,0	Muy significativo

3.5.4.1. Método de Evaluación Rápida del Impacto Ambiental (RIAM)

El método de Evaluación Rápida del Impacto Ambiental RIAM (Rapid Impact Assessment Matriz), fue desarrollado por Christopher M.R. Pastakia en 1998 y es utilizado para evaluar todo tipo de impactos generados por distintos tipos de proyectos. Los estudios de impacto ambiental son producto de un equipo multidisciplinario, por ello,

la metodología RIAM es ideal, garantizando una evaluación rápida, segura y objetiva de los impactos ambientales generados por un proyecto, debido a que todos los componentes y parámetros ambientales son integrados. El RIAM proporciona una investigación holística, pues clasifica al medio ambiente para su evaluación en cuatro categorías ambientales (Cuentas, 2009).

a) Ambiente físico y químico

Incluye todos los aspectos físicos y químicos del medio ambiente, incluyendo los recursos naturales no renovables (no biológicos) y la degradación del medio ambiente físico por contaminación: relieve, suelos, agua superficial, agua subterránea, aire, ruidos y vibraciones.

b) Ambiente biológico

Incluye todos los aspectos biológicos del medio ambiente, incluyendo los recursos naturales renovables, la conservación de la biodiversidad, la interacción entre especies y la contaminación de la biosfera: flora, fauna y ecosistemas.

c) Ambiente social y cultural

Incluye los aspectos humanos del medio ambiente, incluyendo temas sociales que afectan a los individuos y las comunidades; considerando aspectos culturales, esto incluye la conservación del legado cultural de las comunidades y el desarrollo humano: paisaje, restos arqueológicos, uso de tierras, percepciones y expectativas relacionadas con el agua, percepciones de impactos en el aire, expectativas de empleo, percepciones y expectativas de desarrollo.

d) Ambiente económico

Identifica cualitativamente las consecuencias económicas del cambio ambiental, temporal o permanente: empleo y desarrollo local.

El RIAM, requiere un proceso de selección de los componentes ambientales que serán impactados y serán ubicados en las cuatro categorías ambientales arriba indicadas. El método está basado en la definición de importantes criterios de evaluación y los componentes ambientales existentes en el área donde se desarrollará el proyecto.

Los impactos ocasionados por las actividades del proyecto son evaluados contra los componentes ambientales. Para cada componente, se determina un resultado que indica el grado de beneficio o perjuicio que ocasiona la actividad en el componente ambiental. Los criterios de evaluación más importantes se pueden clasificar en dos grupos:

Criterio A, Indican el grado de relevancia de la condición y que individualmente pueden cambiar el resultado obtenido.

Importancia del componente ambiental (A1)

Expresa el grado de importancia de un determinado componente ambiental en relación con su entorno, representada en función a los límites espaciales o de interés humano.

Tabla 8. Valores asignados a esta variable.

Valor	Importancia del componente
4	Importante para el interés nacional / internacional

3	Importante para el interés regional / nacional
2	Importancia local y áreas inmediatas
1	Importancia sólo local
0	Sin importancia

Magnitud del cambio/efecto (A2)

La magnitud está definida como la medida de beneficio o perjuicio de un determinado impacto. Los valores asignados se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9. Escala de valoración de la magnitud del cambio.

Valor	Cambio/efecto
+3	Grandes beneficios
+2	Mejora significativa del estado general
+1	Mejora del estado general
0	Sin cambio
-1	Cambio negativo del estado general
-2	Cambio negativo significativo del estado general
-3	Grandes impactos negativos

Criterio B, Están relacionados con el desarrollo de la condición, y que individualmente no son capaces de alterar el resultado obtenido.

Permanencia (B1)

Esta variable define si la condición es temporal o permanente, y debería considerarse como una medición del estatus temporal de la condición de la componente ambiental. La tabla 10 muestra los valores asignados.

Tabla 10. Escala de valoración de la permanencia del impacto.

Valor	Permanencia del impacto
1	Sin cambio
2	Temporal
3	Permanente

Reversibilidad (B2)

La reversibilidad es la capacidad que tiene un componente para retornar a sus características originales o similares a las originales. Los valores asignados son mostrados en la Tabla 11.

Tabla 11. Escala de valoración de la reversibilidad del impacto.

Valor	Reversibilidad del impacto
1	Sin cambio o no aplicable
2	Reversible
3	Irreversible

Acumulación del impacto (B3)

Es una medida que considera si el efecto tendrá un impacto directo simple o si habrá un efecto acumulativo o sinérgico. La Tabla 12 muestra los valores asignados.

Tabla 12. Escala de valoración de la acumulación del impacto.

Valor	Acumulación del impacto
1	Sin cambio o no aplicable
2	Simple o no acumulativo
3	Acumulativo o sinérgico

Una vez calificadas las variables, se procede a calcular el valor de la evaluación ambiental del componente. El proceso puede ser expresado de la siguiente manera:

$$1) AT = A1 \times A2$$

$$2) BT = B1 + B2 + B3$$

$$3) ES = AT \times BT$$

Donde:

A1, A2 = Resultados de los criterios individuales del grupo A

B1, B2, B3 = Resultados de los criterios individuales del grupo B

AT = Resultado de la multiplicación de todos los resultados A

BT = Resultado de la suma de todos los resultados B

ES = Puntaje ambiental (Environmental score)

Significatividad de los impactos ambientales evaluados

Para complementar la evaluación de impactos, se requiere de una fase de caracterización cualitativa de los impactos evaluados cuantitativamente. Para esto se elabora la matriz de significatividad de impactos, en la que se detallan en forma cualitativa

las características de estos. La significatividad del impacto se determina basándose en el Valor de la Evaluación Ambiental del Impacto (VEAI) de acuerdo con la Tabla 13.

Tabla 13. Escala de significación de los impactos evaluados.

Puntaje ambiental	Rango alfabético	Rango numérico	Descripción
72 a 108	E	5	Impacto positivo importante
36 a 71	D	4	Impacto positivo significativo
19 a 35	C	3	Impacto positivo moderado
10 a 18	B	2	Impacto positivo menor
1 a 9	A	1	Impacto positivo leve
0	N	0	No hay impacto
-1 a -9	-A	-1	Impacto negativo leve
-10 a -18	-B	-2	Impacto negativo menor
-19 a -35	-C	-3	Impacto negativo moderado
-36 a -71	-D	-4	Impacto negativo significativo
-72 a -108	-E	-5	Impacto negativo importante

3.5.4.2. Método de Vicente Conesa Fernández-Vítora

Vicente Conesa propone una metodología para realizar la valoración cualitativa y cuantitativa de los impactos ambientales generados por distintos tipos de proyectos.

La metodología fue propuesta en 1987 y sucesivamente revisada en 1991, 1995 y 1997.

Según Conesa, el proceso de valoración de los impactos comprende dos etapas: la valoración cualitativa (importancia) y la valoración cuantitativa (magnitud). Los criterios que se consideran para ambas valoraciones se pueden observar en la Tabla 14.

Tabla 14. Criterios que caracterizan el impacto ambiental.

IMPACTO AMBIENTAL	SIGNO	Positivo + Negativo - Indeterminado x			
	VALOR (GRADO DE MANIFESTACIÓN)	IMPORTANCIA (GRADO DE MANIFESTACIÓN CUALITATIVA)	Grado de incidencia	Intensidad	
			Caracterización	Extensión de Plazo de manifestación Persistencia Reversibilidad Sinergia Acumulación Efecto Periodicidad Recuperabilidad	
		MAGNITUD (GRADO DE MANIFESTACIÓN CUANTITATIVA)			
		Cantidad			
		Calidad			

Fuente: CONESA, V. *Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental*. 1997.

Determinación de la importancia de los impactos

La importancia de un impacto es una medida cualitativa del mismo, que se obtiene a partir del grado de incidencia (intensidad) de la alteración producida, y de una caracterización del efecto.

Los criterios a través de los cuales se llega a establecer la importancia del impacto son los siguientes atributos ambientales:

Signo

El signo del impacto indica el carácter beneficioso (+) o perjudicial (-) de las distintas

actividades impactantes que van a actuar sobre los distintos componentes ambientales considerados. En algunos casos determinados, se puede incluir un tercer carácter: “previsible pero difícil de cualificar o sin estudios específicos” (representado por el signo “x”).

Intensidad (I)

Se refiere al grado de incidencia de la actividad sobre un componente ambiental. Los valores asignados a esta variable están comprendidos entre 1 y 12, en el que 12 representará una destrucción total del componente y el 1 una afección mínima. Los valores entre 1 y 12 expresan situaciones intermedias. La Tabla 15. muestra los valores asignados.

Tabla 15. Intensidad.

Categoría	Grado de destrucción del impacto	Valor
Baja	Afección mínima del componente	1
Media		2
Alta		4
Muy alta		8
Total	Destrucción total del componente	12

Extensión (EX)

Se refiere al área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno del proyecto (% de área, respecto al total del área del entorno, en que se manifiesta el efecto). La Tabla 16. muestra los valores asignados.

Tabla 16. Extensión del impacto.

Categoría	Extensión del impacto	Valor
Puntual	Efecto muy localizado	1
Parcial	Situación intermedia	2
Extenso		4
Total	No puede ubicarse en un punto concreto del entorno, influye en toda su extensión	8

En el caso de que el impacto sea puntual, pero se produzca en un lugar crítico (vertido próximo y aguas arriba de una toma de agua, degradación paisajística en una zona muy visitada o cerca de un centro urbano, etc.) se le atribuirá un valor de +4 por encima del que le correspondería en función del porcentaje de extensión en que se manifiesta.

Momento (MO)

El momento hace referencia al tiempo transcurrido desde la aparición de la actividad, hasta que se manifiesta el efecto sobre el componente ambiental. Refleja el período de manifestación. Los valores correspondientes son mostrados en la Tabla 17.

Tabla 17. Momento del impacto.

Categoría	Momento del impacto	Valor
Inmediato	El tiempo transcurrido es nulo	4
Corto plazo	Menor a un año	4
Medio plazo	El período de tiempo es de 1 a 5 años	2
Largo plazo	El impacto tarda en manifestarse más de 5 años	1

Persistencia (PE)

Se refiere al tiempo que se supone que permanecería el efecto desde su aparición y, a partir del cual el componente afectado volvería a las condiciones iniciales previas a

la acción, por medios naturales o por la introducción de medidas correctoras. La Tabla 18 muestra los valores asignados.

Tabla 18. Persistencia del impacto.

Categoría	Extensión del impacto	Valor
Fugaz	La permanencia del efecto tiene lugar durante menos de 1 año.	1
Temporal	Dura entre 1 y 10 años	2
Permanente	Mayor de 10 años	4

La persistencia, es independiente de la reversibilidad. Un efecto permanente puede ser reversible o irreversible. Por el contrario, un efecto irreversible puede presentar una persistencia temporal. Los efectos fugaces y temporales son siempre reversibles o recuperables.

Reversibilidad (RV)

Indica la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la actividad impactante por medios naturales, una vez que deja de actuar sobre el medio. Los valores asignados pueden ser observados en la Tabla 19.

Tabla 19. Reversibilidad del impacto.

Categoría	Reversibilidad del impacto	Valor
Corto plazo	La reversibilidad del impacto tiene lugar durante menos de 1 año.	1
Mediano plazo	Dura entre 1 y 10 años	2
Irreversible	Mayor de 10 años	4

Recuperación del impacto (MC)

Indica la posibilidad de retornar (total o parcialmente) a las condiciones iniciales previas a la actuación, por medio de la intervención humana (introducción de medidas correctoras). En la Tabla 20. se observa los valores asignados.

Tabla 20. Recuperación del impacto.

Recuperación del impacto	Valor
Totalmente recuperable de forma inmediata	1
Totalmente recuperable a mediano plazo	2
Parcialmente	4
Irrecuperable con posibilidad de introducir medidas compensatorias	4
Irrecuperable	8

Sinergia (SI)

Atributo que contempla la interacción y reforzamiento de dos o más efectos simples, provocando un efecto superior al que generan actuando independientemente. Los valores son mostrados en la Tabla 21.

Tabla 21. Sinergia del impacto.

Sinergia del impacto	Valor
No existe sinergia	1
Existe sinergia entre una acción y otra/s que actúan sobre el mismo factor	2
Altamente sinérgico	4

Acumulación (AC)

Indica el incremento progresivo de la manifestación del efecto a medida que la acción impactante actúa de forma continuada. Cuando una actividad no produce efectos

acumulativos (acumulación simple), el efecto se valora como 1. Si el efecto producido es acumulativo el valor se incrementa a 4.

Efecto (EF)

Indica la forma de manifestación de un efecto sobre un factor, como resultado de una acción. Si la repercusión de la acción es consecuencia directa de ella, el efecto será directo y valdrá 4. Si la repercusión de la acción no es consecuencia directa de ella, el efecto será indirecto valdrá 1.

Periodicidad (PR)

Indica la regularidad de manifestación de un efecto, bien sea de manera cíclica o recurrente (efecto periódico), de forma impredecible en el tiempo (efecto irregular), o constante en el tiempo (efecto continuo). La Tabla 22. muestra los valores asignados.

Tabla 22. Periodicidad del impacto.

Periodicidad del impacto	Valor
Irregular o inhabitual y discontinuo	1
Periódico	2
Continuo	4

Importancia del impacto (I)

Una vez calificadas las once variables de la valoración ambiental, se procede a calcular el valor de la importancia del impacto (no del componente). Este valor se calcula mediante la siguiente expresión matemática:

$$I = \pm[3I + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC]$$

Donde:

I = Intensidad

SI = Sinergia

EX = Extensión

RV = Reversibilidad

MO = Momento

EF = Efecto

PE = Persistencia

PR = Periodicidad

AC = Acumulación

MC = Recuperabilidad

La importancia del impacto toma valores entre 13 y 100 y presenta valores intermedios (entre 40 y 60) cuando se da alguna de las siguientes circunstancias:

- Intensidad total, y afección mínima de los restantes símbolos.
- Intensidad muy alta o alta, y afección alta o muy alta de los restantes símbolos.
- Intensidad alta, efecto irrecuperable y afección muy alta de alguno de los restantes símbolos.
- Intensidad media o baja, efecto irrecuperable y afección muy alta de al menos dos de los restantes símbolos.

Los impactos con valores de importancia inferiores a 25 son irrelevantes. Los impactos moderados presentan una importancia entre 25 y 50. Serán severos cuando la importancia se encuentre entre 50 y 75 y críticos cuando el valor sea superior a 75.

3.6. ANÁLISIS DE DATOS

Los datos obtenidos de la determinación de impactos ambientales y datos de análisis de laboratorio de los elementos contaminados han sido descritos cualitativa y cuantitativamente, los datos producto de observaciones y entrevistas fueron tabulados

en cuadros estadísticos, los cuales sustentan la confirmación o la negación de la hipótesis planteada.

3.6.1. Características socio demográficas y económicas de la población del centro poblado de La Rinconada

El centro poblado La Rinconada, cuenta con un área territorial de 7 km² donde se asienta la población en 15 barrios y una urbanización, los habitantes dependen en su mayoría de la minería artesanal.

El centro poblado se fue formando en la mitad del siglo pasado, atraídos por las expectativas de explotar el oro existente en la zona; en los años 50 se hacen los denuncios para explotar las minas y en los años 80 se realizó una explotación a mayor escala, constituyéndose la primera compañía minera, en cuyo recorrido se suceden diversos figuras administrativas generándose otras empresas mineras, con conflictos de por medio, flujo de emigrantes, conflictos laborales con los obreros mineros, crecimiento desordenado del centro poblado, y sin ofrecer los servicios elementales de agua potable y desagüe, incrementándose el nivel de contaminación por los efectos de la producción de oro, así como la constatación de las condiciones de vida extremas en las familias residentes.

En el año 2000 se instala el servicio de luz eléctrica, y con ello se estimuló más la ya activa vida del centro poblado. En la actualidad se cuenta con servicios de educación públicos y privados, una posta de salud y, un conjunto de instituciones públicas y privadas (juzgado de paz, puesto policial, oficina de RENIEC, asociaciones de mineros, de barrios, y otros).

Como resultado de la dinámica que ha venido adquiriendo el centro poblado en la última década, sustentado en la actividad extractiva del oro, el centro poblado ha tenido un crecimiento fuertemente acelerado, hacinamiento y condiciones críticas de servicios básicos y consiguientemente limitadas condiciones de vida para la población asentada en la localidad.

a. Características sociodemográficas de la población

De acuerdo con los resultados del censo del 2002, el centro poblado La Rinconada cuenta con una población total de 10114 habitantes, comprendiendo la población nominalmente censada (9772 personas) y la no censada en el empadronamiento (342 personas).

Sexo y edad

El 58,01% de la población censada son varones (5669 personas), debido a que las actividades mineras que se desarrollan en el centro poblado requieren un fuerte esfuerzo físico, los cuales generalmente son realizados por varones y consecuentemente han atraído al mencionado centro poblado minero, una fuerte población emigrante del sexo masculino.

La población es relativamente joven, observándose que el 29,38% (2872 personas) son menores de 15 años, mientras que a partir de los 60 años la población existente es del 1,15% (113 personas), debido principalmente a las exigencias de la dura actividad minera y las difíciles condiciones de vida de radicar en un medio geográfico y climático extremadamente riguroso como es La Rinconada.

Lugar de nacimiento/migración

El 96,91% (9470 personas) manifiesta proceder de la región de Puno y solamente el 2,72% de otras regiones. Respecto a las provincias de origen, principalmente, el 31,02% proviene de la provincia de San Antonio de Putina, el 26,66 % de la provincia de Azángaro y el 13,84% de la provincia de San Román.

Nivel educativo

El nivel educativo de la población mayor de 15 años nos muestra que es principalmente de nivel secundario, el que alcanza más de la mitad de la población (55,71%), seguido por una tercera parte de la población con educación primaria (33,35%), es de destacar adicionalmente que un 6,94% de la población cuenta con educación superior, los otros niveles son menores. La población analfabeta es de solo el 5,3%, muy inferior al promedio nacional (12,1%) y regional (21,3%), siendo ello un indicador positivo.

b. Ocupación principal, ingresos mensuales y dificultades laborales

Ocupación principal

La mayoría de las actividades que desarrolla la población de La Rinconada, están relacionadas a la actividad minera. La principal ocupación desarrollada por los varones es obrero o saquero, realizado por 2005 personas (el 35,37% de la población masculina y el 20,52% de la población total), la ocupación principal de las mujeres es *pallaquero*, realizado por 618 mujeres (el 15,06% de la población femenina y el 6,32% de la población total). Otras ocupaciones son: (17,38%) ama de casa (11,34%) y la población económicamente no activa (11,34%), el comercio el 5,09% y otros (conformada por una

diversidad de ocupaciones mayormente vinculados a la actividad extractiva) el 27,01%. Sin embargo, es necesario agregar las proporciones de las ocupaciones contenida en “otros” y que están directamente relacionadas a la actividad extractiva, con lo cual se obtiene una cifra de casi la mitad de la población (47,22%) que sería la proporción representativa de la actividad principal orientada a la minería en La Rinconada.

Ingresos mensuales

El 47,9% de familias tienen un ingreso familiar que está por debajo de los 1000 nuevos soles mensuales, otro 44,4% percibe entre 1000 y 1800 nuevos soles y, solo el 7,7% de las familias tiene ingresos por encima de los 1800 nuevos soles.

Características de la comercialización

Es un centro poblado muy dinámico en términos de comercio y servicios, con varias pequeñas tiendas de abarrotes, boticas, radioemisoras, sastrerías, peluquerías, servicios de reparación, pequeños alojamientos y restaurantes. En la zona céntrica, en la cual se observan algunos establecimientos comerciales de material noble. Han proliferado la venta ambulancia de abarrotes, aparatos eléctricos, confecciones. Asimismo, las cantinas y clubes nocturnos.

c. Servicios básicos

Educación

Las necesidades en servicios de educación en La Rinconada, durante el año 2024, han sido atendidos por 6 centros educativos: Uno de nivel Inicial, dos en Primaria (incluyendo el C.E. 72143) y tres en Secundaria (como el emblemático T.I.M. San Francisco).

Salud

Se cuenta con un puesto de salud denominado “Puesto de Salud Rinconada”, con personal calificado pero que carece de equipamiento para análisis especializados, los pacientes que requieren hospitalización o atención médica especializada deben ser derivados desde esta zona de Puno hacia el hospital más cercano.

Vivienda y servicios básicos

Los materiales predominantes de las paredes de las viviendas son: piedra y barro (50%), y calamina (40%), los otros (madera, adobe, tapial y ladrillo o bloque de cemento) son de menor magnitud mostrando las críticas condiciones de la vivienda en la zona, por otro lado, sólo el 10% de las paredes de las viviendas son de material noble (ladrillos).

Figura 12. Población de la Localidad La Rinconada.



Fuente: Fotografía propia. **Nota:** Esta fotografía nos muestra la construcción de las viviendas de la población en la Localidad de La Rinconada.

Abastecimiento del agua

El acceso a los servicios básicos de agua potable y desagüe es crítico, pues no se dispone de agua potable ni instalaciones de desagüe, y no se avizora soluciones en el corto plazo, por los suelos rocosos y por la falta de recursos de inversión previstos para la zona.

