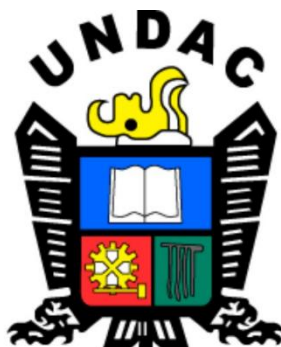


UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



T E S I S

**Estudio hidrológico e hidrogeológico para el cierre de labores mineras
subterráneas en la Unidad Minera Lincuna Tres de la Compañía
Minera Lincuna S.A. Ticapampa - Ancash - Perú**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Geólogo

Autor:

Bach. Godofredo Martín HUAMAN FUERTES

Asesor:

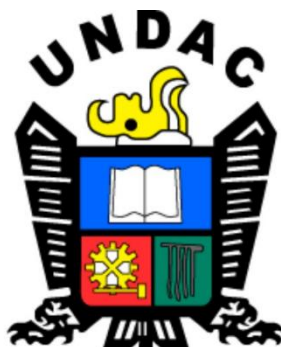
Mg. Javier LOPEZ ALVARADO

Cerro de Pasco - Perú – 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



T E S I S

**Estudio hidrológico e hidrogeológico para el cierre de labores mineras
subterráneas en la Unidad Minera Lincuna Tres de la Compañía
Minera Lincuna S.A. Ticapampa - Ancash - Perú**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Favio Máximo MENA OSORIO
PRESIDENTE

Mg. Saturnino Eleuterio FLORES COAGUILA
MIEMBRO

Mg. Vidal Víctor CALSINA COLQUI
MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión

Facultad de Ingeniería

Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 279-2025-UNDAC/UIFI

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23° del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, La Tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Tesis:

**Estudio Hidrológico e Hidrogeológico para el Cierre de Labores
Mineras Subterráneas en la Unidad Minera Lincuna Tres de la
Compañía Minera Lincuna S.A.
Ticapampa - Ancash - Perú**

Apellidos y nombres de los tesisistas
Bach. Godofredo Martin HUAMAN FUERTES

Apellidos y nombres del Asesor:
Mg. Javier LOPEZ ALVARADO

Escuela de Formación Profesional
Ingeniería Geológica

Índice de Similitud
19 %

APROBADO

Se informa el Reporte de evaluación del software similitud para los fines pertinentes.

Cerro de Pasco, 2 de junio del 2025



Firmado digitalmente por PALOMINO
190960 Ruben Edgar FAU
20154805048 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 02.06.2025 23:28:32 -05:00

DEDICATORIA

A mi padre Gonzalo, por enseñarme el valor de la responsabilidad y la disciplina, pilares esenciales para el desarrollo tanto personal como profesional.

A mi madre Luz Mercedes, por su amor inquebrantable y su fe en mí, incluso en los momentos más difíciles.

A mis hermanos Edgar e Ysabel, por su constante apoyo y por creer en mí sin condiciones, aún en los momentos más inciertos.

Y a mis hijas, Pamela y Nazly, razón profunda de cada esfuerzo, inspiración diaria y esperanza viva en el futuro.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, por haberme formado en la carrera de Ingeniería Geológica y por ofrecerme un entorno académico que ha sido fundamental en el desarrollo de mis conocimientos y habilidades.

Mi agradecimiento especial al Mg. Saturnino Flores Coaguila, por su constante apoyo, su orientación técnica y las valiosas recomendaciones que enriquecieron significativamente este trabajo. Su dedicación y experiencia fueron esenciales en este proceso.

Asimismo, agradezco al Dr. Favio Mena Osorio, por su colaboración generosa y su disposición para compartir sus conocimientos, los cuales fueron determinantes para la calidad de este proyecto.

Finalmente, expreso mi sincero reconocimiento al Ing. Roger Soto Guillermo, por su apoyo constante, su disposición para guiarme en los momentos más desafiantes y por la confianza que siempre depositó en mí. Su acompañamiento fue clave en la realización de esta tesis y ha dejado una marca significativa en mi formación profesional.

A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento por su tiempo, compromiso y apoyo incondicional.