Tipo de alumbrado

Con la instalación de la energía eléctrica en el centro poblado en el año 2000, de acuerdo a los resultados del censo, menos del 30% de hogares cuenta con iluminación eléctrica, mientras que la mayoría (más del 70%) no cuenta con dicho servicio, siendo la dificultad de acceso y los precarios ingresos las posibles limitantes.

a. Situación social y de salud de la familia

Enfermedades

Las diferentes infecciones a las vías respiratorias y de otras similares de las vías respiratorias registraron más de la tercera parte (37,3%) de los casos presentados (esto es de esperarse en un lugar que se encuentra en los 5200 msnm); en segundo lugar es de destacar todas aquellas enfermedades relacionados con traumatismos en diferentes partes del cuerpo, (14,4%) originados indudablemente por las condiciones duras del trabajo (y de humedad permanente en pendiente que origina los accidentes), pero como ésta es una enfermedad que afecta a varones se registra muchos más casos que en las mujeres (17,8 y 10,6% respectivamente; en tercer lugar se presentan las afecciones relacionadas al aparato digestivo e intestinal, que tienen su origen en la calidad del agua y de los alimentos que se consumen, así como el frío que dificulta la digestión, además

de la contaminación del medio, todo lo cual se circunscribe a las precarias condiciones de vida de la población y las limitadas posibilidades que permiten los escasos ingresos que obtiene la mayoría de las familias.

Problemas sociales

En este centro poblado hay serios problemas sociales como alcoholismo, delincuencia, violencia callejera y prostitución de mujeres adolescentes en bares y cantinas. Es relativamente frecuente la desaparición de personas, violaciones y muerte por asaltos y peleas callejeras y en los bares.

Vías de transporte

Existen varias empresas de transportes interprovincial con itinerario diario con minivanes y combis regularmente acondicionados que recorren desde Juliaca hasta La Rinconada, la infraestructura vial no presenta buenas condiciones debido a que la carretera cuenta con rápido deterioro y falta de mantenimiento.

b. Percepciones de la población

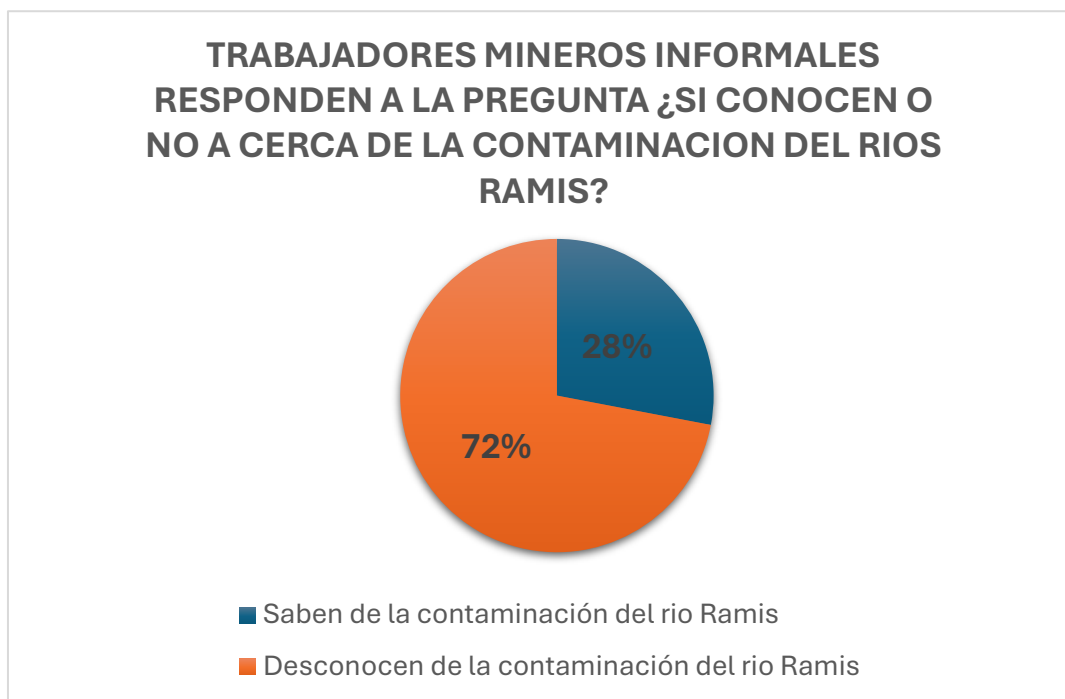
Percepciones sobre problemas ambientales

La mayoría de los jefes de hogar manifiestan tener conocimiento sobre el medio ambiente (71,6%), a la vez que afirma estar consciente de que vivir en un lugar que afecta la salud de toda su familia (87,2%), y, por otro lado, más de la cuarta parte (28%) afirma no tener conocimiento sobre el medio ambiente y, una octava parte (12,2%) no sabe si vivir en el centro poblado afecta a la salud de su familia.

La información obtenida, aunque de carácter muy general, nos indica que los jefes de hogar saben en un 76,8% que están expuestos a los riesgos de los gases en la mina, una proporción similar (76,8%) que se exponen a los riesgos del polvo de mineral, un 70,4% de los jefes afirman que están expuestos al agua y la humedad en sus labores, mientras que sólo el 41,8% manifiesta estar propenso a los riesgos de una precaria ventilación en sus labores de extracción de mineral de oro.

El 85,6% de los jefes de hogar manifestaron que utilizan el mercurio, esto no resulta extraño, porque a pesar de que afecta a la salud, su empleo es generalizado por ser eficaz, sencillo y barato y, no tiene sustitución alternativa de mejores resultados y económicos. Mientras que el 54,1% no utiliza cianuro, ni el 45,7% otros productos, en estas dos opciones el desconocimiento es muy significativo. El 13,3% de jefes afirma realizar el proceso de refogado de amalgama en su domicilio, sin medir las consecuencias de la contaminación del agua que con el discurrir de las aguas fluviales estas aguas contaminadas con mercurio van a parar hacia las quebradas del río Ramis donde existen peces y estas aguas son utilizadas para el riego para la actividad agrícola. De una muestra de 200 trabajadores de la zona de La Rinconada se obtuvo el siguiente resultado, un 72% conocen y dicen que hay contaminación ambiental y un 28% desconoce, este resultado nos indica que a pesar de que muchos son conscientes de la contaminación ambiental no aplican ningún proceso de control ambiental ya que no hay presencia del Estado.

Figura 13. Resultado de la encuesta a la población sobre el conocimiento de la contaminación del río Ramis.



Fuente: Elaboración propia. **Nota:** Esta figura nos muestra el resultado de la encuesta sobre el conocimiento de la contaminación del río Ramis.

3.6.1. Identificación De Los Impactos Ambientales Generados

Se entiende por impacto ambiental el efecto que produce una determinada acción sobre el medio ambiente en sus distintos aspectos. Técnicamente, es la alteración de la naturaleza debido a la acción humana o a eventos naturales. Específicamente nuestro estudio se refiere a los efectos de la contaminación del agua y el deshielo de los glaciares generados por la actividad minera informal artesanal: para el presente trabajo de investigación se ha recolectado datos de estudios técnicos de la empresa formal Corporación Minera Ananea S.A, siendo esta empresa haber contratado los servicios profesionales en la especialidad de biología, economía, sociología e hidrología y el apoyo del staff de ingenieros de la Corporación Minera Ananea S.A., los cuales habrían

aportado en la evaluación cualitativa de los impactos generados por la actividad minera en La Rinconada.

3.6.2. Impactos al ambiente físico

3.6.2.1. Impactos a la topografía

La actividad minera en La Rinconada ha alterado la topografía del lugar debido a las actividades de explotación subterránea, disposición de material estéril extraído de interior mina, disposición de relaves y operación de depósito de relaves.

La extensión de los impactos asociados a las actividades de explotación minera sobre la topografía es puntual y circunscrito al sector donde se encuentran las bocaminas, el depósito de relaves y la infraestructura necesaria para la operación del proyecto: planta concentradora, campamentos, oficinas, etc. Los impactos sobre este componente ambiental son irreversibles en su mayoría debido a que no se retornará a las condiciones iniciales.

3.6.2.2. Impactos al aire

Los impactos estimados de la actividad sobre el aire se pueden resumir en: emisión de polvo como consecuencia del movimiento de tierras, emisión de polvo y gases por transporte de personal e insumos, emisión de gases por generadores eléctricos, emisión de polvo y gases por la explotación, emisión de polvo por operación de planta concentradora, botaderos y depósito de relaves, emisiones fugitivas de la planta concentradora.

El ámbito de los impactos sobre el componente aire es local, circunscrito al sector donde se realiza la explotación y a las inmediaciones del área de operaciones actuales. Estos impactos son reversibles porque mediante un adecuado plan de mitigación podrán ser controlados. Además, a largo plazo se espera el retorno a condiciones de calidad del aire similares a las originales luego de la fase de cierre y rehabilitación.

3.6.2.3. Impactos al suelo

Los impactos de las actividades del proyecto sobre el suelo se pueden resumir en pérdida de suelos por movimiento de tierras y emplazamiento de infraestructura y pérdida de suelos por llenado paulatino de depósito de relaves y ampliación de botaderos. Los impactos se califican como negativos y de relevancias entre bajas y no relevantes, debido a que el lugar no presenta suelos de uso agrícola, ni exclusivos en la región. La extensión de los impactos sobre el suelo es puntual y está circunscrito al sector donde se instalará el depósito de relaves, los botaderos de desmonte, infraestructura necesaria. Los impactos sobre este componente ambiental son irreversibles.

3.6.2.4. Impactos al riesgo natural

Debido a las características morfológicas de la zona, fuertes pendientes de los nevados, existen zonas que presentan inestabilidad física; y, por lo tanto, riesgo latente de desprendimiento de masas de hielo y rocas que podrían ocasionar accidentes fatales y arrasar con las viviendas de los mineros informales ubicados en el cauce del riachuelo Lunar. Las vibraciones producidas por las explosiones, disminución del volumen de hielo en los glaciares de la zona de La Rinconada causado por la actividad minera realizada por las empresas mineras informales.

3.6.2.5. Impactos a las aguas superficiales

Los impactos estimados de la actividad sobre las aguas superficiales se pueden resumir en: descargas fortuitas de la planta de tratamiento de aguas del proceso metalúrgico, del depósito de relaves, efluentes líquidos de la planta de beneficio y el drenaje de aguas ácidas de interior mina, como también la calidad del agua en el afluente del río Ramis se encuentra contaminada, con presencia de mercurio, plomo y arsénico, conforme se ha obtenido en los resultados de laboratorio.

3.6.2.6. Impactos a las aguas subterráneas

Los impactos estimados de la actividad sobre las aguas subterráneas se pueden resumir en: infiltración a través del material estéril de los botaderos al agua subterránea, alteración de la calidad del agua subterránea en la napa freática localizada inmediatamente por debajo del depósito de relaves. El impacto de la operación del depósito de relaves sobre las aguas subterráneas se califica como negativo y de relevancia mediana.

3.6.3. Impactos al ambiente biológico

3.6.3.1. Impactos al ambiente biológico terrestre

Flora y vegetación

Los impactos estimados de la actividad sobre la flora y vegetación están relacionados con la pérdida de cobertura vegetal por emplazamiento de infraestructura. Durante la etapa de operación la intervención en la vegetación y flora se producirá

básicamente como consecuencia de la operación del depósito de relaves, los botaderos de desmonte y el área donde se localizarán las actividades de la minería informal.

Los impactos del proyecto sobre la flora y vegetación durante la etapa de operación se califican como negativos y de relevancia mediana, debido a que, si bien la intensidad del impacto es alta y el área tiene una cobertura vegetal, ésta no es exclusiva del sitio y se halla representada en otros sectores; además no hay presencia de especies protegidas. El ámbito de los impactos sobre la flora y vegetación es puntual, básicamente circunscrito al sector donde se encuentra el depósito de relaves, los botaderos de desmonte, la planta de beneficio y la zona de la infraestructura de servicios. La reversibilidad del impacto sobre la vegetación será parcial en algunas zonas perturbadas como el área de la planta concentradora, pues se evaluará la necesidad de inducir la recolonización de la vegetación en forma natural. El impacto sobre el emplazamiento directo de la vegetación en el área del depósito de relaves es irreversible. Sin embargo, para la etapa de cierre se evaluará la necesidad de inducir el desarrollo de una sucesión ecológica vegetal en la nueva conformación topográfica.

Fauna

Al inicio de las operaciones se realizó un desplazamiento de la fauna presente en el área. Este impacto ha sido calificado de efecto negativo, extensión puntual, magnitud baja, de baja recuperación y de baja significatividad, recordemos que debido a las nevadas y temperaturas bajas son pocos los animales que existen en la zona y existe también muerte de aves como se ha podido observar y tomar fotografías de aves como pelicanos muertos en la zona.

3.6.3.2. Impactos al ambiente biológico acuático

La biota acuática es sensible a los cambios de las condiciones físicas y químicas de su entorno. Las actividades que pueden tener un efecto potencial en el ambiente acuático pueden ser: el ingreso en las corrientes de agua de sólidos en suspensión y disueltos provenientes de los botaderos, drenaje de interior mina, la planta de beneficio y las instalaciones auxiliares; el aumento de los niveles de metales, sólidos en suspensión y otros parámetros en la descarga del depósito de relaves y mayores niveles de nutrientes y otros residuos procedentes de los campamentos y la minería informal.

3.6.4. Impactos al ambiente de interés humano

Las actividades relacionadas al proyecto no afectarán áreas arqueológicas.

3.6.5. Impactos al ambiente socioeconómico

3.6.5.1. Impactos sociales

Usos del territorio

Consideramos como impactos en el uso del territorio a: cambios en el uso de la tierra debido a la pérdida o alteración de suelos, cambios en las formas del terreno y alteraciones a la vegetación existente, cambios en el uso de la tierra debido a los cambios en la cantidad y calidad del agua superficial, lo que puede afectar a la agricultura en las zonas bajas y cambios potenciales en el uso de la tierra debido al mejoramiento del acceso, al incremento de la población y al desarrollo asociado.

Paisaje

Las actividades que ocasionaron impactos sobre el paisaje son: construcción de las instalaciones auxiliares, depósito de relaves, disposición del desmonte y la construcción de vías de acceso y transporte.

Desarrollo local

La población de La Rinconada presenta indicadores de calidad de vida que configuran una situación de limitaciones para alcanzar un desarrollo adecuado. El distrito de Ananea por concepto de canon y regalías mineros ha recepcionado el año 2024 S/. 3 911 038 y 8 millones de soles respectivamente, no se conoce el monto empleado en el centro poblado de La Rinconada y áreas aledañas. Consideramos que el uso de dichos recursos influye en el desarrollo local mediante la construcción de obras de infraestructura.

Percepción de potenciales impactos ambientales negativos

Existe percepción negativa de la población por la afectación de la calidad del aire y la calidad y cantidad del agua superficial y subterránea como consecuencia de la actividad minera. Existe preocupación por la posible contaminación que generaría la manipulación inadecuada de sustancias tóxicas y la deficiente deposición de los residuos de las plantas de amalgamación y cianuración manejados por los mineros informales. La emisión de mercurio a la atmósfera debido a la quema de la amalgama de manera informal es otra preocupación del poblador del centro poblado.

Percepción política

En los últimos años, en la Región Puno, se han producido varias situaciones que han llegado a niveles de confrontaciones entre las empresas mineras informales y las poblaciones locales. La principal fue el enfrentamiento entre los pobladores de las comunidades y poblaciones de la zona intermedia y baja de la cuenca del río Ramis y los mineros informales que vienen trabajando en el yacimiento de San Antonio de Poto, zona cercana La Rinconada.

3.6.5.2. Impactos económicos

Generación de empleo

La actividad minera informal genera una cantidad de puestos de trabajo, tanto calificados como no calificados. La oportunidad de empleo incrementó el ingreso local y el centro poblado de La Rinconada experimenta un crecimiento debido a la llegada de personas en búsqueda de empleo y para los otros sectores de la economía local. También sucede que los parientes de los residentes actuales se muden hacia el área para beneficiarse de la mejora en las condiciones económicas de los residentes locales.

El impacto sobre la socioeconomía se califica como positivo y de magnitud mediana debido a la oferta de trabajo disponible para la población y la consecuente mejora de la calidad de vida.

Dinamización del comercio

Las actividades de la minería informal dinamizaron la economía local, llegando a tener una serie de externalidades positivas como el incremento en los ingresos, la

capitalización de actividades no comerciales, el incremento de las capacidades para articular nuevos mercados, haciendo que se incremente la probabilidad de que el impulso inicial sea sostenible, entre otros. Sin embargo, generó también efectos negativos como el incremento de los precios al consumidor.

Desde el inicio de las actividades de la minería informal se incrementó el nivel de la actividad económica de la Región Puno, especialmente las provincias de la zona norte y en la ciudad de Juliaca debido a la presencia de trabajadores de la zona quienes impulsaron la demanda de bienes y servicios, este impacto es positivo y de magnitud alta.

Actividades de transporte e impactos en las vías de acceso

Durante la fase de operación de la actividad minera informal el incremento en el tránsito de minivanes y combis en la ruta La Rinconada – Juliaca es alto. Este tráfico representa un potencial peligro de accidentes para los pobladores. Los impactos por transporte son negativos, de larga duración (durante la vida de la actividad minera) y de magnitud media.

3.7.9. Evaluación de impactos ambientales con el método de criterios relevantes integrados

En este capítulo se analiza los efectos de contaminación ambiental causados por las empresas mineras informales que operan en la localidad de La Rinconada utilizando los métodos de evaluación de impacto ambiental: Criterios Relevantes Integrados (CRI), la Evaluación Rápida del Impacto Ambiental (RIAM) y el método de Vicente Conesa, la

identificación, valoración y evaluación de impactos ambientales provocados por la actividad minera en La Rinconada, se desarrolló de la siguiente manera:

Identificación de las actividades de la minería informal

En los anteriores, se realizó la identificación y descripción de las actividades mineras metalúrgicas que involucra la investigación, en la siguiente Tabla 23 se detallan estas actividades.

Tabla 23. *Identificación de las actividades de la minería informal*

Explotación minera	A_i
Perforación y voladura	A ₁
Carguío y transporte	A ₂
Disposición de desmonte	A ₃
Drenaje	A ₄
Planta de procesamiento de minerales	
Transporte de mineral mina – planta	A ₅
Circuito de chancado	A ₆
Circuito de molienda y clasificación	A ₇
Circuito de gravimetría y flotación	A ₈
Circuito de amalgamación	A ₉
Circuito de cianuración y adsorción	A ₁₀
Depósito de relaves	
Depósito de relaves	A ₁₁
Tratamiento de aguas del proceso metalúrgico	A ₁₂
Otras actividades	
Abastecimiento de agua	A ₁₃
Infraestructura de servicios	A ₁₄

Vías de acceso	A ₁₅
Minería Artesanal	
Minería artesanal	A ₁₆
Recuperación artesanal de oro	A ₁₇

Identificación de los componentes ambientales de la minería informal

Partiendo de la evaluación del medio ambiente de la zona de influencia directa e indirecta, donde se desarrolla la investigación, En la siguiente tabla se listan estos componentes ambientales.

Tabla 24. Identificación de los componentes ambientales de la minería informal.

Ambiente físico	C_i
Topografía	C ₁
Calidad de aire	C ₂
Ruidos	C ₃
Suelos	C ₄
Calidad de agua superficial	C ₅
Cantidad de agua superficial	C ₆
Calidad de agua subterránea	C ₇
Cantidad de agua subterránea	C ₈
Riesgos naturales	C ₉
Ambiente biológico	
Flora terrestre	C ₁₀
Fauna terrestre	C ₁₁
Flora acuática	C ₁₂
Fauna acuática	C ₁₃
Ambiente socioeconómico	

Social	
Usos del territorio	C ₁₄
Paisaje	C ₁₅
Desarrollo local	C ₁₆
Percepción de potenciales impactos ambientales negativos	C ₁₇
Percepción política	C ₁₈
Económico	C ₁₉
Empleo	C ₂₀
Dinamización del comercio local	C ₂₁
Transporte y vías	
Ambiente de interés humano	
Recursos arqueológicos	C ₂₂

Para el cálculo del valor de índice ambiental (VIA) y caracterización de cada impacto ambiental, se debe ponderar cada uno de los criterios considerados en este método, por actividad y factor ambiental, utilizando las Tablas del método de criterios relevantes integrados.

3.6.6. Evaluación de impactos ambientales con el método RIAM (Evaluación Rápida de Impacto Ambiental)

La identificación, valoración y evaluación de la actividad minera en La Rinconada empleando el método de evaluación rápida de impacto ambiental (RIAM) se realizó mediante los siguientes pasos:

Identificación de los componentes ambientales de la minería informal

El método RIAM, clasifica a los componentes ambientales en 4 categorías ambientales: ambiente físico, ambiente biológico, ambiente social cultural y ambiente económico, la Tabla muestra el ordenamiento de los factores ambientales de la investigación.

Tabla 25. Identificación y clasificación de los componentes ambientales de la minería informal.

Ambiente	Componente	C _i
Físico	Topografía	C ₁
	Calidad de aire	C ₂
	Ruidos	C ₃
	Suelos	C ₄
	Calidad de agua superficial	C ₅
	Cantidad de agua superficial	C ₆
	Calidad de agua subterránea	C ₇
	Cantidad de agua subterránea	C ₈
	Riesgos naturales	C ₉
Biológico	Flora terrestre	C ₁₀
	Fauna terrestre	C ₁₁
	Flora acuática	C ₁₂
	Fauna acuática	C ₁₃
Social cultural	Usos del territorio	C ₁₄
	Paisaje	C ₁₅
	Desarrollo local	C ₁₆
	Percepción de potenciales impactos ambientales negativos	C ₁₇
	Percepción política	C ₁₈
Económico	Empleo	C ₁₉
	Dinamización del comercio local	C ₂₀
	Transporte y vías	C ₂₁

Calificación y valoración de los impactos ambientales de la minería informal

La evaluación de impactos se realizó mediante el cálculo del puntaje ambiental es “enviro mental score”, para la ponderación de los criterios considerados en ese método se usó las Tablas del método de Evaluación Rápida de impacto ambiental (RIAM).

3.6.7. Evaluación de impactos ambientales con el método de Vicente Conesa

La identificación, valoración y evaluación de los impactos ambientales generados por el desarrollo de La actividad minera informal en la localidad de La Rinconada se realizaron en las siguientes etapas:

Identificación de los factores ambientales de la investigación

De acuerdo con la metodología descrita, se propone una estructura jerárquica tipo árbol para la representación del medio ambiente:

- Sistema ambiental,
 - Subsistema
 - ❖ Componente general y
 - ✓ Componente específico.

Asignándole una medida de su importancia relativa en unidades de importancia ponderada (UIP) a cada componente ambiental. Para facilitar esta tarea, se iniciará este proceso asignando 1000 UIP al nodo superior del árbol y después se definirán los pesos de los nodos inferiores como un porcentaje del peso del nodo inmediato superior, tomando en cuenta la fragilidad del componente ambiental, su valor de conservación o

mérito, sensibilidad a los impactos, tamaño o dimensión de las variables, su importancia relativa y el ámbito de referencia o zona de influencia que se considere.

El sistema ambiental es el medio ambiente en el que se desarrollará la minería informal, representa el 100 % de las UIP, éste a su vez, se ha dividido en subsistemas o medios.

Tabla 26. Componentes ambientales de minería informal.

SISTEMA	SUBSISTEMA	COMPONENTE GENERAL	COMPONENTE ESPECÍFICO		UIP
MEDIO FÍSICO	MEDIO INERTE	Aire	Calidad de aire	C ₂	50
			Ruidos	C ₃	25
		Tierra y suelo	Topografía	C ₁	50
			Suelos	C ₄	50
		Agua	Calidad de agua superficial	C ₅	50
			Cantidad de agua superficial	C ₆	50
			Calidad de agua subterránea	C ₇	25
			Cantidad de agua subterránea	C ₈	25
		Procesos	Riesgos naturales	C ₉	25
		TOTAL, MEDIO INERTE			
	MEDIO BIÓTICO	Ecosistemas terrestres	Flora terrestre	C ₁₀	50
			Fauna terrestre	C ₁₁	50
		Ecosistemas acuáticos	Flora acuática	C ₁₂	50
			Fauna acuática	C ₁₃	50
		TOTAL, MEDIO BIÓTICO			
	MEDIO PORCENTUAL	Paisaje intrínseco	Paisaje	C ₁₅	50
		TOTAL, MEDIO PORCENTUAL			
	TOTAL, MEDIO FÍSICO				
MEDIO, SOCIO ECONÓMICO Y CULTURAL	MEDIO RURAL	Productivo	Usos del territorio	C ₁₄	50
		Viario rural	Transporte y vías	C ₂₁	50
		TOTAL, MEDIO RURAL			
	MEDIO SOCIO CULTURAL	Servicios colectivos	Desarrollo local	C ₁₆	50
		Aspectos humanos	Percepción de potenciales impactos negativos	C ₁₇	25
			Percepción política	C ₁₈	25
		TOTAL, MEDIO SOCIAL CULTURAL			
	MEDIO ECONÓMICO	Economía	Empleo	C ₁₉	75
			Dinamización del comercio local	C ₂₀	125
		TOTAL, MEDIO ECONÓMICO			
	TOTAL, MEDIO SOCIOECONÓMICO Y CULTURAL				
TOTAL, MEDIO AMBIENTE AFECTADO					1000

Calificación y valoración de los impactos ambientales de la minería informal

En la matriz de impactos se han identificado las actividades que pueden causar impacto sobre uno o varios componentes ambientales, a cada interacción actividad-componente se le determinará su importancia de acuerdo con la metodología desarrollada en el apartado del método de Vicente Conesa.

3.6.8. Información espacial

La escala temporal de la tesis abarca un periodo de 38 años, desde 1985 hasta el 2022. Aunque no se realizó el mapeo de la cobertura glaciar de los años 2002 y 2012, debido a la no disponibilidad de imágenes satelitales. A pesar de ello, se interpolaron los valores de estos años con valores anteriores para mantener la serie temporal continua. Se eligió 1985 como periodo inicial, debido a la disponibilidad de imágenes satelitales, ya que en marzo de 1984 se lanza el satélite Landsat 5 con los sensores Multiespectral Scanner System (MSS) y Thematic Mapper (TM), quedando fuera de servicio en 2013 (USGS, 2021b).

Para completar el periodo de estudio 2013 - 2018 se decidió usar las imágenes del satélite Landsat 8, el cual fue lanzado el 2013 con el sensor Operational Land Imager (OLI) (USGS, 2021b). Finalmente, para completar el periodo 2019 - 2022, se decidió usar las imágenes del satélite Sentinel-2, debido a que presenta una mejor resolución espacial en comparación a Landsat (ESA, 2021).

Tabla 27. Características de las imágenes Landsat 5 TM, 8 OLI (Colección) y Sentinel-2.

	Resolución espectral	Resolución espacial (m)	Resolución temporal	Resolución radiométrica	Calidad
--	-------------------------	----------------------------	------------------------	----------------------------	---------

Landsat 5 TM	7	Bandas 1- 5 y 7	30	16 días	8 bits	Tier 1, SR
		Bandas 6	120			
Landsat 8 OLI	11	Bandas 1- 7 y 9	30	16 días	16 bits	
		Banda 8	15			
		Bandas 10 y 11	100			
Sentinel 2 MSI	13	Bandas 2- 4 y 8	10	5 días	12 bits	Nivel 2-A
		Bandas 5- 7, 8a y 11 y 12	20			
		Bandas 1, 9 y 10	60			

Fuente: Elaboración propia con base en ESA (2021) y USGS (2021a).

Las imágenes satelitales para el periodo de estudio se encuentran alojadas dentro del Earth Engine Data Catalog (<https://developers.google.com/earth-engine/datasets>). Se accedió a estos Datasets desde el Earth Engine Code Editor (<https://code.earthengine.google.com/>). Se optó por utilizar esta plataforma debido a que facilita el trabajo con grandes cantidades de datos, además de realizar todo el procesamiento en la nube. Para el periodo 1985 – 2018 se optó por usar la Colección 2 de Landsat Tier 1, la cual incluye la corrección radiométrica Bottom of Atmosphere (BOA) de reflectancia superficial (SR), y de la temperatura superficial (TR) (USGS, 2021a). En términos sencillos, BOA es la corrección atmosférica de los efectos de dispersión y absorción ocasionados por las partículas atmosféricas. Otra mejora que se realizó en esta colección fue la mejora en la precisión geométrica por medio del restablecimiento de los puntos de control terrestre. Para el periodo de estudio 2019 – 2022, se decidió usar la Colección Harmonized de Sentinel-2 MSI, con corrección Nivel-2A.

Para la elección de las imágenes se tomó en cuenta el periodo de captura, siendo las más idóneas las imágenes capturadas durante la temporada seca en invierno austral (mayo a setiembre), aunque hubo años en los que se eligió otros meses debido a que las imágenes de mayo a septiembre contenían nieve fresca o un porcentaje alto de nubosidad. Ello a causa de que es más probable que las imágenes en este periodo se encuentren sin la presencia de nieve estacional, la cual puede llevar a clasificaciones erróneas sobreestimando la superficie glaciar. De este modo se puede realizar una delimitación de la superficie glaciar más próxima a la real.

Para la obtención de información topográfica se decidió utilizar el Modelo Digital de Elevación (DEM, por sus siglas en inglés) NASADEM el cual es la versión más reciente y el nuevo producto de elevación estándar de la NASA. Este producto también se encuentra disponible en el catálogo de datos de GEE. El NASADEM se basa en la Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), corregido con datos de otros productos como las mediciones de elevación de superficie del satélite de elevación de hielo, nubes y tierra (ICESat), puntos de control del altímetro láser de geociencia (GLAS) de la NASA, productos estereoscópicos del ASTER GDEM. El NASADEM tiene una resolución espacial de 30 metros y cubre la superficie terrestre entre 60°N y 56°S de latitud, que representa alrededor del 80 % de la superficie terrestre total.

3.6.9. Cambio anual de la cobertura glaciar

Para la delimitación de la superficie glaciar se utilizó el método NDSI, el cual permite hacer una discriminación espectral de la nieve y hielo de otros tipos de cobertura. Para ello, se utiliza las bandas de infrarrojo de onda corta (SWIR) y la banda verde. Esto se debe a que la reflectancia de la nieve/hielo es alta en la banda verde y baja en la

banda SWIR. La alta reflectancia de la nieve/hielo en el espectro visible se debe a las múltiples refracciones de la luz que incide sobre estas coberturas. Mientras que la absorción es muy alta en la banda SWIR, lo que genera que la reflectancia sea baja en esta banda. Esta metodología ha demostrado ser robusta para la delimitación de glaciares libres de escombros y utiliza las bandas visible e infrarrojo de onda corta (SWIR). La fórmula del NDSI es la siguiente:

$$\text{NDSI} = \frac{(\text{Banda}_{\text{visible}} - \text{Banda}_{\text{infrarrojo}})}{(\text{Banda}_{\text{visible}} + \text{Banda}_{\text{infrarrojo}})}$$

Debido a que el Landsat 5 no tiene la banda SWIR, esta se reemplazó con la banda de infrarrojo cercano (NIR). Las fórmulas para las diferentes imágenes se detallan en la Tabla 28.

Tabla 28. Bandas usadas en el NDSI de acuerdo con los satélites.

Satélite	Bandas	Fórmula
Landsat 5	GREEN (Banda 2) y NIR (Banda 5)	$\text{NDSI} = \frac{(\text{Banda2} - \text{Banda5})}{(\text{Banda2} + \text{Banda5})}$
Landsat 8	GREEN (Banda 3) y SWIR (Banda 6)	$\text{NDSI} = \frac{(\text{Banda3} - \text{Banda6})}{(\text{Banda3} + \text{Banda6})}$
Sentinel-2	GREEN (Banda 3) y SWIR (Banda 11)	$\text{NDSI} = \frac{(\text{Banda3} - \text{Banda11})}{(\text{Banda3} + \text{Banda11})}$

Fuente: Elaboración propia con base en Silverio & Jaquet (2005) y Veetil et al. (2018).

A pesar de mostrar resultados robustos, este método tiene limitaciones que deben ser corregidas. La delimitación de la superficie glaciar en zonas de alta montaña es desafiante, debido a las pendientes pronunciadas y las sombras existentes. A pesar de

ello, Silverio & Jaquet (2005) encontraron que los valores del NDSI son similares para zonas expuestas al sol y también para las zonas que se encuentran en sombra, por lo que esta metodología es robusta para delimitar la superficie glaciar.

Asimismo, la delimitación se puede dificultar debido a que la reflectancia de la nieve y hielo puede variar en función de la cantidad de impurezas y la película de agua sobre la superficie de los glaciares. Por ello, se recomienda usar umbrales bajos, para de este modo incluir la mayor parte del hielo glaciar que podría estar cubierto por partículas de polvo u otras (Paul et al., 2013). Por ejemplo, Drenkhan et al. (2018) utilizaron umbrales de NDSI en la cuenca Vilcanota-Urubamba entre 0.30 – 0.41 para imágenes Landsat 5 TM y 0.65 – 0.80 para imágenes Sentinel-2 MSI. Por su parte, (Veettil et al., 2017, 2018) utilizaron imágenes Landsat 5 TM con umbrales de NDSI de 0.5 – 0.6 en la Cordillera Apolobamba. Del mismo modo, Veettil & Simões (2019) utilizaron umbrales entre 0.45 – 0.55 para la misma región.

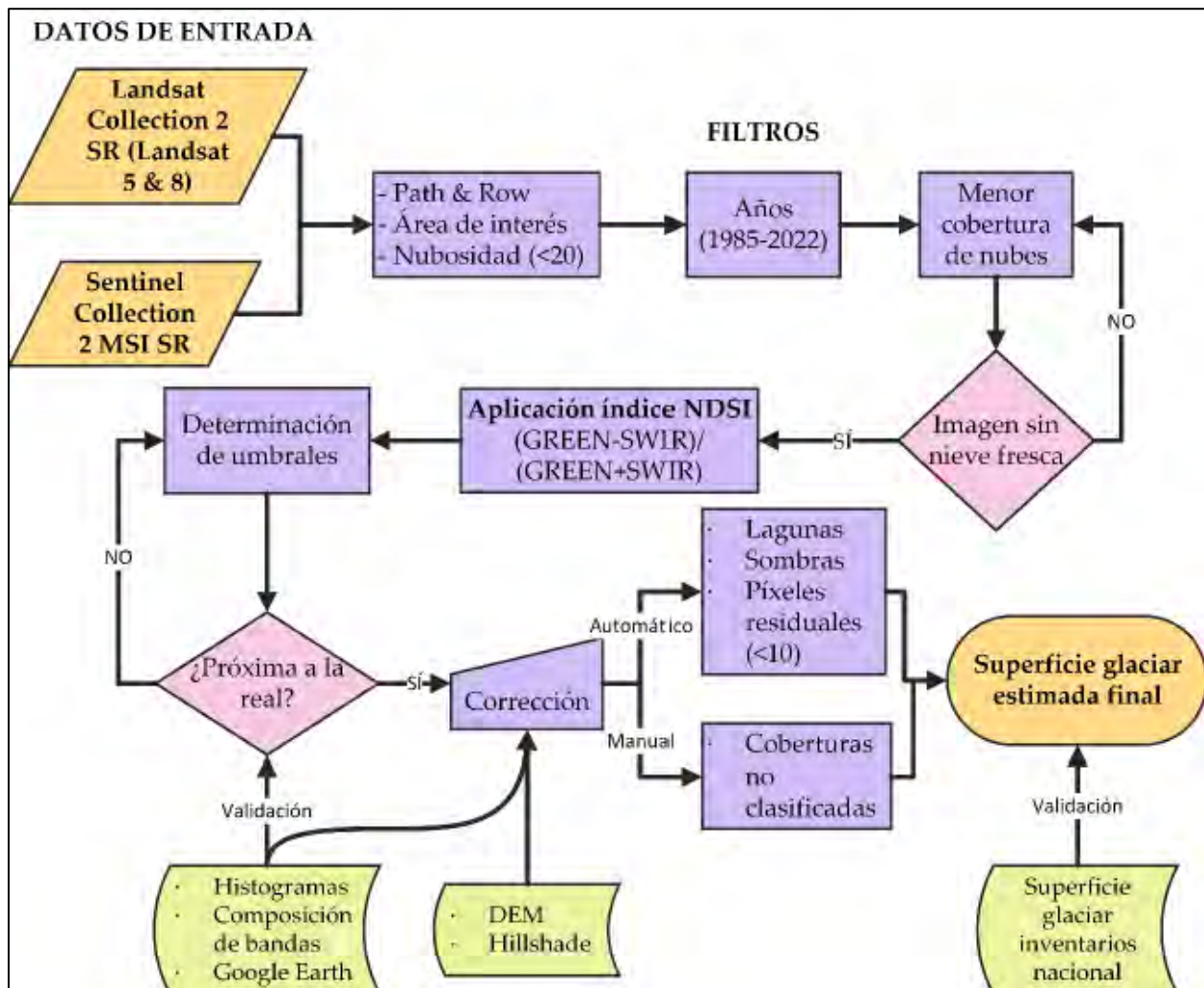
La selección del umbral es un reto, debido a que, si el umbral es pequeño, existe la posibilidad de clasificar lagunas congeladas u otros tipos de coberturas como glaciares. Por el contrario, si se establece un umbral alto, existe la posibilidad de subestimar los límites del glaciar y dejar fuera algunas zonas cubiertas por partículas finas (Veettil, 2018). Para disminuir estos errores de esta clasificación semiautomática y fortalecer el método, es necesario la edición manual, de modo que se puedan fusionar o descartar áreas residuales, eliminar áreas clasificaciones erróneas como nubes o cuerpos de agua y agregar glaciares cubiertos por escombros, que pudieron no haber sido identificados (Drenkhan et al., 2018). Para ello, es necesario utilizar fuentes de

validación, como el inventario de glaciares, el cual fue elaborado por el INAIGEM en 2018 y 2020.

3.6.10. Procedimiento para el cálculo del NDSI en GEE

El flujo metodológico para el cálculo del NDSI se resume en la Figura 14. El primer paso fue seleccionar las colecciones de imágenes Landsat 5 & 8 SR y Sentinel-2 Colección 2. Luego de ello se aplicó el filtro Path & Row, para obtener solo las imágenes que componían el área de estudio. Luego de ello se aplicó el filtro “Bounds” para recortar las imágenes al área de estudio. Como siguiente paso se aplicó un primer filtro de nubosidad (<20 %) a las colecciones, para de este modo obtener imágenes sin ruido de nubes que alteren la clasificación. Seguidamente, se aplicó el filtro “Date” para obtener las imágenes entre 1985 y 2022. Seguido a ello se aplicó el filtro para elegir automáticamente la imagen con menos nubosidad, y se procedió a la visualización de cada imagen para asegurar que contaran con la calidad necesaria. En caso de que la imagen seleccionada tuviera un porcentaje alto de nubes o la presencia de nieve fresca, se procedió a seleccionar la imagen de forma manual.

Figura 14. Diagrama de flujo para el cálculo de NDSI en GEE



Fuente: Lopez Tineo, Joseth (2023).

Después de tener la selección final de las imágenes se prosiguió con la creación de la función para el cálculo del NDSI, que luego fue aplicado a cada una de las imágenes. Seguidamente se aplicó los umbrales para cada año, para ello se probaron varios umbrales y se consideró la distribución de píxeles en un histograma, una composición de bandas y la visualización de imágenes en Google Earth (para los años disponibles).

Luego de tener esta primera clasificación se continuo con las correcciones semiautomáticas. El primer paso consistió en detectaron sombras que pudieran haber dejado áreas sin clasificación. Para ello se utilizó un “hillshade” con los valores de ángulo solar y azimut de cada imagen. Con ello se pudo visualizar que había parte extensas que no fueron clasificadas debido a las sombras. Teniendo en cuenta ello, se hizo máscaras de sombras de manera manual, para luego agregar estas áreas a la clasificación.

La siguiente máscara aplicada fue para eliminar lagunas, sobre todo a las imágenes de Sentinel 2, ya que la clasificación con el NDSI no distinguió entre glaciares y lagunas. Para ello se utilizó el Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI, por sus siglas en inglés), que mostró una óptima diferenciación entre glaciares y lagunas. Para el caso de las imágenes de Landsat 5, había zonas de aguas degradadas que se clasificaron como glaciar, se intentó aplicar el índice NDWI, sin embargo, no funcionó debido a que no discriminaba estas aguas contaminadas y los glaciares de manera correcta. Por esta razón, se decidió realizar una máscara manual para eliminar estos cuerpos de agua. Luego de ello se aplicó una máscara buffer para eliminar nieve residual, para ello se utilizó la clasificación glaciar del año 1985 con un buffer de 200 metros.

Seguido de ello, se convirtió el archivo ráster de la clasificación a shapefile para poder agregar un campo de “Área” (ha) y poder filtrar píxeles residuales de manera automática. Para ello, se utilizó un umbral de 10 píxeles en las imágenes Landsat 5 & 8 y un umbral de 0.9 ha en las imágenes Sentinel 2. Finalmente se exportaron los resultados para la corrección manual en caso ser necesario y calcular los parámetros establecidos.

3.6.11. Datos para las muestras de entrenamiento y validación

En condiciones idóneas, las áreas de entrenamiento y validación deberían ser recogidas en campo. Sin embargo, debido a la poca accesibilidad del área de estudio de esta investigación y los costos que representa, se decidió optar por otros mecanismos. Todas las áreas de entrenamiento y validación se recogieron mediante la interpretación visual de imágenes Landsat 5 & 8 y Sentinel 2 y también imágenes disponibles en Google Earth Pro. Este tipo de metodología ha sido ampliamente aplicada en investigaciones anteriores. En la mayoría de los casos el tamaño de las muestras está limitado por la disponibilidad de recursos para la recogida de datos. Una fórmula utilizada para saber el tamaño de la muestra es la siguiente:

$$n = \frac{z^2 p(1 - p)}{d^2}$$

Donde:

n es el número de muestras por clase,

z = 1.645 o 1.96 para un intervalo de confianza de 90 y 95 % respectivamente. La puntuación z es una métrica estadística que determina cuántas desviaciones estándar se encuentra un valor con respecto a la media (Riley, 2017).

d es la semiamplitud deseada del intervalo de confianza

p representa la exactitud global prevista en caso de muestreo aleatorio simple.

La elección del valor de “d” varía de acuerdo con la importancia que se le asigna a cada clase. De este modo, una clase prioritaria podría tener un “d” más bajo, es decir un intervalo más estrecho para dicha clase, mientras que una clase menos importante

podría tener un “ d ” más alto. De acuerdo con Stehman & Foody (2019), en la fase de planificación no se conoce la exactitud global, por lo que el valor de “ p ” se elige de manera discrecional. Para los fines de esta investigación, se decidió tomar $z = 1.96$, que es una medida estándar en estadística que indica que el 95 % de los valores sitúan dentro de un rango de ± 1.96 en la puntuación z , es decir, estos valores están a no más de dos desviaciones estándar del valor medio (ESRI, 2021). Asimismo, un valor $p = 0.8$, ya que se prevé tener una exactitud global por encima del 80 %.

Para esta investigación se decidió dividir la cobertura del suelo en siete clases, tomando como base las clases existentes en el mapa de cobertura del suelo (MINAM, 2015). Los resultados del tamaño de la muestra por clase se describen a continuación.