RESUMEN

Esta investigación aborda el “ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO PARA EL CIERRE DE LABORES MINERAS SUBTERRÁNEAS EN LA UNIDAD MINERA LINCUNA TRES DE LA COMPAÑÍA MINERA LINCUNA S.A. TICAPAMPA-RECUAY-ANCASH”; tiene como objetivos específicos: determinar las características hidrológicas, evaluar las características geoestructurales e hidrogeológicas, diseñar un modelo hidrogeológico que permita interpretar el estudio hidrológico e hidrogeológico.

La metodología implementada consta de una fase de campo y otra de análisis de gabinete, las herramientas y materiales utilizados son: planos topográficos, geológicos, GPS, brújula, picota, bolsa de muestreo, pizarra acrílica, medidor multiparámetro portátil, etc. Los resultados de las características hidrológicas derivan de los parámetros geomorfológicos e hidrometeorológicos presentados en el proceso de balance hídrico. Las características geoestructurales corresponden a afloramientos de rocas volcánicas del Grupo Calipuy, depósitos glaciares y fluvioglaciares cortadas por fallas, vetas fallas y sistemas de diaclasamiento. Hidrogeológicamente corresponde a acuíferos porosos no consolidados y acuíferos fisurado o fracturados, ambos de extensión local; el modelo hidrogeológico muestra la zona de recarga y descarga del acuífero y el flujo en dirección de la pendiente.

En conclusión, presenta acuíferos de alta permeabilidad y porosidad primaria compuesta por depósitos cuaternarios y acuíferos fisurado con baja permeabilidad y porosidad secundaria conformados por rocas volcánicas del Grupo Calipuy, donde el flujo del agua subterránea almacenados en los acuíferos y fuentes hídricas escurre a través de fracturas, fallas, vetas y planos pseudoestratificados.

Palabras clave: Hidrología, hidrogeología, labor minera, permeabilidad, porosidad.

ABSTRACT

This research addresses the "HYDROLOGICAL AND HYDROGEOLOGICAL STUDY FOR THE CLOSURE OF UNDERGROUND MINING OPERATIONS IN THE LINCUNA THREE MINING UNIT OF COMPAÑÍA MINERA LINCUNA S.A., TICAPAMPA–RECUAY–ANCASH." Its specific objectives are: to determine the hydrological characteristics, evaluate the geostructural and hydrogeological features, and design a hydrogeological model to interpret the hydrological and hydrogeological study.

The implemented methodology consists of a field phase and a desktop analysis phase. The tools and materials used include: topographic and geological maps, GPS, compass, pickaxe, sampling bags, acrylic board, portable multiparameter meter, among others. The results of the hydrological characteristics are derived from geomorphological and hydrometeorological parameters presented through a water balance process. The geostructural features correspond to outcrops of volcanic rocks from the Calipuy Group, glacial and fluvioglacial deposits intersected by faults, fault-veins, and joint systems. Hydrogeologically, the area comprises unconsolidated porous aquifers and fractured aquifers, both of local extent. The hydrogeological model shows the recharge and discharge zones of the aquifer and groundwater flow in the direction of the slope.

In conclusion, the area presents aquifers with high permeability and primary porosity composed of Quaternary deposits, as well as fractured aquifers with low permeability and secondary porosity formed by volcanic rocks of the Calipuy Group, where groundwater stored in aquifers and water sources flows through fractures, faults, veins, and pseudo-stratified planes.

Keywords: Hydrology, hydrogeology, mining operation, permeability, porosity.

INTRODUCCIÓN

La fuente de agua superficial y subterránea representa el elemento vital para la supervivencia del hombre, más aún cuando este lo utiliza para los distintos usos, entre los de mayor importancia están los de abastecimiento para uso poblacional, agrícola, pecuario, minero, energético y otros de menor envergadura como para el uso y mantenimiento de las especies silvestres de flora y fauna existentes (uso ecológico), por lo tanto es necesario definir, su ubicación, cantidad, calidad, y distribución dentro del área del proyecto y/o microcuenca.

Para ello, se ha realizado un estudio hidrológico e hidrogeológico para el plan de cierre de labores subterráneas en la Unidad Minera Lincuna Tres de la compañía Minera Lincuna S.A, contando para este fin, con profesionales especialistas y un equipo técnico de campo. La presente Tesis elabora una guía técnica con una descripción detallada de los trabajos realizados en campo y gabinete.