Tabla 29. Tamaño de muestras por clase.

Clase	Urbano	Suelo desnudo	Glaciar	Laguna	Humedal	Pajonal	Área degradada
d	0.04	0.045	0.45	0.045	0.05	0.05	0.04
n	384.16	303.54	303.54	303.54	245.86	245.86	384.16

Fuente: Elaboración propia.

d = semiamplitud del intervalo de confianza. n = número de muestras por clase.

Se debe aclarar que solo las seis primeras clases están incluidas en el mapa de cobertura de suelo del MINAM (2015). La clase “área degradada” es una clase propuesta para esta investigación. Esta clase incluye a los depósitos de material residual proveniente de las galerías mineras, las zonas de explotación minera a cielo abierto y los relaves mineros.

Como se observa en la Tabla 29 se dio prioridad a las clases “urbano” y “área degradada” debido a que lo que buscamos es mostrar el cambio de cobertura no natural ligado a minería en la zona colindante a La Rinconada. Del total de áreas de entrenamiento recogidas, el 80 % fueron destinadas como datos de entrenamiento para la ejecución del algoritmo y el 20 % restante fueron utilizados como datos de validación. Se realizó esta división tomando en consideración estudios como Cao et al. (2020) y Piao et al. (2021), los cuales consideraron dicha proporción adecuada para evaluar los modelos de clasificación.

a) Evaluación de exactitud

Para esta investigación se utiliza una estrategia de validación aplicada en tres pasos. El primer paso de validación es la inspección visual con el fin de comparar el resultado con imágenes de alta resolución y composiciones de bandas, de este modo se busca identificar errores de clasificación. El segundo paso de validación es por medio de una matriz de confusión, que incluye la exactitud global (OA), exactitud del usuario (UA), exactitud del productor (PA) y coeficientes kappa (K).

Matriz de confusión

La matriz de confusión permite visualizar las predicciones correctas e incorrectas de cada clase de una clasificación utilizando datos referenciales, de modo que permite detectar la confusión entre píxeles o áreas erróneamente clasificadas. La matriz de confusión tiene como salida cuatro posibles resultados, los verdaderos positivos (VP), correspondientes al recuento de valores positivos que fueron clasificados correctamente. Los verdaderos negativos (VN) son el recuento de las predicciones negativas

verdaderas. Los falsos positivos (FP) son las predicciones clasificadas como positivos, pero que en realidad son negativos, es decir, pertenecen a otra clase. Los falsos negativos (FN) son las predicciones clasificadas como negativos, pero que en realidad son positivos, es decir, el modelo predijo que no pertenecían a una clase, cuando en realidad sí pertenecían.

Exactitud global (OA)

La exactitud global indica qué proporción de los datos de referencia se clasificaron correctamente. Para calcular la exactitud global se suma las predicciones clasificadas correctamente y se dividen entre el total predicciones, es decir:

$$OA = \frac{VP + VN}{VP + VN + FP + FN}$$

Figura 15. Matriz de confusión.

		Data de referencia	
		Positivo	Negativo
Data predicha	Positivo	VP	FP
	Negativo	FN	VN

Fuente: Tiwari (2022).

Exactitud del usuario (UA)

La exactitud del usuario es la métrica de exactitud que considera el punto de vista del usuario del mapa. La UA indica los sitios correctamente clasificados divididos entre el número total de sitios clasificados. La UA se calcula dividiendo el total de clasificaciones correctas de la clase *i* entre el total de las clasificaciones, el cálculo sería:

$$UA = \frac{VP}{VP + FP}$$

Exactitud del productor (PA)

La exactitud del productor es la exactitud del mapa considerando en punto de vista del creador del mapa. La PA indica los sitios de referencia correctamente clasificados divididos entre el total de sitios de referencia. La PA se calcula dividiendo el número de píxeles de referencia de una clase clasificados correctamente entre el total de píxeles de referencia de esa clase (Humboldt State University, 2019). el cálculo sería:

$$PA = \frac{VP}{VP + FN}$$

Coeficiente Kappa (K)

El coeficiente Kappa mide el rendimiento de la clasificación en comparación a una asignación aleatoria de los valores, es decir, mide si la concordancia de la clasificación es mejor que una concordancia al azar. El coeficiente K puede oscilar entre -1 y 1, un valor cercano a 0 indica que la clasificación no es mejor ni peor que la asignación aleatoria. Un valor negativo indica que la clasificación es peor en comparación a una asignación aleatoria. Un valor cercano a 1 indica que la clasificación es mejor en comparación a la asignación aleatoria.

b) Importancia de variables

Luego de entrenar el modelo de Random Forest, se puede conocer cuáles son las variables que tienen mayor importancia en la clasificación. Este paso es necesario debido a que sabiendo cuáles son las variables más importantes se puede refinar el modelo, de modo que el modelo sea más eficiente. Para extraer las variables con mayor importancia

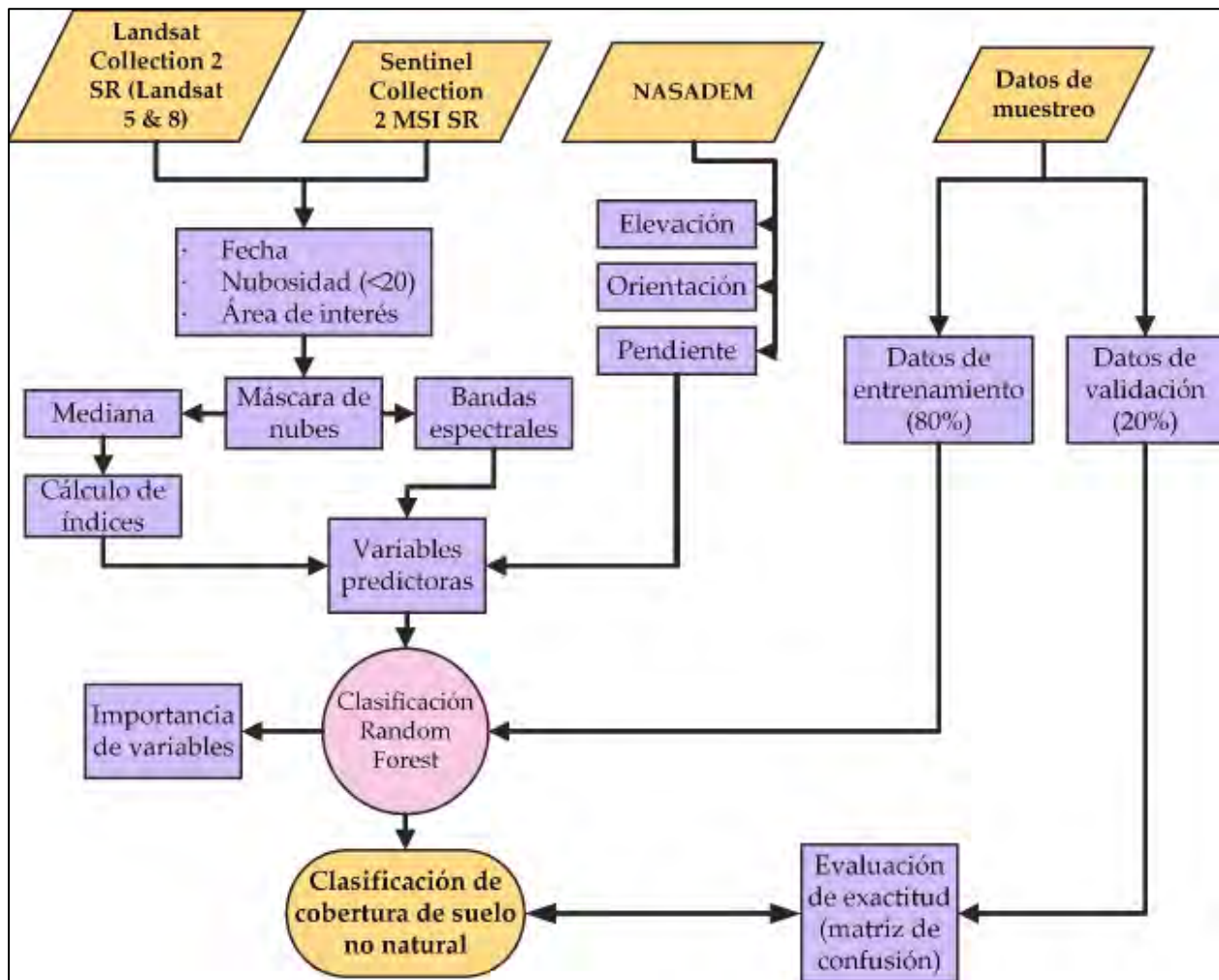
de los modelos se estableció un umbral de posición de relevancia de diez. Es decir, las variables que no superen este umbral son considerados como menos importantes, por lo tanto, son separadas.

c) **Procedimiento**

Teniendo en cuenta la teoría detrás de RF y los datos de entrada definidos, se continuó con el procesamiento de datos. El primer paso fue seleccionar los años de estudio, para este caso se eligieron los años 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015, 2020 y 2022. Ello se realizó en el fin de tener un análisis temporal detallado. Se aplicaron filtros básicos como “Date”, “Cloud” y “Bounds” para tener imágenes de calidad. En los años en las que hubiera varias imágenes disponibles se aplicó el reductor “Median”, para de este modo tener una imagen compuesta de calidad y se aplicó una máscara de nubes a la colección. Sin embargo, eso solo fue posible aplicar a los años 1995, 2010 y 2022, debido a que para los demás años muchas de las imágenes contenían nubosidad en exceso que cubría el área de estudio.

Una vez teniendo las imágenes finales para cada año, se agregaron las variables topográficas elevación, orientación y pendientes provenientes del NASADEM. Luego de ello se continuó con el cálculo de los índices de bandas. Teniendo todas las variables en el modelo se prosiguió a juntarlas en una sola capa, para que cumplan el rol de variables predictoras del modelo.

Figura 16. Diagrama de flujo para el cálculo de la cobertura de suelo



Fuente: Lopez Tineo, Joseth (2023).

Luego de ello se mezclaron las clases de las muestras y se dividieron 80 % como datos de entrenamiento del modelo y el 20 % restante como datos de validación. Teniendo todos los datos de entrada del modelo se prosiguió a ejecutarlo. Luego de obtener la clasificación se continuó con la visualización de las variables, para de este modo, conocer la importancia de cada una de ellas para el modelo. Para extraer las variables más importantes se utilizó un gráfico de burbujas que permitió comparar la posición de importancia de las variables de dos modelos (por ejemplo, los modelos de 1985 y 1990). Para ello, se ordenó las variables de acuerdo con su posición de

importancia y el tamaño de cada burbuja se calculó elevando al cuadrado la posición media de ambos modelos.

Seguido a ello se ejecutó nuevamente el modelo con los datos de validación para conocer la exactitud de las clasificaciones realizadas. Finalmente, se extrajo la matriz de confusión para analizar los datos de la clasificación y calcular las métricas de exactitud mencionadas anteriormente.

3.6.12. Obtención de parámetros

La obtención de parámetros se realizó con el fin de cuantificar los cambios en la superficie glaciar y en la cobertura no natural en el periodo de estudio. Los parámetros calculados para la evolución de la cobertura glaciar fueron el área (km^2), la tasa de retroceso (%) y la altitud (m.s.n.m.). Los parámetros calculados para el cambio de cobertura no natural fueron el área (km^2) y la altitud (m.s.n.m.).

El área glaciar y de cobertura no natural son los resultados principales del modelo con el índice NDSI y con Random Forest. Para hallar el área se convirtió ambos resultados de formato ráster a vector, de este modo se creó un nuevo campo en sus propiedades para de este modo hallar el área que representa la cobertura glaciar y no-natural. Este parámetro es importante debido a que se pueden realizar correlaciones entre el retroceso glaciar y el aumento de la cobertura no-natural, de manera que se puedan establecer las correlaciones con el impacto minero.

La tasa de retroceso glaciar se obtuvo comparando los cambios en el área de la superficie glaciar durante el periodo de estudio. Este parámetro es importante debido a

que se pueden encontrar periodos en los que el retroceso glaciar se experimentó a una mayor velocidad, logrando coincidir con los periodos de expansión minera.

La altitud (m.s.n.m.) se obtuvo uniendo la capa vectorial de superficie glaciar y el cambio de cobertura no natural con el NASADEM. Esto mismo se aplica a la cobertura no natural, para identificar si la actividad minera ha escalado altitudinalmente, acelerando el retroceso glaciar. Con este parámetro se buscó identificar la evolución de línea límite de la cobertura glaciar y no natural, que podría ser uno de los indicadores más visibles del impacto minero sobre el glaciar Rinconada.

Se eligió el glaciar Rinconada que está expuesto directamente a la actividad minera. Por lo que obtener estos parámetros de área y retroceso altitudinal es importante para hipotetizar la posible relación entre minería y aceleración del retroceso glaciar.

3.6.13. Evaluación de implicancias

Una vez teniendo la cuantificación de los parámetros de cobertura glaciar y cobertura no-natural se prosiguió a realizar ensayos estadísticos de correlación entre estas variables y los indicadores socioeconómicos elegidos. Estos ensayos se realizaron mediante el coeficiente de correlación de Pearson. Este coeficiente mide el grado de asociación lineal de al menos dos variables cuantitativas de distribución normal. La fórmula del coeficiente de correlación de Pearson es:

$$r_{xy} = \frac{cov(x,y)}{\sigma_x \cdot \sigma_y}$$

Donde:

- $\text{cov}(X, Y)$ es la covarianza entre X and Y
- $\sigma_x \cdot \sigma_y$ es la desviación estándar de X y la desviación estándar de Y (Profillidis & Botzoris, 2019).

El coeficiente de correlación de Pearson se representa con una “r” y puede situarse entre +1 y -1. Si el valor es cercano a +1, esto indica que hay una relación fuerte positiva, y si el valor es cercano a -1, indica que hay una relación fuerte en direcciones opuestas entre las variables. Si el valor es cercano a ± 1 esto indica una mayor fuerza de asociación entre las variables. Si el resultado es 0, significa que las variables no están relacionadas linealmente, lo que indica que el comportamiento de las variables no se relaciona.

No obstante, es necesario señalar que una correlación entre dos variables no necesariamente implica causalidad. Es decir, el cambio en una variable no necesariamente provoca el cambio en la otra variable. Las variables que presentan una correlación fuerte pueden estar influenciadas por diversas circunstancias o, incluso, es posible que su relación sea completamente al azar.

3.6.14. Cambio anual de la cobertura glaciar (1985 – 2022)

En este capítulo se describen los resultados obtenidos en esta investigación. Para una mejor comprensión, los resultados están divididos en tres secciones. En la primera parte se describen los resultados del cambio anual de cobertura glaciar (1985 – 2022). En la segunda parte se describen los resultados obtenidos del cambio multitemporal de cobertura no-natural, enfatizando cambios desencadenados por la actividad minera en

La Rinconada y zonas colindantes. Finalmente, en la tercera parte se describen los resultados obtenidos de las correlaciones estadísticas entre los cambios anuales de cobertura glaciar, cambios de la cobertura de no-natural y los indicadores socioeconómicos.

3.6.14.1. Cambios en la cobertura glaciar en la Cordillera Apolobamba

Durante el periodo de estudio los glaciares en la Cordillera Apolobamba mostraron una tendencia de retroceso casi continuo, aunque hubo años en los cuales la superficie glaciar mostró un ligero aumento. Entre 1985 y 2022 la cobertura glaciar de la Cordillera Apolobamba se redujo alrededor del 43 % (161.4 km² a 92.1 km²) con una tasa anual media de 1.1 %. Los cambios anuales en la cobertura glaciar se resumen en la Tabla 30.

Durante los años 1988 y 2001 se observa un aumento significativo de la cobertura glaciar, a pesar de que la tendencia general a largo plazo es a retroceso. Esto se debe a que las imágenes de ambos años presentaban nieve fresca que no se pudo eliminar, debido a que no se logró distinguir los límites entre los glaciares y zonas cubiertas por nieve fresca. Ello se puede afirmar con certeza, debido que, al comparar con el año posterior, la cobertura glaciar mostró una reducción fuerte, -20.3 % entre 1989 – 1990, y -17.5 % entre 2001 – 2003. Este aumento atípico en la cobertura glaciar de los años 1988 y 2001 podría estar relacionado con la ocurrencia de fenómenos climáticos, como La Niña.

No se realizó el mapeo de la cobertura glaciar de los años 2002 y 2012 debido a que no existen imágenes con la calidad requerida. Por esta razón, la cobertura glaciar

de estos años se calculó interpolando el valor con datos de cobertura glaciar de años anteriores, 1985 – 2001 y 2003 – 2011 para los años 2002 y 2012 respectivamente.

Tabla 30. Cambios anuales en la cobertura glaciar de la Cordillera Apolobamba (1985 – 2022).

Año	Área (km²)	Cambio (%)	Año	Área (km²)	Cambio (%)
1985	161.4	-	2005	105.0	-5.7
1986	166.9	3.4	2006	111.3	6.1
1987	159.0	-4.7	2007	109.6	-1.5
1988	142.3	-10.5	2008	104.5	-4.7
1989	161.9	13.8	2009	99.6	-4.8
1990	141.6	-12.5	2010	92.8	-6.8
1991	133.9	-5.5	2011	101.8	9.7
1992	133.8	0	2012 ^b	95.0	-6.8
1993	137.6	2.9	2013	95.9	1.0
1994	133.0	-3.4	2014	99.2	3.4
1995	134.5	1.1	2015	97.7	-1.5
1996	120.8	-10.2	2016	86.2	-11.7
1997	123.6	2.4	2017	88.2	2.3
1998	117.3	-5.1	2018	94.0	6.5
1999	122.1	4.1	2019	93.9	-0.1
2000	122.8	0.5	2020	90.2	-3.9
2001	133.5	8.7	2021	92.7	2.7
2002 ^a	113.9	-14.7	2022	92.1	-0.7
2003	116.0	1.9	Cambio total	69.4	43
2004	111.3	-4.0			

Fuente: Lopez Tineo, Joseth (2023). **Nota:** ^{a,b} Corresponden a datos interpolados. Los valores en color rojo corresponden a disminución por encima del 10 %. Los valores en color azul corresponden al aumento por encima del 10 %.

Figura 17. Evolución de la cobertura glaciar en la Cordillera Apolobamba.



Fuente: Lopez Tineo, Joseth (2023).

3.6.14.2. Cambios en la cobertura glaciar (Glaciar Rinconada)

Para esta investigación se eligió el glaciar Rinconada que se encuentra expuesta a la actividad minera informal.

Entre 1985 y 2022, el glaciar Rinconada se redujo alrededor del 35 % (298 a 193 ha), en términos generales el glaciar Rinconada pierde 105 a 75 ha; sin embargo, para poder ser comparado se tiene que ver cuánto representa la pérdida a su cobertura final, de este modo se puede observar que el glaciar Rinconada sufrió una reducción de su superficie (35 %), el glaciar Rinconada es el que se encuentra más cerca de la zona de explotación minera de La Rinconada, ya que las galerías se concentran en la parte baja de este glaciar.

Tabla 31. Cambios anuales en el glaciar Rinconada.

	Área glaciar (ha)	Cambio glaciar (%)
Año	Rinconada	Rinconada
1985	298.2	-

1986	303.8	1.8
1987	283.0	-6.8
1988	288.0	1.8
1989	284.9	-1.1
1990	277.9	-2.5
1991	263.5	-5.2
1992	267.7	1.6
1993	263.5	-1.6
1994	266.7	1.2
1995	254.2	-4.7
1996	242.9	-4.4
1997	266.4	9.7
1998	239.7	-10.0
1999	230.9	-3.7
2000	234.5	1.6
2001	234.6	0
2003	222.6	-5.1
2004	218.8	-1.7
2005	207.2	-5.3
2006	216.0	4.2
2007	217.0	0.5
2008	209.0	-3.7
2009	204.7	-2.1
2010	199.5	-2.6
2011	203.7	2.1
2013	198.6	-2.5
2014	203.1	2.3
2015	195.4	-3.8
2016	195.0	-0.2
2017	191.1	-2.0
2018	193.5	1.3
2019	201.2	4.0
2020	194.6	-3.3
2021	198.3	1.9
2022	193.0	-2.7
Total	105.2	-35.3

Fuente: Lopez Tineo, Joseth (2023). **Nota:** Los valores en color rojo corresponden a disminución por encima del 5 %. Los valores en color azul corresponden al aumento por encima del 5 %.

En la tabla 32 Los resultados indican que la superficie glaciar por debajo de los 5 100 m.s.n.m. del glaciar Rinconada desaparecieron durante el periodo de estudio. El glaciar Rinconada sufrió un retroceso en términos de altitud, debido a que entre 1985 y 2022 retrocedió 266 m.

Tabla 32. Cambio altitudinal en el glaciar Rinconada.

Altitud mínima (m.s.n.m.)	
Año	Rinconada
1985	4 867
2022	5 133
Elevación	266

Fuente: Lopez Tineo, Joseth (2023).

En la tabla 33 se observa el año en el que la superficie del glaciar Rinconada desaparece de acuerdo con rangos altitudinales.

Tabla 33. Año de retroceso del glaciar Rinconada.

Altitud (m.s.n.m.)	Año de Reducción Rinconada
<4 900	1995
<4 950	1999
<5 000	1999
<5 050	2001
<5 100	2009

Fuente: Lopez Tineo, Joseth (2023).

Evaluación de la exactitud de la clasificación

La inspección visual del resultado de las clasificaciones no mostró errores significantes. Para conocer a mayor detalle la exactitud de las clasificaciones se utilizaron las métricas OA, UA, PA y K, elaboradas a partir de una matriz de confusión con los datos

de validación. En la tabla 34 se muestran los resultados de la evaluación de exactitud del modelo final.

Tabla 34. Evaluación de exactitud de la clasificación.

Año	Clase	UA (%)	PA (%)	OA (%)	K (%)
1985	Suelo desnudo	92.19	99.32	95.28 (94.79)	93.66 (93.01)
	Glaciar	99.90	99.69		
	Lagunas	90.22	94.86		
	Humedal	96.54	91.36		
	Pajonal	97.71	92.11		
1990	Suelo desnudo	89.81	81.24	90.67 (90.84)	86.98 (87.18)
	Glaciar	97.41	99.39		
	Lagunas	98.32	92.79		
	Humedal	98.71	91.60		
	Pajonal	90.27	94.21		
	Urbano	6.43	52.94		
1995	Suelo desnudo	93.83	95.41	96.61 (96.39)	94.54 (94.19)
	Glaciar	98.61	98.83		
	Lagunas	89.44	93.33		
	Humedal	99.45	82.75		
	Pajonal	97.78	98.31		
	Urbano	53.33	50.00		
2000	Suelo desnudo	90.01	96.81	93.30 (93.33)	90.93 (90.99)
	Glaciar	99.95	98.77		
	Lagunas	99.26	97.27		
	Humedal	75.71	88.39		
	Pajonal	94.88	84.90		
	Urbano	39.22	75.86		
2005	Suelo desnudo	94.59	89.43	94.73 (94.67)	92.99 (99.90)
	Glaciar	99.57	99.71		
	Lagunas	96.36	98.06		
	Humedal	98.82	96.26		
	Pajonal	82.40	91.48		
	Urbano	90.91	52.63		
2010	Suelo desnudo	90.34	93.46	92.72 (94.77)	87.91 (91.15)
	Glaciar	99.59	96.94		
	Lagunas	98.01	96.51		
	Humedal	56.71	89.93		
	Pajonal	97.68	91.55		
	Urbano	100.00	86.90		

	Área degradada	69.26	95.42		
2015	Suelo desnudo	78.54	94.72	93.41 (94.46)	89.34 (91.01)
	Glaciar	95.08	97.15		
	Lagunas	98.98	98.29		
	Humedal	97.74	84.54		
	Pajonal	98.23	92.96		
	Urbano	93.69	80.00		
	Área degradada	92.27	92.39		
2020	Suelo desnudo	95.21	96.83	95.52 (96.10)	93.94 (94.71)
	Glaciar	100.00	99.98		
	Lagunas	99.58	99.75		
	Humedal	70.43	93.46		
	Pajonal	96.52	93.93		
	Urbano	96.50	74.59		
	Área degradada	95.72	90.60		
2022	Suelo desnudo	96.16	97.79	97.05 (97.52)	95.54 (96.31)
	Glaciar	100.00	99.89		
	Lagunas	99.94	99.67		
	Humedal	82.62	95.51		
	Pajonal	99.00	97.26		
	Urbano	54.94	61.84		
	Área degradada	91.40	91.02		

Fuente: Lopez Tineo, Joseth (2023) **Nota:** UA = Exactitud del usuario; PA = Exactitud del productor; OA = Exactitud global; K = Índice Kappa. Los valores entre paréntesis representan la exactitud del modelo con todas las variables predictoras.

Como se observa en la tabla anterior, en la mayoría de los casos la exactitud del usuario y productor está por encima del 90 %. Incluso, hay ciertas clases que tienen una exactitud cercana o igual 100 %. Por ejemplo, la clase “glaciar” tiene una UA y PA por encima del 96 % en todos los modelos. Por otro lado, la clase “urbano” tuvo los valores de exactitud más bajo en la mayoría de los modelos. En el modelo de 1990 se registró la UA más baja en esta clase, pues la exactitud fue de 6 %.

Los modelos desarrollados tuvieron un OA por encima del 90 %, es decir, más del 90 % de los datos de validación utilizados se encontraban ubicados correctamente en las clases predichas por la clasificación. El 90 % es un porcentaje alto de exactitud, esto

indica que el modelo tuvo un rendimiento óptimo. Esto mismo se señala con el coeficiente Kappa, ya que su valor supera el 86 % en todos los modelos, lo que sugiere que la clasificación tiene una concordancia muy buena en comparación con una distribución aleatoria de los datos.

Correlaciones entre cambios de cobertura de suelo y actividad minera

El objetivo de cuantificar las variaciones en la superficie glaciar y cambios en la cobertura no-natural provocados por la minería en La Rinconada, fue ensayar correlaciones entre estas variables e indicadores socioeconómicos. De esta manera, se busca determinar si existe una relación directa entre la minería y la aceleración del retroceso glaciar.

Para lograr este objetivo se hizo una correlación de variables utilizando el coeficiente de Pearson. Los resultados de las correlaciones se pueden observar en la tabla 35, 36 y 37, el coeficiente de Pearson mide el grado de asociación entre dos variables y mientras el valor sea más cercano a ± 1 , la asociación es más fuerte.

Tabla 35. Correlaciones de la variable área glaciar.

	Variable	Producción minera	Precio del oro	Población
Área glaciar	Correlación de Pearson	-0.406	-0.844	-0.946
	Significancia Bilateral			
		0.094	0.00**	0.054

Fuente: Lopez Tineo, Joseth (2023).

Tabla 36. Correlaciones de la variable área Urbana.

	Variables	Área Glaciar	Área degradada	Precio del oro	Producción minera
Área Urbana	Correlación de Pearson	-0.777	0.978	0.957	-0.456
	Significancia Bilateral	0.023*	0.022*	0.011*	0.544

Fuente: Lopez Tineo, Joseth (2023).

Tabla 37. Correlaciones de la variable área degradada.

	Variables	Área glaciar	Precio del oro	Producción minera
Área degradada	Correlación de Pearson	-0.796	0.838	-0.87
	Significancia Bilateral	0.204	0.367	0.328

Fuente: Lopez Tineo, Joseth (2023).

En el caso de la correlación entre las variables área glaciar y precio del oro, el p-valor es -0.844, lo que quiere decir que es una relación inversa. Esto significa que mientras los valores de una de las variables aumentan, la otra disminuye. En este caso el precio del oro aumenta con los años mientras que el área glaciar disminuye en extensión. Esta misma relación inversa se presenta en la correlación de las variables área urbana y área glaciar, debido a que el área urbana aumenta con los años, mientras el área glaciar disminuye.

En el caso de las correlaciones entre las variables área urbana y área degradada, y área urbana y precio del oro, muestran una relación positiva fuerte, debido que el coeficiente está cerca al +1. Es decir, el área urbana y el área degradada aumentan a la vez, por lo que se tiene una correlación positiva.

Sin embargo, tener una asociación fuerte con el coeficiente de Pearson no significa necesariamente que haya causalidad entre las variables estudiadas. Para

conocer si existe una significancia estadística entre las variables se usa la significancia bilateral o “valor p”. La significancia bilateral está definida como la probabilidad de obtener un resultado que sea igual o más extremo que el que se ha observado realmente. La significancia bilateral varía entre 0 y 1, si el valor de la significancia es menor a 0.05 significa que hay una relación significativa entre las dos variables (nivel de confianza de 95 %). Por otra parte, si el valor es menor a 0.01 significa que hay una relación muy significativa (nivel de confianza de 99 %).

El nivel de significancia bilateral más alto que se halló fue en la correlación entre área glaciar y el precio del oro, dado que obtuvo un valor por debajo de 0.01. Asimismo, las variables área urbana y área glaciar, área urbana y área degradada, y área urbana y precio del oro tuvieron una significancia bilateral menor a 0.05, pero mayor a 0.01. Las demás variables ensayadas obtuvieron valores de significancia bilateral por encima de 0.05, lo que indica que no hay una relación estadística significativa entre ellas, a pesar de tener una asociación fuerte.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN Y ANÁLISIS / DISCUSIÓN

Introducción

Mediante el estudio realizado de la contaminación del medio ambiente por la actividad de empresas mineras informales, aplicando las diferentes técnicas de evaluación de impactos ambientales por los diferentes métodos se ha obtenido resultados en dos aspectos importantes, la contaminación del medio ambiente, específicamente en los afluentes del río Ramis, el retroceso y la degradación al glaciar Rinconada que son fuente de origen del río Ramis, cuyos resultados se describen:

4.1. Método de criterios relevantes integrados

4.1.1. Por componentes ambientales:

Para mayor claridad se ha determinado los componentes de los impactos más significativos que se detallan en la Tabla 38.

Tabla 38. Número de impactos por componente ambiental.

Componentes Ambientales			Interacciones
Ambiente físico	Topografía	Topografía	5
	Aire	Calidad de aire	10
		Ruidos	10
	Suelo	Suelos	7
	Agua	Calidad de agua superficial	6
		Cantidad de agua superficial	7
		Calidad de agua subterránea	4
		Cantidad de agua subterránea	3
	Riesgo natural	Riesgos naturales	2
Total, ambiente físico		54	
Ambiente biológico	Ecosistema terrestre	Flora terrestre	4
		Fauna terrestre	5
	Ecosistema acuático	Flora acuática	6
		Fauna acuática	6
	Total, ambiente biológico		21
		Paisaje	4
		Usos del territorio	5

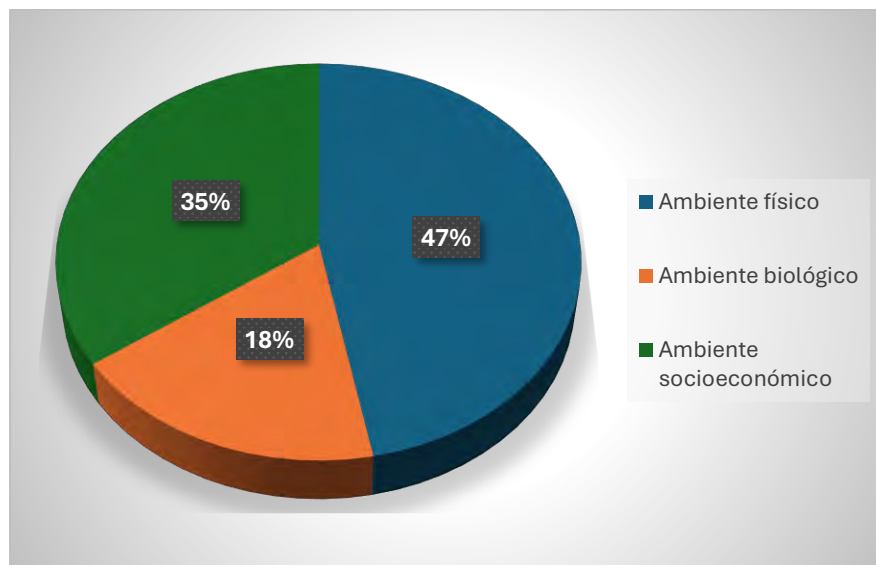
Ambiente socioeconómico	Social	Desarrollo local	6
		Percepción de potenciales impactos negativos	4
		Percepción política	5
	Económico	Empleo	9
		Dinamización del comercio local	4
		Transporte y vías	3
	Total, ambiente socioeconómico		40
Total		115	

Fuente: Adaptado de García.

Los resultados indican que los componentes ambientales que muestran una mayor afectación negativa por la actividad minera se distribuyen 54 en el ambiente físico, 21 en el ambiente biológico y 40 en el medio socioeconómico.

Expresando los impactos negativos de contaminación ambiental mediante el estudio realizado se ha determinado el que tiene mayor incidencia es en el ambiente físico con 47.0%, en el ambiente biológico con 18.3% y el medio socioeconómico con 34.8%, tal como se muestra en la Figura 18, se detalla a continuación:

Figura 18. El impacto ambiental mostrado en porcentaje (%).



Fuente: Elaboración propia. **Nota:** Esta figura nos muestra el impacto ambiental por componentes ambientales en porcentaje.

Obteniéndose como resultado, que el componente del Medio Ambiente Físico es el más afectado por los impactos negativos producidos por la actividad minera informal

4.1.2. Por actividades de la minería informal

Las actividades de la minería informal han sido clasificadas en cinco grupos: la explotación minera propiamente dicha, el procesamiento metalúrgico del mineral, el depósito de relaves, otras actividades complementarias del proceso minero metalúrgico y la minería artesanal.

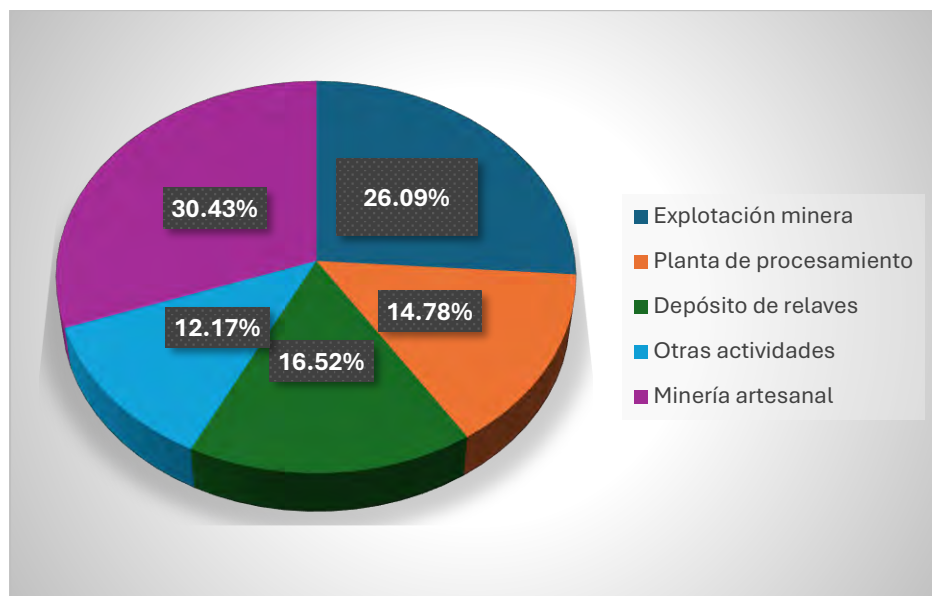
El grupo de actividades que más impacta en el medio ambiente es la minería artesanal con 35 impactos.

Tabla 39. Impactos generados por las actividades de la minería informal.

ACTIVIDADES		FÍSICO	BIOL.	SOCIO ECON.	TOTAL	%
Explotación minera		13	7	10	30	26.09%
A ₁	Perforación y voladura	3	1	3	7	6.09%
A ₂	Limpieza y transporte	1	0	2	3	2.61%
A ₃	Disposición de desmonte	6	4	4	14	12.17%
A ₄	Drenaje	3	2	1	6	5.22%
Planta de procesamiento		8	2	7	17	14.78%
A ₅	Transporte de mineral mina planta	2	2	2	6	5.22%
A ₆	Circuito de chancado	2	0	0	2	1.74%
A ₇	Circuito de molienda y clasificación	1	0	1	2	1.74%
A ₈	Circuito de concentración	1	0	2	3	2.61%
A ₉	Circuito de amalgamación	1	0	1	2	1.74%
A ₁₀	Circuito de cianuración y adsorción	1	0	1	2	1.74%
Depósito de relaves		9	6	4	19	16.52%
A ₁₁	Depósito de relaves	7	4	4	15	13.04%
A ₁₂	Tratamiento de aguas del proceso metalúrgico	2	2	0	4	3.48%
Otras actividades		8	0	6	14	12.17%
A ₁₃	Abastecimiento de agua	1	0	1	2	1.74%
A ₁₄	Infraestructura de servicios	4	0	2	6	5.22%
A ₁₅	Vías de acceso	3	0	3	6	5.22%
Minería artesanal		16	6	13	35	30.43%
A ₁₆	Minería artesanal	9	4	8	21	18.26%
A ₁₇	Recuperación artesanal de oro	7	2	5	14	12.17%
Total		54	21	40	115	100.00%

De los resultados obtenidos se deduce que la minería informal realizada por las empresas informales es la que más origina el impacto negativo y es el causante de la contaminación del Medio ambiente en la zona de La Rinconada.

Figura 19. Impactos ambientales generados por la actividad minera en la zona de La Rinconada.



Fuente: Elaboración propia. **Nota:** Esta figura nos muestra los impactos generados por las actividades de la minería informal.

4.1.3. Por indicadores o variables empleadas

La selección de los indicadores o variables a emplearse en la valoración cualitativa de un impacto ambiental es de suma importancia; de igual manera, las escalas de calificación y los valores propuestos para categorizar adecuadamente un impacto ambiental.

En la presente investigación se utilizó La metodología del CRI, que consiste en determinar el índice de Riesgo de Contaminación, es decir es una herramienta utilizada para evaluar y clasificar el grado de contaminación del medio ambiente en este caso la

contaminación del agua en el proceso informal de amalgamación del mercurio que se utiliza para recuperar el oro en La Rinconada, mediante el proceso informal artesanal, molienda de mineral en molinos de piedra, en este caso de la investigación se ha empleado el CRI y se basa en la calificación de 6 variables, asignándoles a dichas variables 3 opciones para elección (con excepción del riesgo o probabilidad), la escala de valores de las variables se encuentre en un rango de 1 a 10 unidades.

No todos los indicadores tienen igual importancia, por lo tanto, el VIA, no resulta de un promedio simple de los valores asignados a cada indicador, sino de una ponderación de estos. Para seleccionar los ponderadores se utilizó la técnica de consenso entre los profesionales consultados

Tabla 40. Indicadores utilizados en el método CRI.

Indicadores			Peso	Valores asignados	
Carácter	Símbolo			Min. (-)	Max. (+)
1	Intensidad	I	0.4	1	10.00
2	Extensión	E	0.4	1	10.00
3	Duración	D	0.2	1	10.00
4	Reversibilidad	RV	0.3	1	10.00
5	Riesgo o probabilidad	RG	0.3	1	10.00
6	Magnitud	M	0.4		

Fuente: Adaptado de García.

4.2. Método RIAM (evaluación rápida del impacto ambiental)

4.2.1. Por componentes ambientales

La metodología RIAM considera cuatro categorías ambientales: ambiente físico (AB), ambiente biológico (AB), ambiente socio cultural (ASC) y ambiente socioeconómico (AE). Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 41.

Tabla 41. Jerarquización de impactos ambientales.

	Impactos											Total
	Negativos					Neutros	Positivos					
Rango	-108	-71	-35	-18	-9	0	1	10	19	36	72	
	-72	-36	-19	-10	-1	0	9	18	35	71	108	
Clase	-E	-D	-C	-B	-A	N	A	B	C	D	E	
AF	0	0	2	3	3	0	1	0	0	0	0	9
AB	0	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0	4
ASC	0	0	2	1	1	0	0	1	0	0	0	5
AE	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	3
TOTAL	0	0	4	5	7	0	1	1	2	1	0	21
	16					0	5					21

Ambiente físico

En esta categoría han sido analizados 9 componentes ambientales, los resultados indican que existen cuatro tipos de impactos, 3 impactos negativos leves para los componentes ambientales de ruidos, calidad de agua subterránea y cantidad de agua subterránea; 3 impactos negativos menores en los componentes calidad de aire, suelos y riesgos naturales; y 2 impacto negativos moderados en la topografía y la calidad de agua superficial. Existe un impacto positivo leve en la cantidad de agua superficial.

Ambiente biológico

En esta categoría se han analizado 4 componentes ambientales, los resultados del RIAM indican que existen 3 impactos negativos leves en la flora terrestre, la flora y la fauna acuáticas; y un impacto negativo menor en la fauna terrestre.

Ambiente social cultural

En esta categoría se analizaron 5 componentes ambientales, los resultados indican que existen 4 impactos negativos: un impacto negativo leve en los usos del territorio, un impacto negativo menor en el paisaje, 2 impactos negativos moderados

relacionados con la percepción que tiene la población con el proyecto: la percepción de potenciales impactos ambientales negativos y la percepción política del proyecto. Existe también un impacto positivo menor en el desarrollo local.

Ambiente económico

En esta categoría se analizaron 3 componentes ambientales, todos producen impactos positivos: 2 impactos positivos moderados en el empleo, transporte y vías y un impacto positivo significativo en la dinamización del comercio local.

Tabla 42. Componentes ambientales impactados.

Componente	C _i	Puntaje ambiental	%
Dinamización del comercio local	C ₂₀	63	17.9%
Empleo	C ₁₉	28	8.0%
Topografía	C ₁	-27	7.7%
Transporte y vías	C ₂₁	24	6.8%
Calidad de agua superficial	C ₅	-21	6.0%
Percepción de potenciales impactos ambientales negativos	C ₁₇	-21	6.0%
Percepción política	C ₁₈	-21	6.0%
Suelos	C ₄	-18	5.1%
Riesgos naturales	C ₉	-18	5.1%
Paisaje	C ₁₅	-16	4.6%
Fauna terrestre	C ₁₁	-14	4.0%
Desarrollo local	C ₁₆	14	4.0%
Calidad de aire	C ₂	-12	3.4%
Usos del territorio	C ₁₄	-8	2.3%
Calidad del agua subterránea	C ₇	-7	2.0%
Flora terrestre	C ₁₀	-7	2.0%
Fauna terrestre	C ₁₂	-7	2.0%
Fauna acuática	C ₁₃	-7	2.0%
Ruidos	C ₃	-6	1.7%
Cantidad de agua superficial	C ₆	-6	1.7%
Cantidad de agua subterránea	C ₈	-6	1.7%
Total			100.0%

Los resultados indican que los componentes ambientales que muestran una mayor afectación negativa por las actividades de la minería informal son la topografía (-27 unidades), calidad del agua superficial (-21 unidades), la percepción de potenciales impactos ambientales negativos (-21 unidades), la percepción política del proyecto (-21 unidades) y suelos (-18 unidades). Los componentes ambientales que son impactados positivamente son la dinamización del comercio local (+63 unidades), empleo (28 unidades) y transporte y vías (+24 unidades).