En la fase de campo se realizó el mapeo geológico, estructural e hidrogeológico de las labores mineras consideradas a Cerrar; asimismo se realizó el inventario de fuentes de agua y la evaluación de la calidad de agua.

En la fase de gabinete se efectuó los cálculos morfológicos e hidrometereológicos considerando las teorías, técnicas, y modelos de usos cotidianos en la actualidad. Con la data obtenida nos permite la evaluación hidrogeológica y para ello se elaboró el modelo geológico conceptual que se analizará, interpretará y se obtendrá un diagnóstico en la influencia en el cierre de las labores subterráneas.

Estas fases se encuentran detalladas dentro de la estructura de la investigación que está dividida mediante capítulos e integrado con conclusiones y recomendaciones.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.	Identificación y Determinación del Problema.....	1
1.2.	Delimitación de la Investigación.....	2
1.3.	Formulación del Problema	2
1.3.1.	Problema General	3
1.3.2.	Problemas Específicos.....	3
1.4.	Formulación de Objetivos	4
1.4.1.	Objetivo General	4
1.4.2.	Objetivos Específicos	4
1.5.	Justificación de la Investigación.....	4
1.6.	Limitaciones de la Investigación	6

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes de Estudio.....	7
2.2.	Bases Teóricas – Científicas.....	11

2.2.1.	Hidrología.....	11
2.2.2.	Hidrogeología	22
2.3.	Definición de Términos Básicos	26
2.4.	Formulación de Hipótesis:.....	27
2.4.1.	Hipótesis General	27
2.4.2.	Hipótesis Específicas.....	27
2.5.	Identificación de Variables.....	28
2.6.	Definición Operacional de Variables e Indicadores	28

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1.	Tipo de Investigación	30
3.2.	Nivel de Investigación.....	30
3.3.	Métodos de Investigación.....	31
3.4.	Diseño de Investigación	32
3.5.	Población y Muestra	32
3.6.	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	32
3.7.	Selección, Validación y Confiabilidad de los Instrumentos de Investigación ...	33
3.8.	Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos	33
3.9.	Tratamiento Estadístico	33
3.10.	Orientación Ética Filosófica y Epistémica	33

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Descripción del Trabajo de Campo	34
4.1.1.	Ubicación.....	34
4.1.2.	Accesibilidad	36

4.1.3.	Contexto Regional	38
4.1.4.	Contexto Local	50
4.1.5.	Situación Actual de las Labores Mineras	56
4.1.6.	Inventario de Fuentes de Agua	61
4.1.7.	Evaluación de la Calidad de Agua In situ	67
4.2.	Presentación, Análisis e Interpretación de Resultados	70
4.2.1.	Características Hidrológicas	70
4.2.2.	Características Geoestructurales e Hidrogeológicas	86
4.2.3.	Modelamiento Hidrogeológico Conceptual	93
4.3.	Prueba de Hipótesis	97
4.4.	Discusión de Resultados	98
CONCLUSIONES		
RECOMENDACIONES		
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Valores y Clasificación del Coeficiente de Compacidad	16
Tabla 2: Valores y Características de la Densidad de Drenaje.....	18
Tabla 3: Operacional de Variables e Indicadores.....	29
Tabla 4: Accesibilidad.....	37
Tabla 5: Labores Mineras Lincuna Tres.....	57
Tabla 6: Ubicación de las Fuentes y Puntos de Evaluación de Calidad de Agua	62
Tabla 7: Valores de Parámetros Físico Químicos de Aguas Superficiales	68
Tabla 8: Parámetros Geomorfológicos	70
Tabla 9: Estaciones Meteorológicas Analizadas	71
Tabla 10: Relación Altitud (msnm) Vs. Precipitación Media Anual (mm)	76
Tabla 11: Variación Mensual de la Precipitación en la Zona de Proyecto.....	77
Tabla 12: Evapotranspiración Potencial- Método de Blaney - Criddle.....	78
Tabla 13: Evapotranspiración Potencial- Fórmula de Thornthwaite- (Lincuna Tres) ...	81
Tabla 14: Evaporación Mensual de Lagunas (mm).....	82
Tabla 15: Resultados de la Generación de Caudales para el año Promedio (m ³ /s)	83
Tabla 16: Resumen de Infiltración Mensual (mm) en la Unidad Minera Lincuna Tres	85
Tabla 17: Balance Hídrico en la Microcuenca de Lincuna Tres	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Representación del Ciclo Hidrológico	13
Figura 2: Esquema de una Cuenca	14
Figura 3: Ordenación de una Red de Canales según Strahler	17
Figura 4: Ubicación Política y Geográfica	35
Figura 5: Ubicación Hidrográfica.....	36
Figura 6: Accesibilidad.....	37
Figura 7: Geomorfología Regional.....	39
Figura 8: Fisiografía Regional.....	40
Figura 9: Climatología Regional	41
Figura 10: Columna Estratigráfica Regional.....	43
Figura 11: Geología Regional	44
Figura 12: Tectónica y Estructural	50
Figura 13: Montaña en Roca Volcánica Calipuy	51
Figura 14: Geología Local.....	52
Figura 15: Afloramiento de Rocas del Grupo Calipuy.....	53
Figura 16: Depósitos Glaciares	54
Figura 17: Depósitos Glaciares, Fluviales.....	54
Figura 18: Depósitos Tecnógenos	55
Figura 19: Zona de Falla Geológica que afecta en el Área de Estudio	56
Figura 20: Afloramientos de Rocas Diaclasadas y Fracturadas	56
Figura 21: Ubicación de Labores Mineras	57
Figura 22: Vista de la Bocamina L3-B1-SS	58
Figura 23: Vista de la Chimenea L3-P11-SS	59
Figura 24: Vista del Rajo L1-R1-SS	60