4.3. Método de Vicente Conesa

4.3.1. Por componentes ambientales

De acuerdo con la metodología descrita, los impactos producidos se distribuyen de la siguiente manera: 80 impactos en el medio físico (54 impactos en el medio inerte, 21 impactos al medio biótico y 5 impactos al medio perceptual) y 35 impactos en el medio socio económico y cultural (8 impactos al medio rural, 13 impactos al medio socio cultural y 14 impactos al medio económico).

Tabla 43. Impactos por componente ambiental.

SISTEMA	SUBSISTEMA	COMPONENTE GENERAL	COMPONENTE ESPECÍFICO		Interacciones
MEDIO FÍSICO	MEDIO INERTE	Aire	Calidad de aire	C ₂	10
			Ruidos	C ₃	10
		Tierra y suelo	Topografía	C ₁	5
			Suelos	C ₄	7
		Agua	Calidad de agua superficial	C ₅	6
			Cantidad de agua superficial	C ₆	7
			Calidad de agua subterránea	C ₇	4
			Cantidad de agua subterránea	C ₈	3

		Procesos	Riesgos naturales	C ₉	2
		TOTAL, MEDIO INERTE			54
		MEDIO BIÓTICO	Ecosistemas terrestres	Flora terrestre	C ₁₀
	Fauna terrestre			C ₁₁	5
	Ecosistemas acuáticos		Flora acuática	C ₁₂	6
			Fauna acuática	C ₁₃	6
	TOTAL, MEDIO BIÓTICO			21	
	MEDIO PORCENTUAL	Paisaje intrínseco	Paisaje	C ₁₅	5
		TOTAL, MEDIO PORCENTUAL			5
	TOTAL, MEDIO FÍSICO			80	
MEDIO, SOCIO ECONÓMICO Y CULTURAL	MEDIO RURAL	Productivo	Usos del territorio	C ₁₄	4
		Viario rural	Transporte y vías	C ₂₁	4
		TOTAL, MEDIO RURAL			8
	MEDIO SOCIO CULTURAL	Servicios colectivos	Desarrollo local	C ₁₆	3
		Aspectos humanos	Percepción de potenciales impactos negativos	C ₁₇	6
			Percepción política	C ₁₈	4
		TOTAL, MEDIO SOCIAL CULTURAL			13
	MEDIO ECONÓMICO	Economía	Empleo	C ₁₉	5
			Dinamización del comercio local	C ₂₀	9
		TOTAL, MEDIO ECONÓMICO			14
	TOTAL, MEDIO SOCIOECONÓMICO Y CULTURAL			35	
TOTAL, MEDIO AMBIENTE AFECTADO			115		

Los resultados del cálculo de la importancia absoluta del proyecto (Tabla 44) nos indican que los principales componentes ambientales afectados durante la ejecución del proyecto serán: el suelo, la dinamización del comercio local, la topografía, etc. Los impactos de carácter negativo significan el 83,8% y los impactos positivos el 16,2% del total.

Tabla 44. Componentes ambientales impactados: importancia absoluta.

Componentes ambientales		Total, absoluto	%
C ₄	Suelos	-347	8.9%
C ₂₀	Dinamización del comercio local	341	8.8%
C ₁	Topografía	-278	7.2%

C ₁₂	Flora acuática	-249	6.4%
C ₃	Ruidos	-240	6.2%
C ₅	Calidad de agua superficial	-223	5.7%
C ₂	Calidad de aire	-222	5.7%
C ₁₇	Percepción de potenciales impactos negativos	-201	5.2%
C ₁₀	Flora terrestre	-198	5.1%
C ₁₅	Paisaje	-190	4.9%
C ₁₉	Empleo	184	4.7%
C ₁₃	Fauna acuática	-180	4.6%
C ₁₄	Usos del territorio	-177	4.6%
C ₁₁	Fauna terrestre	-175	4.5%
C ₁₈	Percepción política	-150	3.9%
C ₂₁	Transporte y vías	-125	3.2%
C ₇	Calidad de agua subterránea	-113	2.9%
C ₁₆	Desarrollo local	106	2.7%
C ₉	Riesgos naturales	-72	1.9%
C ₈	Cantidad de agua subterránea	-69	1.8%
C ₆	Cantidad de agua superficial	-40	1.0%
	TOTAL	-2618	100.0%

4.3.2 Por actividades de la actividad minería informal

El mayor porcentaje de los impactos ocasionados por las actividades del proyecto ocurrirán en el medio físico 69,6%, contra un 30,4% que sucederán en el medio socio económico cultural.

Tabla 45. Interrelaciones actividades de la actividad minera informal vs sistemas del medio ambiente.

FASE/ACTIVIDADES		FÍSICO	SOCIO ECON. CULTURAL	TOTAL	%
Explotación minera		21	9	30	26,1%
A ₁	Perforación y voladura	4	3	7	6,1%
A ₂	Limpieza y transporte	1	2	3	2,6%
A ₃	Disposición de desmonte	10	3	13	11,3%
A ₄	Drenaje	6	1	7	6,1%
Planta de procesamiento		10	7	17	14,8%

A ₅	Transporte de mineral mina - planta	4	2	6	5,2%
A ₆	Circuito de chancado	2	0	2	1,7%
A ₇	Circuito de molienda y clasificación	1	1	2	1,7%
A ₈	Circuito de concentración	1	2	3	2,6%
A ₉	Circuito de amalgamación	1	1	2	1,7%
A ₁₀	Circuito de cianuración	1	1	2	1,7%
Depósito de relaves		16	3	19	16,5%
A ₁₁	Depósito de relaves	12	3	15	13,0%
A ₁₂	Tratamiento de aguas del proceso metalúrgico	4	0	4	3,5%
Otras actividades		10	4	14	12,2%
A ₁₃	Abastecimiento de agua	1	1	2	1,7%
A ₁₄	Infraestructura de servicios	5	1	6	5,2%
A ₁₅	Vías de acceso	4	2	6	5,2%
Minería informal		23	12	35	30,4%
A ₁₆	Minería informal	14	7	21	18,3%
A ₁₇	Recuperación artesanal de oro	9	5	14	12,2%
Total		80	35	115	100,0%

De los resultados obtenidos se deduce que la minería informal realizada por las empresas informales es la que más origina el impacto negativo y es el causante de la contaminación del Medio ambiente en la zona de La Rinconada.

4.3.3. Impactos al ambiente físico

4.3.3.1. Impactos a la topografía

La evaluación de impactos sobre la topografía es de vital importancia debido a que la morfología del terreno condiciona las características del suelo, así como las condiciones de escorrentía superficial e infiltración en una cuenca. Cualquier actividad humana o fenómeno natural que genere cambios sobre la topografía, puede incidir sobre los suelos, así como en las escorrentías superficiales e hidrogeología (Conesa, 2010).

Asimismo, los cambios en la morfología del terreno y modificaciones en vegetación, cursos de agua o uso del suelo podrían tener a su vez un efecto sobre la calidad visual del paisaje. La actividad minera en La Rinconada ha alterado la topografía del lugar debido a las actividades de explotación subterránea, disposición de material estéril extraído de interior mina, disposición de relaves y operación de depósito de relaves.

La extensión de los impactos asociados a las actividades de explotación minera sobre la topografía es puntual y circunscrito al sector donde se encuentran las bocaminas, el depósito de relaves y la infraestructura necesaria para la operación del proyecto: planta concentradora, campamentos, oficinas, etc. Los impactos sobre este componente ambiental son irreversibles en su mayoría debido a que no se retornará a las condiciones iniciales. Las actividades de la minería artesanal también han alterado la topografía, debido a la falta de planificación y orden en el desarrollo de sus actividades.

4.3.3.2. Impactos al aire

Los impactos estimados de la actividad sobre el aire se pueden resumir en:

Emisión de polvo como consecuencia del movimiento de tierras, emisión de polvo y gases por transporte de personal e insumos, emisión de gases por generadores eléctricos, emisión de polvo y gases por la explotación, emisión de polvo por operación de planta concentradora, botaderos y depósito de relaves, emisiones fugitivas de la planta concentradora. Cabe mencionar que dentro de las operaciones existe la presencia de mineros artesanales quienes recuperan el oro mediante la amalgamación con mercurio, produciendo gases que, al ser transportados por el viento, pueden afectar la

salud de los habitantes de los centros poblados. Otro impacto que se debe considerar son los olores y gases producto de los desechos industriales y basura arrojados por los mineros artesanales y por la población. De igual manera, otro impacto en el componente ambiental del aire es el ruido generado por la perforación y voladura, limpieza y transporte de mineral, deposición de desmontes y otras actividades auxiliares.

El ámbito de los impactos sobre el componente aire es local, circunscrito al sector donde se realiza la explotación y a las inmediaciones del área de operaciones actuales. Estos impactos son reversibles porque mediante un adecuado plan de mitigación podrán ser controlados. Además, a largo plazo se espera el retorno a condiciones de calidad del aire similares a las originales luego de la fase de cierre y rehabilitación.

4.3.3.2. Impactos al suelo

Los impactos de las actividades del proyecto sobre el suelo se pueden resumir en pérdida de suelos por movimiento de tierras y emplazamiento de infraestructura y pérdida de suelos por llenado paulatino de depósito de relaves y ampliación de botaderos. Los impactos se califican como negativos y de relevancias entre bajas y no relevantes, debido a que el lugar no presenta suelos de uso agrícola, ni exclusivos en la región. La pérdida de los suelos que ocupará el depósito de relaves es permanente mientras que el impacto por la pérdida de los suelos en las zonas de emplazamiento de infraestructura de la planta de beneficio y zonas de reubicación de carretera y tubería de agua se considera temporal. Existe la posibilidad de alteración de suelos por vertido fortuito de aguas de drenaje de mina y de planta de beneficios, derrames de materiales

como aceites, hidrocarburos u otros insumos producto de la operación de equipos. Por tal motivo, ha sido considerado como un riesgo ambiental.

La extensión de los impactos sobre el suelo es puntual y está circunscrito al sector donde se instalará el depósito de relaves, los botaderos de desmonte, infraestructura necesaria. Los impactos sobre este componente ambiental son irreversibles. Sin embargo, a pesar de que se perderán los suelos, al cierre de las operaciones se está evaluando la posibilidad de colocar tanto en el depósito de relaves como en el botadero, desmontes estériles que se asemejen a las características de los suelos poco desarrollados presentes en las laderas de los cerros del área de estudio.

4.3.3.3. Impactos al riesgo natural

Debido a las características morfológicas de la zona, fuertes pendientes de los nevados, existen zonas que presentan inestabilidad física; y, por lo tanto, riesgo latente de desprendimiento de masas de hielo y rocas que podrían ocasionar accidentes fatales y arrasar con las viviendas de los mineros informales ubicados en el cauce del riachuelo Lunar. Las vibraciones producidas por las explosiones podrían producir desprendimientos de masas de hielo y roca con consecuencias fatales.

4.3.3.4. Impactos a las aguas superficiales

Los impactos estimados de la actividad sobre las aguas superficiales se pueden resumir en: descargas fortuitas de la planta de tratamiento de aguas del proceso metalúrgico, del depósito de relaves, efluentes líquidos de la planta de beneficio y el drenaje de aguas ácidas de interior mina. Otra fuente de impacto que debe considerarse es la generación de aguas ácidas en las zonas de deposición de desmontes. En la parte

baja del depósito de relaves existen manantiales que sirven de abastecimiento al poblado Cerro Lunar los que podrían ser contaminados por descargas fortuitas.

4.3.3.5. Impactos a las aguas subterráneas

Los impactos estimados de la actividad sobre las aguas subterráneas se pueden resumir en: infiltración a través del material estéril de los botaderos al agua subterránea, alteración de la calidad del agua subterránea en la napa freática localizada inmediatamente por debajo del depósito de relaves.

Existen plantas de amalgamación y cianuración conducidas por mineros artesanales, cuyos efluentes al no contar con instalaciones apropiadas de disposición y tratamiento de aguas podrían infiltrarse contaminando el agua subterránea. El impacto de la operación del depósito de relaves sobre las aguas subterráneas se califica como negativo y de relevancia mediana.

Esta calificación obedece a la alta intensidad del impacto sobre el agua subterránea que está inmediatamente debajo del emplazamiento del depósito de relaves debido a las filtraciones del mismo y consiguiente alteración de la calidad del agua. En cuanto a la probabilidad de generación de drenaje ácido de los botaderos, el material depositado en dichas áreas presenta las condiciones necesarias para la generación de aguas ácidas: especies sulfuradas, oxígeno y agua procedente de la lluvia y la nevada.

4.3.3.6. Impactos al ambiente biológico

a) Impactos al ambiente biológico terrestre

Flora y vegetación

Los impactos estimados de la actividad sobre la flora y vegetación están relacionados con la pérdida de cobertura vegetal por emplazamiento de infraestructura. Durante la etapa de operación la intervención en la vegetación y flora se producirá básicamente como consecuencia de la operación del depósito de relaves, los botaderos de desmonte y el área donde se localizarán las actividades de la minería informal. Los impactos del proyecto sobre la flora y vegetación durante la etapa de operación se califican como negativos y de relevancia mediana, debido a que, si bien la intensidad del impacto es alta y el área tiene una cobertura vegetal, ésta no es exclusiva del sitio y se halla representada en otros sectores; además no hay presencia de especies protegidas. El ámbito de los impactos sobre la flora y vegetación es puntual, básicamente circunscrito al sector donde se encuentra el depósito de relaves, los botaderos de desmonte, la planta de beneficio y la zona de la infraestructura de servicios.

La reversibilidad del impacto sobre la vegetación será parcial en algunas zonas perturbadas como el área de la planta concentradora, pues se evaluará la necesidad de inducir la recolonización de la vegetación en forma natural. El impacto sobre el emplazamiento directo de la vegetación en el área del depósito de relaves es irreversible. Sin embargo, para la etapa de cierre se evaluará la necesidad de inducir el desarrollo de una sucesión ecológica vegetal en la nueva conformación topográfica.

Fauna

Al inicio de las operaciones se realizó un desplazamiento de la fauna presente en el área. Este impacto ha sido calificado de efecto negativo, extensión puntual, magnitud

baja, de baja recuperación y de baja significatividad, recordemos que debido a las nevadas y temperaturas bajas son pocos los animales que existen en la zona.

La fauna es afectada en la etapa de operación por los siguientes efectos: pérdida e intervención de hábitat, emisiones de ruido y vibraciones; incremento del riesgo de accidentes por aumento de la frecuencia vehicular, posibilidad de ingreso de fauna al depósito de relaves y poza de colección y finalmente presencia humana.

b) Impactos al ambiente biológico acuático

La biota acuática es sensible a los cambios de las condiciones físicas y químicas de su entorno. Las actividades que pueden tener un efecto potencial en el ambiente acuático pueden ser: el ingreso en las corrientes de agua de sólidos en suspensión y disueltos provenientes de los botaderos, drenaje de interior mina, la planta de beneficio y las instalaciones auxiliares; el aumento de los niveles de metales, sólidos en suspensión y otros parámetros en la descarga del depósito de relaves y mayores niveles de nutrientes y otros residuos procedentes de los campamentos y la minería artesanal.

4.3.4. Resultados de la evaluación de la contaminación ambiental causados por la actividad minera informal en La Rinconada

Mediante el estudio realizado de la contaminación del medio ambiente por la actividad de empresas mineras informales, aplicando las diferentes técnicas de evaluación de impactos ambientales por los diferentes métodos se ha obtenido resultados en dos aspectos importantes, la contaminación del medio ambiente, específicamente en los afluentes del río Ramis y el impacto causado a los glaciares que

se encuentran en la zona superior de La Rinconada y son fuente de origen del río Ramis, cuyos resultados se describen:

4.4. Evaluación comparativa de parámetros inorgánicos en la captación del río Ramis frente a los ECA (Subcategoría A)

Tabla 46. Concentración de metales pesados y arsénico comparado con los ECA Subcategoría A: Aguas superficiales en el río Ramis.

METALES PESADOS	M1	M2	ECA A1	ECA A2	ECA A3	S	NS
Concentración en mg/L							
Magnesio (Mg)	18.34	15.58	**	**	**		X
Arsénico (As)	0.012	0.010	0.01	0.01	0.15	X	
Cadmio (Cd)	0.0015	0.0014	0.003	0.005	0.01		X
Cromo total (Cr)	0.028	0.021	0.05	0.05	0.05		X
Mercurio (Hg)	0.0003	0.0003	0.001	0.002	0.002		X
Plomo (Pb)	0.045	0.041	0.01	0.01	0.05	X	

Fuente: Laboratorios químicos de los andes S.A.C. (2025).

M1 - M2 = Muestra N°01 y Muestra N°02

A1= Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección.

A2= Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional.

A3= Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado.

S = Supera, NS = No supera

De acuerdo con los datos de la Tabla CC, los niveles de magnesio, cadmio, cromo y mercurio en el río Ramis se mantienen por debajo de los umbrales definidos por el D.S. 2004-2017-MINAM para la Categoría 1. No obstante, se identificó un incumplimiento en los parámetros de arsénico (0,012 mg/L) y plomo (0,045 mg/L), los cuales sobrepasan los límites de las subcategorías A1 y A2. Cabe precisar que, en el caso del plomo, la

concentración aún es admisible bajo los estándares de la subcategoría A3 (tratamiento avanzado). El arsénico (As) es un metaloide inorgánico con una elevada biodisponibilidad, capaz de inducir cuadros de toxicidad aguda tras la ingesta de dosis críticas superiores a los 70 mg. A nivel sistémico, la intoxicación progresa hacia un compromiso gastrointestinal severo caracterizado por dolor abdominal, náuseas, diarrea y hematemesis, afectando finalmente las funciones cardiovasculares y neurológicas, lo que puede derivar en un desenlace fatal. Estudios realizados por Suasaca (2025), determinación del grado de contaminación de mercurio (Hg), cromo (Cr) y plomo (Pb) en la cuenca baja del río Coata - Puno 2024” Los resultados analíticos identificaron al plomo (Pb) como el metal pesado con mayor índice de excedencia respecto a los estándares normativos. Con una concentración promedio de 0,017 mg/L, este valor sobrepasa los límites establecidos en los ECA-Agua.

4.5. Evolución anual de la cobertura glaciar

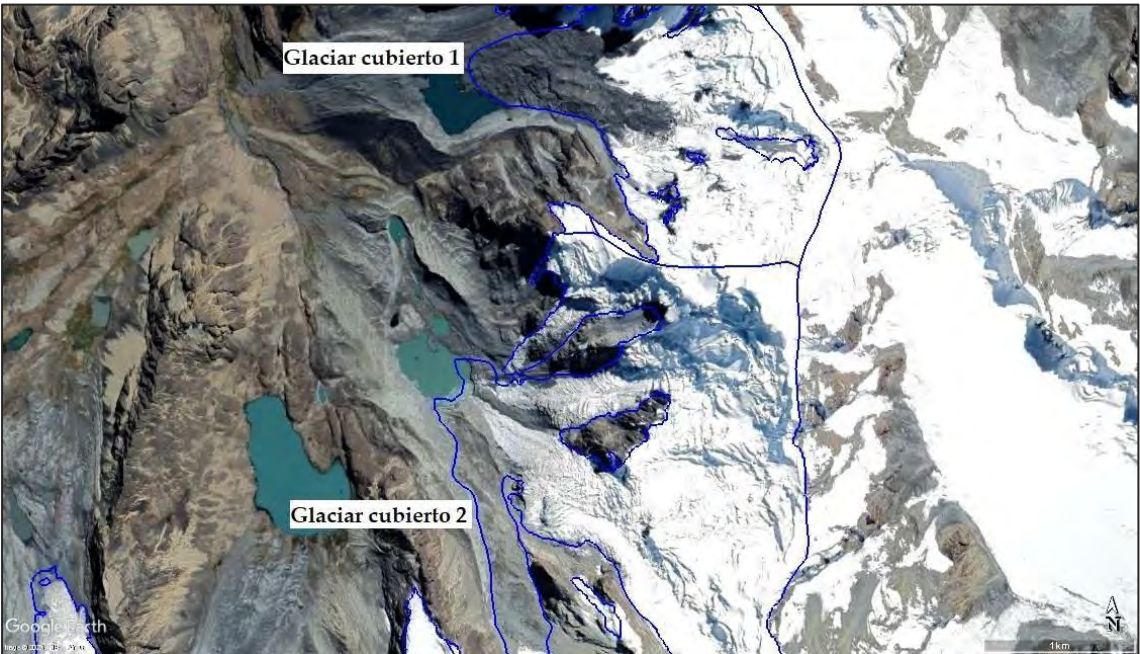
El área de estudio de esta investigación comprende una porción de la Cordillera Apolobamba, abarcando la totalidad de la región peruana y la zona norte de la región boliviana. Los resultados de esta investigación muestran que en 1985 la superficie glaciar de la zona de estudio era de 161.4 km² y que para el 2022, se redujo hasta los 92.1 km², lo que representa una reducción de alrededor del 43 %, con una tasa promedio anual de 1.1 %. Esta tendencia también es hallada por Veettil et al. (2017), quienes encontraron que entre 1985 y 2015 los glaciares de la Cordillera Apolobamba (Perú y Bolivia) se redujeron en alrededor del 40 % (195.3 km² a 117.9 km²) con una tasa promedio anual de 1.3 %. Cook et al. (2016) observaron una tendencia similar para toda la Cordillera Apolobamba. Entre 1986 – 2014 documentaron una reducción de la superficie glaciar de

150.2 km², lo que equivale alrededor del 50 % con una tasa promedio anual de 1.6 %. Por su parte el inventario del INAIGEM (2018), que cuantificó la superficie glaciaria de la Cordillera Apolobamba solo del lado peruano, encontró que entre 1975 (83.12 km²) y 2016 (39.63 km²), la Cordillera Apolobamba perdió 43.5 km², que representa alrededor del 52 % (tasa promedio anual de 1.2 %). Como se observa en los datos descritos, las tasas promedio anuales de esta investigación e investigaciones anteriores son similares.

Para comparar los resultados de cobertura glaciaria de esta investigación con el inventario del INAIGEM (año base 2016), se recortó el shapefile de la clasificación de cobertura glaciaria del año 2016 a los límites del Perú, resultando en un total de 37 km². Esta diferencia de alrededor 2 km² se atribuye principalmente a que el INAIGEM pudo clasificar los glaciares cubiertos por escombros (INAIGEM, 2017), mientras que la metodología empleada en esta investigación solo permitió clasificar glaciares blancos.

A escala de la unidad de glaciaria elegida, Rinconada, los resultados de la clasificación de cobertura glaciaria mostraron cifras similares a las halladas en el inventario del INAIGEM (2018). La diferencia existente se atribuye al margen de error de la metodología empleada, tanto en la selección del umbral como en la división de las unidades glaciares. Esto se debe a que en esta investigación se dividieron las unidades glaciares considerando el límite de las microcuencas, teniendo cierto margen de error debido a la escala empleada.

Figura 20. Glaciares cubiertos mapeados por el INAIGEM.



Fuente: Google Earth, INAIGEM (2018). **Nota:** Esta figura nos muestra la cobertura de los glaciares en la cordillera Apolobamba en el año 2018.

Tabla 47. Comparación de la extensión del glaciar Rinconada, con el inventario nacional, año base 2016.

	Resultados de esta investigación (ha)	Inventario INAIGEM (ha)
Rinconada	195	191

Fuente: Elaboración propia con datos de INAIGEM (2018).

El objetivo fue de comparar su evolución y de esta manera, conocer si el glaciar influenciado por la actividad minera (Rinconada) tuvo un retroceso más rápido. Los resultados indican que el glaciar Rinconada experimentó una disminución de superficie en términos relativos, ya que entre 1985 y 2022 su superficie se redujo aproximadamente un 35 % (298.2 ha a 193 ha); Es interesante notar que el glaciar Rinconada, que es el que se encuentra más cerca de la zona de explotación minera, tiene una pérdida de superficie.

4.6. Evolución multitemporal de la cobertura no-natural

El área urbana, en la zona colindante a La Rinconada, se empezó a distinguir en la clasificación del año 1990, y desde entonces, ha mantenido una tendencia a expandirse. Este resultado va acorde a la información existente, pues, si bien La Rinconada tiene antecedentes de explotación de galerías mineras en las primeras décadas del siglo xx (Oppenheim & Spann, 1946), es a partir de 1990 que hay mayor presencia minera, debido al flujo migratorio desencadenado por la crisis económica (OIT, 2004).

Desde 1990, el área urbana cercana a La Rinconada continuó expandiéndose, ocupando 200.2 ha en 2022. Sin embargo, esta expansión no fue lineal, ya que se experimentaron periodos de crecimiento lento (1990 – 2005) y rápido (2005 – 2022). Entre 2005 y 2010 se experimentó la mayor expansión, 51.4 ha, lo cual coincide con el periodo en el que el precio del oro empezó a elevarse. A partir del 2010, el área urbana continuó creciendo a un ritmo acelerado, ya que ambas variables mostraron tener una correlación positiva, es decir, ambas variables mostraron un crecimiento con los años.

Esta correlación es coherente, dado que el precio de los metales ejerce un efecto estimulante en el crecimiento urbano y poblacional. Esto probablemente sea deba a que un mayor número de personas se dedican a la actividad minera, atraídos por los altos precios de los minerales. Además, se encontró una correlación negativa significativa entre las variables área urbana y área glaciar. Ello indicaría que a medida que el área urbana crecía, el área glaciar disminuía. En la figura 20, se puede observar que a medida que el área urbana crece, la zona glaciar cercana se reduce. Sin embargo, hay que afirmar que el retroceso glaciar es resultado de la expansión urbana sería puramente

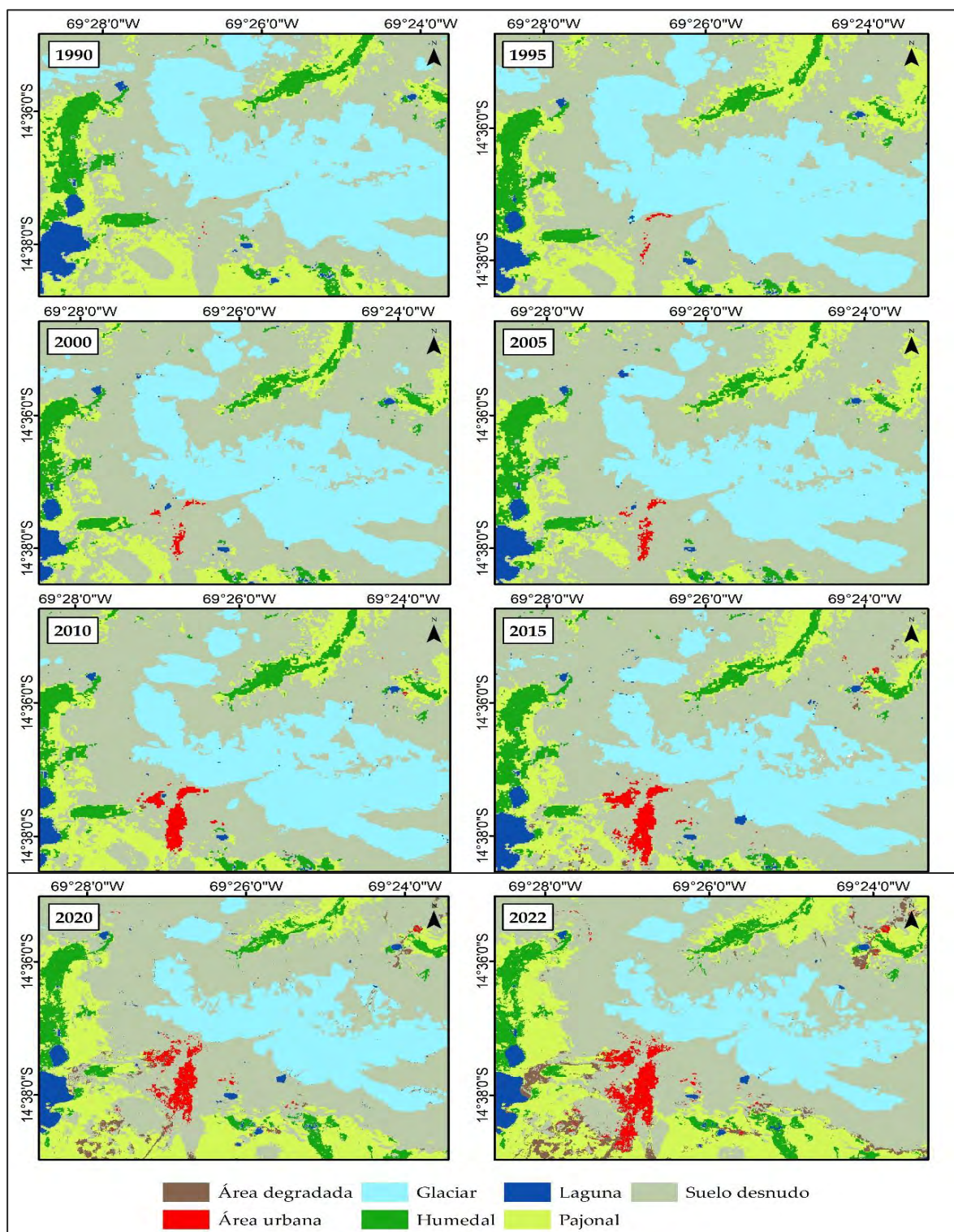
conjetural, se necesitarían más evidencias para tener una certeza absoluta. No obstante, los datos de superficie glaciar y área urbana y el patrón espacial muestran que el crecimiento urbano sí podría tener relación con el retroceso glaciar.

Figura 21. Precio mensual del oro 2000 – 2023.



Fuente: Elaboración propia con datos del BCRP (2023). **Nota:** Esta figura nos muestra el crecimiento del precio mensual del oro.

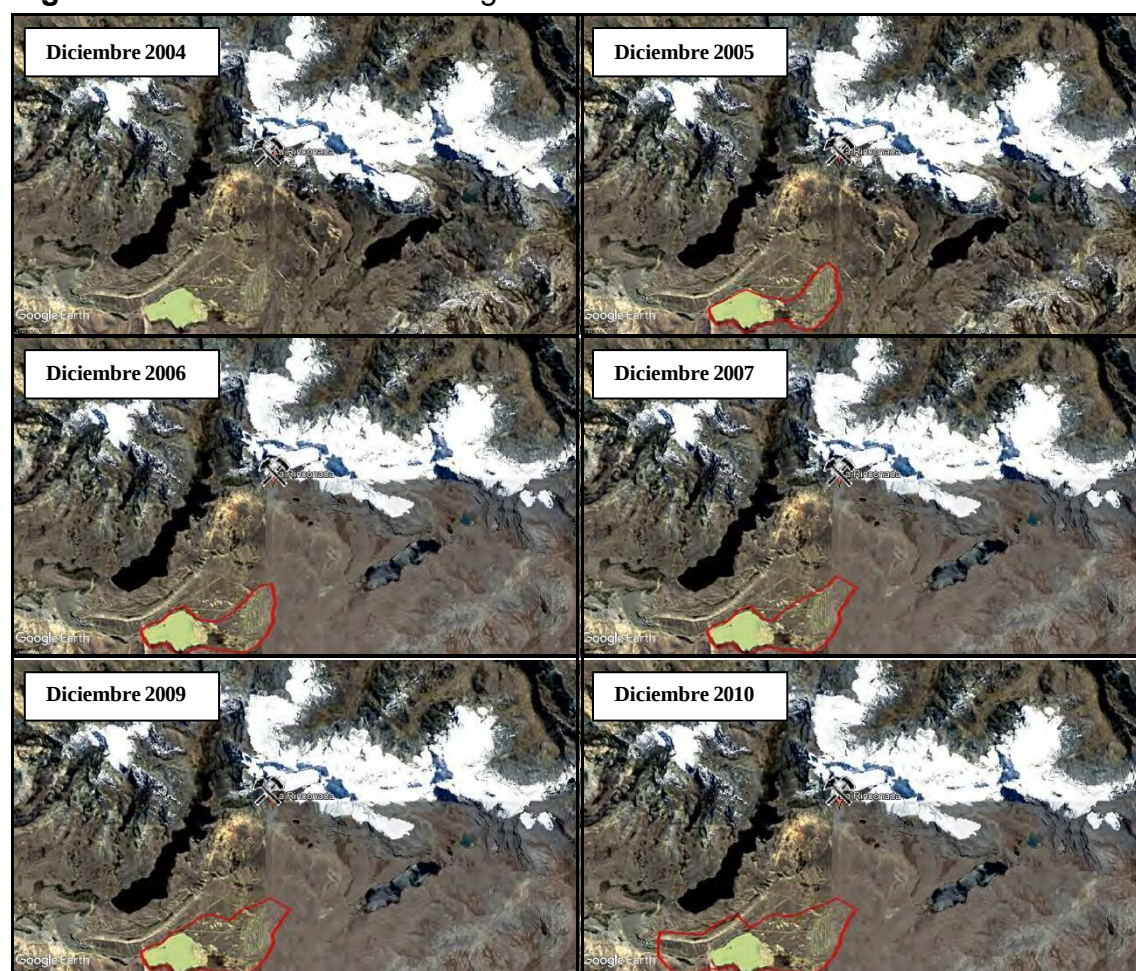
Figura 22. Evolución de la cobertura de suelo en La Rinconada (1990 – 2022).



Fuente: Elaboración propia. **Nota:** Esta figura nos muestra la evolución de la cobertura de suelo en La Rinconada.

Al revisar imágenes en Google Earth se pudo observar que el área degradada recién es distinguible a finales del 2005. En la imagen anterior no se puede observar zonas degradadas que pudieran ser clasificadas. La clasificación de cobertura del año 2005 se realizó con una imagen del mes de junio, por ello, la clasificación de este año no muestra áreas degradadas, que recién aparecen en la clasificación del 2010. No obstante, el área degradada empieza a expandirse a finales del 2005. En 2010 el área degradada cercana a la Rinconada ocupaba 1 774.1 ha y para el 2022 se expandió casi el doble (3 389.1 ha).

Figura 23. Evolución del área degradada 2004 – 2010.

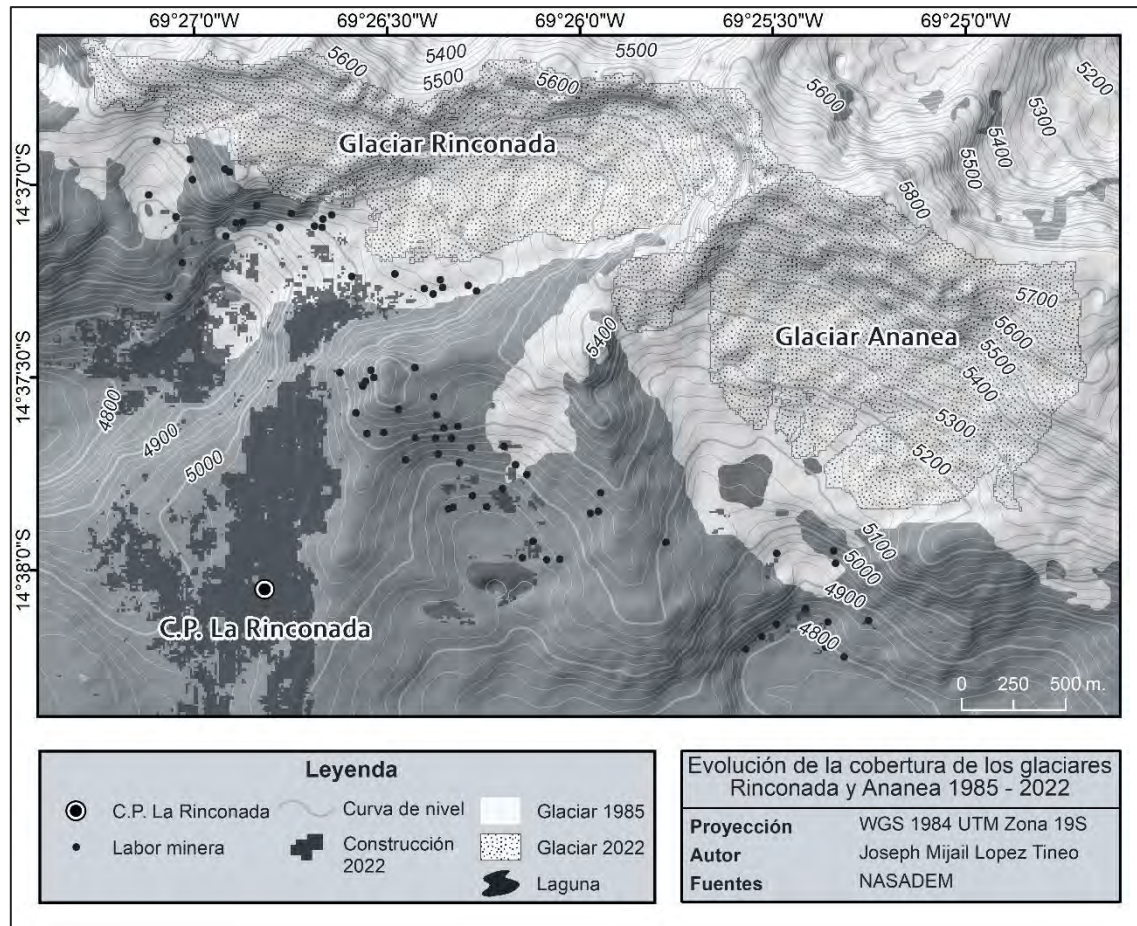


Fuente: Elaboración propia con imágenes de Google Earth. **Nota:** Esta figura nos muestra como el área se degrada de diciembre 2004 a diciembre del 2010.

La aparición y crecimiento del área degradada coincide con el periodo en el que el precio del oro empieza a aumentar, así como, con el periodo en el que el área urbana tuvo su mayor expansión relativa (2005 – 2010). Esto podría indicar que el alto valor del oro sería uno de los desencadenantes de los cambios en la cobertura del suelo no-natural en la zona colindante a La Rinconada. Sin embargo, en estos sistemas puede haber un efecto retraso. Es decir, cuando el precio del oro aumenta, con el tiempo se puede observar un incremento de la actividad, seguido por un crecimiento poblacional y finalmente, una degradación ambiental.

La expansión del área urbana y área degradada es de importancia para esta investigación debido a que se relacionan con el retroceso glaciar en la zona cercana a La Rinconada. E área urbana y área degradada escalaron altitudinalmente, alcanzando zonas que antes estaban cubiertas por glaciares. Además, se observa que las labores mineras actuales se ubican en zonas en las que en 1985 estaban cubiertas por glaciares. La cuestión radica en determinar cómo sucedió este proceso. Si el retroceso glaciar ocurrió inicialmente y luego las áreas urbanas, degradadas y labores mineras ocuparon el espacio liberado. O, por otro lado, si el crecimiento de las áreas urbanas y degradadas y, la apertura de labores mineras provocó directamente la pérdida glaciar, debido a la remoción de masas de hielo para su expansión. Lo que es más probable, es que estos fenómenos puedan ser el resultado de efectos combinados, es decir, que varíen de acuerdo con periodos o procesos específicos.

Figura 24. Evolución de la cobertura de los glaciares Rinconada y Ananea 1985 – 2022
Fuente: Lopez Tineo, Joseth (2023).



Fuente: Elaboración propia. **Nota:** Esta figura nos muestra la evolución de la cobertura de los glaciares Rinconada y Ananea.

A pesar de las limitaciones de la falta de metodologías validadas para la evaluación de la relación entre minería y retroceso glaciar, esta investigación ha construido una metodología, que puede ser mejorada, para la investigación de este tema.

El NDSI y RF se realizaron con el objetivo de correlacionar los resultados con indicadores socioeconómicos ligados a la minería, con el propósito de determinar si existe una relación entre retroceso glaciar y la minería en La Rinconada. La elección de estos indicadores fue, en cierta medida, arbitraria, ya que no se tienen antecedentes que

evalúen esta relación de manera estadística. Sin embargo, al ensayar las correlaciones se halló que sí existe una relación entre impactos mineros, representados por estos indicadores, y el retroceso glaciar. Si bien mostró ser una metodología funcional para este tema, se puede mejorar más, para de este modo tener una mayor certeza en la relación de estos procesos. Para ello, es necesario tener estas variables con un número mayor de datos.

Figura 25. Toma fotográfica de los glaciares de la zona La Rinconada (2018).



Fuente: Fotografía propia. **Nota:** Esta fotografía nos muestra el nevado en el glaciar Rinconada cerca a la población.

Figura 26. Toma fotográfica de los glaciares de la zona La Rinconada (2025).



Fuente: Fotografía propia. **Nota:** Esta figura nos muestra el retroceso y degradación del glaciar Rinconada.

4.7. DISCUSIONES

La investigación demuestra que el 34.78% del impacto negativo ambiental proviene exclusivamente de la minería informal artesanal. Metodológicamente, esto expone una debilidad estructural en los sistemas de control del Estado peruano. Instituciones como la Dirección Regional de Energía y Minas (DREM) u OEFA han dejado un vacío de poder regulatorio.

Este vacío es aprovechado por los operadores informales para eludir la normativa de Seguridad y Salud Ocupacional, así como las auditorías ambientales. La informalidad no es solo un estatus legal; en La Rinconada actúa como un incentivo perverso para la reducción de costos operativos a expensas de la destrucción ecológica irreversible y la precarización de la vida humana.

Al contrastar las evidencias de la muerte de aves migratorias no son eventos aislados, sino un colapso ecosistémico agudo. El agua ha dejado de ser un recurso vital para convertirse en un vector de toxicidad que avanza hacia el río Ramis, amenazando la seguridad alimentaria de toda la cuenca.

El retroceso del 40% de la masa glaciar respecto al año 2005 no se debe únicamente al cambio climático global, sino a un microclima térmico artificial generado por la propia actividad minera. La operación desordenada de plantas procesadoras y grupos electrógenos diésel a solo 100 o 200 metros de los bloques de hielo rompe el balance térmico de un glaciar tropical.

En la tesis " Evaluación ambiental de aguas superficiales y sedimentos en la cuenca del río Tablachaca. Pallasca Ancash: Universidad Nacional de Ingeniería" (Salva MA, 2007).

En la tesis "Contaminación del Agua Superficial y Sedimentos Por Mercurio en La Rinconada, Originado Por la Minería Informal (ANANEA- Puno)" (Ccanapa, 2015).

En la tesis "Minería informal como generadora de la contaminación ambiental en el distrito de Contumazá, región de Cajamarca: 2019 – 2020" (Rodriguez WC, 2020).

Los trabajos citados llegan a la conclusión de que la minería informal genera graves problemas relacionados al medio ambiente por lo que en La Rinconada (Puno) en 2024 ha generado graves impactos ambientales: contaminación de suelos y aguas por relaves, presencia de metales pesados, deterioro de ecosistemas y crisis de salud pública. Estos autores coinciden en que la falta de control estatal y la informalidad minera han convertido la zona en un foco de riesgo ambiental y social.