Figura 25: Vista del Rajo L1-R2-SS	61
Figura 26: Vista de Lagunas y Represas	63
Figura 27: Vista de Quebradas	64
Figura 28: Ubicación de Lagunas y Quebradas.....	64
Figura 29: Manantiales Identificados dentro del Área de Estudio	65
Figura 30: Imágenes de los Bofedales Identificados dentro del Área del Proyecto	66
Figura 31: Ubicación de Manantiales y Bofedales.....	67
Figura 32: Ubicación de las Estaciones Meteorológicas.....	73
Figura 33: Precipitación Multianual Vs Tiempo	75
Figura 34: Correlación Altitud Vs. Precipitación Total Multi Anual (mm).....	76
Figura 35: Variación Mensual de la Precipitación en la Zona del Proyecto	77
Figura 36: Variación de la Evapotranspiración Total Multianual – Lincuna Tres.....	79
Figura 37: Variación de la Evapotranspiración Total Multianual – Lincuna Tres.....	81
Figura 38: Columna Estratigráfica en el Área de Estudio.....	87
Figura 39: Caracterización Hidrogeológica en el Área de Estudio	89
Figura 40: Vegetación Típica en la Zona de Estudio – Lincuna Tres	91
Figura 41: Sección Hidrogeológica del Área de Estudio	91
Figura 42: Sistema de Flujos Superficial en Lincuna Tres.....	94
Figura 43: Líneas Equipotenciales y Dirección de Flujo de Escorrentía Superficial.....	95
Figura 44: Sección Hidrogeológica Lincuna Tres.....	96
Figura 45: Modelo Hidrogeológico Conceptual Lincuna Tres.....	97

ANEXOS

Instrumentos de Recolección de Datos:

Fotos de Equipos Utilizados

Tabla de Recolección de Datos

Serie de Mapas:

Mapa 01: Ubicación Política

Mapa 02: Ubicación Hidrográfica

Mapa 03: Accesibilidad

Mapa 04: Geomorfología Regional

Mapa 05: Fisiografía Regional

Mapa 06: Climatología Regional

Mapa 07: Geología Regional

Mapa 08: Tectónica y Estructural

Mapa 09: Geología Local

Mapa 10: Ubicación de Labores Mineras

Mapa 11: Ubicación de Lagunas y Quebradas

Mapa 12: Ubicación de Manantiales y Bofedales

Mapa 13: Estaciones Meteorológicas

Mapa 14: Sistema de Flujos Superficial

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y Determinación del Problema

El Perú es un país de antigua tradición minera, tradición que se mantiene hasta la actualidad y que constituye una importante fuente de ingresos debido a la explotación y rentabilidad de los yacimientos minerales. Sin embargo, la industria minera del Perú hoy enfrenta una serie de desafíos, como garantizar cierres de minas sostenibles para la sociedad y la falta de responsabilidad ambiental de las empresas mineras, ya que crean un legado problemático tanto para la estructura de gestión (local, distrital, provincial y regional) y en general para toda la sociedad (Rodríguez & Julca, 2020).