En síntesis, la minería informal en La Rinconada no solo es un problema ambiental, sino también social y político. La solución requiere acciones coordinadas entre Estado, sociedad civil y organismos internacionales, con enfoque en sostenibilidad y justicia ambiental.

CONCLUSIONES

1. Los hallazgos de esta investigación permiten concluir de forma general que existe una relación de causa-efecto directa entre el desorden operativo de la minería informal y la pérdida de resiliencia ecosistémica en La Rinconada. Las metodologías de impacto ambiental aplicadas confirman que la explotación de oro desborda la capacidad de carga del entorno, impactando de forma irreversible en dos recursos estratégicos: el agua superficial/subterránea y las masas glaciares que dan origen al río Ramis. La alteración física de la morfología del terreno y las vibraciones por voladuras aceleran la inestabilidad de las masas de hielo y roca, al tiempo que la nula gestión de relaves y desmontes genera efluentes ácidos y lixiviados metalíferos que inutilizan las fuentes de agua locales. Esta alarmante degradación del medio inerte repercute en cadena sobre el sistema biótico (flora y fauna acuática) y la percepción de la población, demostrando que los ingresos económicos a corto plazo derivados de la informalidad minera no compensan el pasivo ambiental crónico infligido a la cuenca.
2. El análisis comparativo de las metodologías empleadas (CRI, RIAM y método de Vicente Conesa) converge en que el medio físico es el sistema con mayor degradación a causa de la minería informal en La Rinconada. A través del método CRI, se determinó que este componente concentra el 47.0 % de las afectaciones de la cuenca. Por su parte, la evaluación RIAM precisa que las mayores alteraciones negativas críticas corresponden a la topografía (-27 unidades) y a la calidad del agua superficial (-21 unidades). Este escenario es ratificado mediante el método de Conesa, el cual identifica al suelo como el componente con el impacto absoluto

negativo más severo (-347 puntos, equivalente al 8.9 % del total), seguido por la afectación morfológica. Enfoques que evidencian cómo la alteración del relieve condiciona los procesos de escorrentía e infiltración hídrica en la zona.

3. La presencia de metales pesados como arsénico (0.012 mg/L), cadmio (0.00145 mg/L), cromo total (0.0245 mg/L), mercurio (0.0003 mg/L) y plomo (0.045 mg/L), lo que demuestra el impacto de la actividad extractiva. Si bien ciertos parámetros cumplen con la normativa vigente, los niveles críticos registrados para el arsénico y el plomo confirman la degradación hídrica causada por pasivos ambientales mineros, una situación que altera la calidad del agua y constituye una amenaza latente para la salud pública.
4. La investigación determina que la actividad minera informal ha provocado un retroceso y una degradación sumamente preocupantes. El análisis espacial y temporal demuestra que la cobertura glaciar se redujo en 69.3 km² entre los años 1985 y 2022, lo cual equivale a una alarmante pérdida del 43 % de su área original pasando de 161.4 km² a 92.1 km². Los resultados demuestran que las operaciones de las empresas mineras informales han roto el equilibrio dinámico del glaciar, acelerando de forma irreversible su desborde y fusión física.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda promover una reconversión tecnológica e industrial obligatoria en los procesos de beneficio de oro de los operadores de La Rinconada, orientada a erradicar definitivamente el uso de mercurio y optimizar la disposición de desmontes estériles. Para ello se debe financiar la implementación de plantas de procesamiento centralizadas y ecoeficientes que adopten circuitos de concentración gravimétrica (como mesas vibratorias o concentración gravimétrica) y sistemas cerrados de recirculación de agua. Asimismo, estas operaciones deben incorporar planes de cierre progresivo que mitiguen las vibraciones por voladuras en zonas próximas al glaciar Rinconada.
2. Ante el elevado número de impactos negativos atribuidos a la minería artesanal y al proceso de amalgamación, resulta imperativo promover la transición tecnológica de los operadores locales mediante la sustitución progresiva del mercurio por procesos metalúrgicos más eficientes (como mesas vibratorias o concentración gravimétrica). Asimismo, se recomienda que el Estado, en coordinación con las asociaciones mineras, viabilice un programa de formalización integral que condicione la continuidad operativa al cumplimiento estricto de Instrumentos de Gestión Ambiental para la Formalización Activa.
3. La concentración de As, Cd, Cr, Hg y Pb en el río Ramis es un claro indicador del impacto minero en la zona. Frente a este escenario, se recomienda que el Estado intensifique las labores de fiscalización, ejecute la remediación de pasivos ambientales y garantice un monitoreo constante del recurso hídrico. Con la

ejecución de estas estrategias, se logrará disminuir el nivel de toxicidad en la cuenca y proteger la salud pública.

4. Esta investigación no ha realizado una verificación directa en la zona de estudio, se sugiere recopilar datos de campo en futuras investigaciones para respaldar estos hallazgos. Además, el monitoreo directo en el terreno permitirá evaluar el verdadero impacto físico de las operaciones mineras en los glaciares y detectar otros procesos en desarrollo.

BIBLIOGRAFÍA

- Amat, J. (2000). *Control de gestión: una perspectiva de dirección*. Gestión 2000.
- Ccanapa, Y. (2015). *Contaminación del Agua Superficial y Sedimentos Por Mercurio en la Rinconada, Originado Por la Minería Informal (ANANEA- Puno)*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Del Altiplano]:
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/1908>
- Centro de Estudios Estratégicos del Ejército del Perú. (4 de mayo de 2024). *Destrucción de la seguridad hídrica y minería en el sur del Perú: ¿Un atentado a las generaciones futuras?* CEEP: <https://ceeeep.mil.pe/2024/04/11/destruccion-de-la-seguridad-hidrica-y-mineria-en-el-sur-del-peru-un-atentado-a-las-generaciones-futuras>
- Chávez, A., Salas, G., Cuadros, J., & Gutiérrez, E. (1996). *Geología de los cuadrángulos de Putina y La Rinconada (Boletín N° 66)*. INGEMMET / Universidad Nacional San Agustín de Arequipa.
- Conesa, V. (2010). *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Corporación Minera Ananea S.A. (2008). *Plan de Minado y Planta de Beneficio de la Unidad Económica Administrativa Ana María*. Puno: Corporación Minera Ananea S.A.
- Cuadros, J. (2013). La minería informal en el Perú. Minería y movimientos sociales en el Perú. Instrumentos y propuestas para la defensa de la vida, el agua y los territorios. En R. Hoetmer, *Minería y movimientos sociales en el Perú. Instrumentos y propuestas para la defensa de la vida, el agua y los territorios*. Programa Democracia y Transformación Global (PDTG) y CooperAcción.
- Cuentas, M. (2009). *Evaluación cualitativa del impacto ambiental generado por la actividad minera en La Rinconada Puno*. [Tesis de maestría, Universidad de Piura]:

- https://www.academia.edu/5497074/Evaluaci%C3%B3n_cualitativa_del_impacto_ambiental_generado_por_la_actividad_minera_en_La_Rinconada_Puno
- García, L. (2004). *Aplicación del análisis multicriterio en la evaluación de impactos ambientales*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM). (2023). *Inventario Nacional de Glaciares y Ecosistemas de Montaña*. Plataforma INAIGEM: <https://inaigem.gob.pe/inventario-nacional-de-glaciares/>
- Leopold, L., Clarke, F., Hanshaw, B., & Balsley, J. (1971). *A procedure for evaluating environmental impact (Circular 645)*. U.S. Geological Survey.
- Liu, W., Zhao, J., Ouyang, Z., Söderlund, L., & Liu, G. (2005). Impacts of sewage irrigation on heavy metal distribution and contamination in Beijing, China. *Environment International*, 31(6), 805-812. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envint.2005.05.042>
- Liu, W.H., Zhao, J.Z Ouyang, Z.Y. (20 de junio de 2005). *Impacts Of sewage on heavy metal distribution and contamination in Beijing, Chna*. <https://doi.org/1016/j.envint.2005>.
- Ministerio de Energía y Minas. (4 de Junio de 1992). *Decreto Supremo N.° 014-92-EM. Aprueban el Texto Único Ordenado de la Ley General de Minería*. <https://www.gob.pe/institucion/minem/normas-legales/741037-014-92-em>
- Ministerio del Ambiente. (2011). *Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental y su Reglamento*. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/10/Ley-y-reglamento-del-SEIA1.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (19 de Abril de 2012). *Decreto Legislativo N.° 1105. Decreto Legislativo que establece disposiciones para el proceso de formalización de las actividades de pequeña minería y minería artesanal*. <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-legislativo-n-1105>

Ministerio del Ambiente. (2025 de Marzo de 2013). *Decreto Supremo N.° 002-2013-MINAM*.

Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo.

<https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-011-2017-minam/>

Organización Internacional de Normalización. (2015). *Sistemas de gestión ambiental:*

Requisitos con orientación para su uso (ISO 14001:2015).

Pérez, A., & Valdivia, J. (2022). *Evaluación geológica y geodinámica en la cuenca del río Rímac*

(Informe Técnico N° A7354). Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET).

Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET):

<https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/3997>

Rodriguez WC. (2020). *Minería informal como generadora de la contaminación ambiental en el distrito de Contumazá, región de Cajamarca: 2019 – 2020*. [Tesis de maestría];

Cajamarca: Universidad Cesar Vallejo:

https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCVV_bbb6f4e30890cfb1a1689257084ab55d

Salva MA. (2007). *Evaluación ambiental de aguas superficiales y sedimentos en la cuenca del río Tablachaca*. [Tesis de maestría]; Lima: Universidad Nacional de Ingeniería:

<https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/113>

Torres, V. (2015). *Minería ilegal e informal en el Perú: impacto socioeconómico*. CooperAcción.

Lima: <https://gemini.google.com/>

Velasquez, A. (2023). *Determinación de la contaminación por mercurio en agua y sedimentos en el Centro Poblado la Rinconada – Puno*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional

Del Altiplano]: <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/20334>

ANEXOS

ANEXO 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES / DIMENSIONES	METODOLOGÍA
Problema General Las empresas mineras informales e ilegales que explotan oro en la Región de Puno localidad, La Rinconada, País Perú, vienen causando la contaminación ambiental generando impactos ambientales en el agua y los glaciares.	Objetivo General Determinar los efectos de la minería aurífera informal en la mitigación ambiental de la localidad de La Rinconada.	Hipótesis General La minería informal en la localidad de La Rinconada - Puno, genera efectos significativos en el ambiente, la salud y la economía local debido al uso de químicos tóxicos y prácticas no reguladas.	Variable 1 Actividad minera realizada por las empresas minerales informales Dimensiones: Propósito Método: Evaluación, Recursos.	Enfoque: Cuantitativo y cualitativo Tipo: Sustantivo básico Población: Empresas mineras que laboran en La Rinconada Diseño: Descriptivo experimental Muestra: Empresa Titan y Corporación Ananea. Técnicas e instrumentos de recolección de datos: Encuestas y registros de profesionales en situación laboral activo. Herramienta: Microsoft Excel Análisis: Cualicuantitativo.
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	Variable 2	
¿Cuál es la influencia de la minería informal en la contaminación ambiental de La Rinconada?	Precisar la influencia de la minería informal en la contaminación ambiental de la localidad de La Rinconada.	La minería informal incrementa significativamente la contaminación ambiental en la localidad de La Rinconada.	Daño y contaminación del río Ramis Dimensiones: Daño, contaminación, actividad minera, empresas informales Localidad: La Rinconada	
¿Cuál es el nivel de contaminación en el Río Ramis en la localidad de La Rinconada?	Determinar el nivel de contaminación en el río Ramis de la localidad de La Rinconada.	La actividad minera realizada por las empresas mineras informales en la localidad de La Rinconada eleva de manera crítica el grado de contaminación por metales pesados en el río Ramis.		
¿Cuál es el nivel de afectación de la minería informal en el retroceso y degradación del glaciar Rinconada?	Conocer el área de retroceso y degradación del glaciar Rinconada por efectos de la minería informal en la localidad de La Rinconada.	La minería informal acelera el proceso de retroceso y degradación del glaciar Rinconada.		

ANEXO 2: RESULTADO DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE AGUA DEL RIO RAMIS



MEGALABORATORIOS QUÍMICOS DE LOS ANDES S.A.C.
AGUAS – SUELOS – MINERALES Y OTROS.
CON EQUIPOS CALIBRADOS Y CERTIFICADOS POR
COMPARACIÓN DE TRAZABILIDAD DIRECTA DE INACAL.
RUC: 20612800741.

INFORME DE ENSAYO /MQA RESULTADO DE ANALISIS

ASUNTO: ANALISIS FISICO-QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE AGUA.

PROCEDENCIA: RIO RAMIS – JULIACA – SAN ROMÁN – PUNO
INTERESADO: BRAYHAM ANGEL CUTIPA BARRIALES
FECHA DE MUESTREO: 28/11/2025 (por el interesado)
FECHA DE ANALISIS: 29/11/2025

CARACTERÍSTICAS FÍSICO- QUÍMICAS:

PARAMETROS	UNIDAD	M - 01	M - 02	METODOLOGÍA
pH		8.37	8.18	Potenciometría
CE	$\mu S/cm$	1154.00	1167.00	Conductimetría
Salinidad	‰	0.13	0.12	Conductimetría
Sólidos Totales Disueltos	mg/l	562.20	558.60	Conductimetría
Dureza Total (como $CaCO_3$)	mg/l	260.00	268.00	Volumétrica
Alcalinidad (como $CaHCO_3$)	mg/l	22.27	23.68	Volumétrica
Cloruro (como Cl ⁻)	mg/l	304.87	310.87	Método Molin
Sulfato (como SO_4)	mg/l	81.80	46.80	Turbidimetría
Nitrato (como NO_3)	mg/l	2.10	1.80	Espectrofotometría
Calcio (como Ca^{++})	mg/l	72.00	80.00	Volumétrica
Magnesio (como Mg^{++})	mg/l	18.38	15.58	AAS / EDTA
Arsénico (como As)	mg/l	0.017	0.010	ICP-MS / HG-AAS
Cadmio (como Cd)	mg/l	0.0015	0.0014	ICP-MS / AAS
Cromo total (como Cr)	mg/l	0.026	0.021	ICP-MS / AAS
Mercurio (como Hg)	mg/l	<0.0003	<0.0003	CV-AAS / ICP-MS
Plomo (como Pb)	mg/l	0.045	0.041	ICP-MS / AAS

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO:

Coliformes totales	NMP/100ml	28	26	NMP 3-tubos (APHA 9221B)
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	3	3	NMP 3-tubos (APHA 9221C)

INTERPRETACION:

La muestra se recibió en el laboratorio.


DIRECTOR GENERAL


DIRECTOR GENERAL

Jr. Esmeralda N°193 URB. Villa Florida – a una cuadra del local Pergola - Puno
Cel. 973296546 – 983003185

FUENTE: LABORATORIOS QUÍMICOS DE LOS ANDES S.A.C.

ANEXO 3: RESULTADO DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUA DEL GLACIAR RINCONADA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE CIENCIAS

Av. de la Cultura 733 - Pabellón "C" Of. 106 1er. piso - Telefax: 224831 - Apartado Postal 921 - Cusco Perú



UNIDAD DE PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICO
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA

INFORME DE ANÁLISIS

Nº0189-25-LAQ

SOLICITANTE : EDU LASTEROS BARRIOS
MUESTRA : AGUA
FUENTE : GLACIAR
1.- Agua de Glaciar
2.- Contaminada del Glaciar
LUGAR : RINCONADA
DISTRITO : ANANEA
PROVINCIA : SAN ANTONIO DE PUTINA
REGION : PUNO
FECHA : C/26/06/2025

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO:

	1	2
Turbiedad NTU	0,19	1,84
pH	8,10	7,12
C.E. uS/cm	3,60	42,60
Dureza ppm CaCO ₃	2,40	32,80
Calcio ppm	0,91	11,70
Magnesio ppm	0	0,74
Cloruros ppm	1,40	10,30
Sulfatos ppm	0,80	1,24
Bicarbonatos ppm	1,90	17,66
Carbonatos ppm	0	0
Hierro ppm	0	0,02
Sales Solubles Totales ppm	8,40	53,84

ANÁLISIS DEL AGUA , JEAN RODIER , 9ª EDICION

Las muestras de Agua cumple con las especificaciones técnicas para consumo Humano.

Cusco, 14 de Julio 2025



FUENTE: UNIDAD DE PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICO –
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA

ANEXO 4: VISTA FOTOGRAFICA DE LA TOMA DE AGUA DE MUESTRA EN LA LAGUNA RINCONADA



FUENTE: FOTOGRAFIA PROPIA-LAGUNA RINCONADA

ANEXO 5: FOTOGRAFÍA DE AVES MUERTOS EN LA ZONA DE LA RINCONADA



FUENTE: FOTOGRAFIA PROPIA-AVE MUERTO POR INGERIR AGUA CONTAMINADA

ANEXO 6: FOTOGRAFÍAS DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL CON BASURAS O DESHECHOS



FUENTE: FOTOGRAFIA PROPIA-RESIDUOS SÓLIDOS EN LA LOCALIDAD DE LA RINCONADA



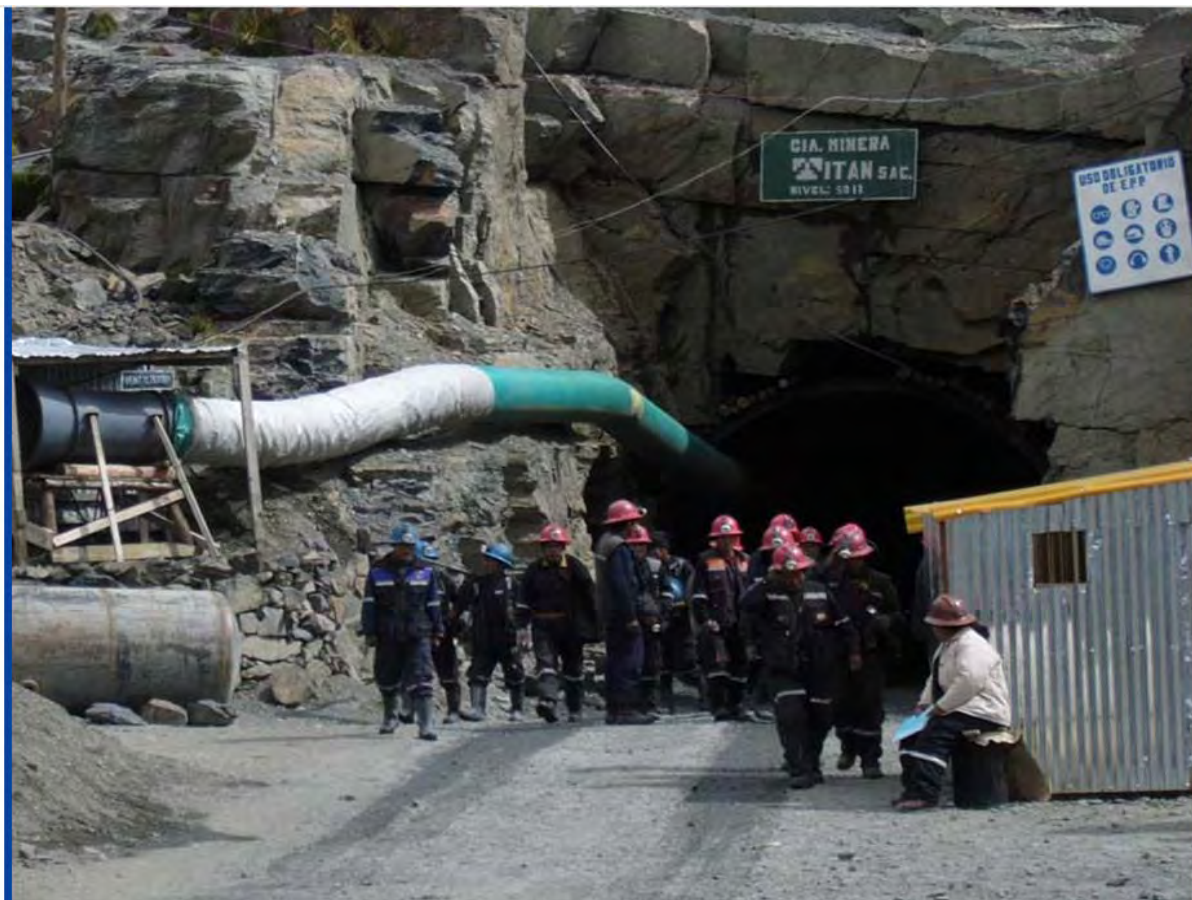
FUENTE: FOTOGRAFIA PROPIA-RESIDUOS SÓLIDOS AL INGRESAR A LA LOCALIDAD DE LA RINCONADA

ANEXO 6: FOTOGRAFIA DE LA ACTIVIDAD EXTRACTIVA DEL ORO EN LA RINCONADA MEDIANTE CARROS MINEROS



FUENTE: FOTOGRAFIA PROPIA-BOCA MINA SANTA ANA Y EXTRACCIÓN DE ORO MEDIANTE CARROS MINEROS

ANEXO 7: FOTOGRAFIA DE LA ENCUESTA A LOS TRABAJADORES MINEROS DE LA ZONA DE LA RINCONADA



FUENTE: FOTOGRAFÍA PROPIA-ENCUESTA A LOS TRABAJADORES EN LA BOCAMINA DE LA EMPRESA CIA. MINERA TITAN S.A.C.

ANEXO 8: DISMINUCIÓN DE HIELO EN EL GLACIAR RINCONADA



FUENTE: FOTOGRAFIA PROPIA- **NOTA:** RETROCESO Y DEGRADACION DEL GLACIAR RINCONADA