La exposición de labores subterráneas mineras emplazados en la Unidad Minera Lincuna Tres de la Compañía Minera Lincuna S.A., genera impactos ambientales negativos. El impacto ambiental más significativo está relacionado con el recurso hídrico, debido al drenaje de aguas que contienen sulfuros disueltos provenientes de las labores subterráneas. El suelo también se ve gravemente afectado, tanto por la contaminación directa como por la erosión y la pérdida de

su capacidad fértil. Además, la alteración de hábitats naturales y la destrucción de pastizales naturales contribuyen a la pérdida de biodiversidad, lo que pone en peligro muchas especies, tanto animales como vegetales, que dependen de esos ecosistemas.

La Compañía Lincuna asume la responsabilidad de restablecer los impactos a través del cierre final de las labores mineras en la Unidad Minera Lincuna Tres y en cumplimiento a lo establecido por el Ministerio de Energía y Minas (2015) indica que “Uno de los parámetros importantes es el comportamiento del agua superficial y subterránea”. A través de la presente tesis se realizará un estudio hidrológico e hidrogeológico con el fin de determinar el comportamiento del agua superficial y subterránea en el área de influencia directa a la ubicación de la bocamina, chimenea y rajos considerados dentro del plan de cierre labores mineras subterráneas 2022. Esta información es importante para llevar a cabo estudios complementarios que permitan asegurar la sostenibilidad post cierre de las labores y restaurar de forma efectiva en su entorno.

1.2. Delimitación de la Investigación

Delimitación Espacial: Se encuentra delimitado por la Microcuenca Purush en la Unidad Minera Lincuna Tres de la Compañía Minera Lincuna S.A. que está ubicado en el distrito de Ticapampa, provincia de Recuay y departamento de Ancash.

Delimitación Temporal: Comprende desde el 01 de abril del 2022 hasta el 30 de diciembre del 2023; que equivale a un total de 21 meses.

1.3. Formulación del Problema

La industria minera en el Perú afrontará desafíos en las próximas décadas y uno de los principales desafíos será el recurso hídrico tanto en su potencial

afectación de calidad y cantidad, así como también los impactos de cambio climático y una exigencia de mejorar los indicadores de desempeño ambiental de la industria minera.

En el nivel de cierre de labores mineras la importancia es asegurar su estabilidad física y química; para ello se reúne los criterios, tecnologías, métodos, estándares, estudios hidrológicos, geológicos e hidrogeológicos y otras herramientas que respondan al desafío; y los resultados de la evaluación ayudaran a definir y diseñar las medidas de gestión que permitan asegurar la estabilidad física y química durante el cierre.

1.3.1. Problema General

¿De qué manera influye el estudio hidrológico e hidrogeológico para el cierre de labores mineras subterráneas en la Unidad Minera Lincuna Tres de la Compañía Minera Lincuna S.A.-2022?

1.3.2. Problemas Específicos

¿Cuáles son las características hidrológicas que influyen en el comportamiento de las aguas superficiales y subterráneas para el cierre de labores mineras en la Unidad Minera Lincuna Tres de la Compañía Minera Lincuna S.A.?

¿Cuáles son las características geoestructurales e hidrogeológicas que definan la permeabilidad del macizo rocoso y de qué modo influye en el comportamiento de las aguas superficiales y subterráneas para el cierre de labores mineras en la Unidad Minera Lincuna Tres de la Compañía Minera Lincuna S.A.?

¿De qué manera el modelo hidrogeológico conceptual permitirá la interpretación de un estudio hidrológico e hidrogeológico para el cierre de labores mineras en la Unidad Minera Lincuna Tres de la Compañía Minera Lincuna S.A.?

1.4. Formulación de Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Elaborar un estudio hidrológico e hidrogeológico para el cierre de labores mineras subterráneas en la Unidad Minera Lincuna Tres de la Compañía Minera Lincuna S.A.-2022.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar las características hidrológicas y de qué modo influyen en el comportamiento de las aguas superficiales y subterráneas para el cierre de labores mineras que comprende la Unidad Minera Lincuna Tres de la Compañía Minera Lincuna S.A.
- Evaluar las características geoestructurales e hidrogeológicas que defina la permeabilidad del macizo rocoso y de qué modo influye en el comportamiento de las aguas superficiales y subterráneas para el cierre de labores mineras en la Unidad Minera Lincuna Tres de la Compañía Minera Lincuna S.A.
- Diseñar un modelo hidrogeológico conceptual que permita interpretar el estudio hidrológico e hidrogeológico para el cierre de labores mineras en la Unidad Minera Lincuna Tres de la Compañía Minera Lincuna S.A.

1.5. Justificación de la Investigación

Ley que regula el cierre de minas N° 28090 y su reglamento, menciona que todo titular de actividad minera está obligado a realizar el cierre de las áreas, labores e instalaciones de una unidad minera, a través del Plan de Cierre de Minas y la constitución de garantías ambientales correspondientes (Congreso de la República del Perú, 2003).

El Ministerio de Energía y Minas (2023) menciona que el Plan de Cierre de Minas complementa el Estudio de Impacto Ambiental y el Programa de Adecuación y Manejo Ambiental correspondiente a las operaciones del titular de actividad minera, se presenta a nivel conceptual ante la Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros del Ministerio de Energía y Minas, de acuerdo a lo dispuesto en la normatividad vigente. En el contenido del Plan de Cierre de Minas, la estabilidad física y la estabilidad hidrológica son aspectos importantes, y para resolver esos aspectos se considera elaborar estudios hidrológicos e hidrogeológicos y obtener información detallada y necesaria y que de esta forma se permitirá definir criterios de cierre de mina, con el fin de rehabilitar el área utilizada y asegurar la protección de los recursos hídricos en el mediano y largo plazo.

El incumpliendo de plan de cierre de labores mineras en el plazo otorgado para su revisión eventual y aprobación por la Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros, la Dirección General de Minería procederá a sancionar al titular de la actividad minera con multas, la paralización de operaciones mineras hasta que se cumpla con la presentación del plan de cierre de mina.

Los recursos hídricos son cruciales para el desarrollo económico, ya que, con una correcta gestión del agua, beneficia directamente sectores clave como la agricultura, la industria, los ecosistemas acuáticos, por eso es importante la identificación y mitigación de los riesgos hídricos como la escasez, contaminación, desastres naturales y que de esta manera se obtenga estabilidad económica y reducción de costos de emergencias. En lo social el agua es un derecho humano fundamental, y su acceso adecuado es esencial para la salud, el bienestar y la calidad de vida de las comunidades. El estudio de hidrología e

hidrogeología tiene una fuerte justificación social, ya que contribuirá a garantizar que las fuentes de agua sean manejadas y aprovechadas por la población sin afectar a la salud pública ni que sean vulnerables a un impacto negativo. La correcta gestión de los recursos hídricos ayudará a reducir los conflictos sociales derivados por la contaminación de agua y es clave para promover la inclusión social y el desarrollo comunitario (Castro et al., 2022).

1.6. Limitaciones de la Investigación

Las limitaciones consideradas son; no tener información de estudios geofísicos, la falta de instalación de piezómetros y un presupuesto limitado para el estudio; lo que solo permitirá llegar a realizar un modelo hidrogeológico conceptual.

El modelo hidrogeológico conceptual permite visualizar de forma sencilla los elementos y características reales del sistema hidrogeológico en la zona de estudio y para ello se considerará estudios básicos (geología, hidrología, hidrogeología e hidroquímica).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de Estudio

Antecedente Internacional

“MODELAMIENTO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL DEL ACUÍFERO ALIMENTADOR DE TERMAS EL CORAZÓN, SAN ESTEBAN, REGIÓN DE VALPARAÍSO” (Jeldes, 2020), con el objetivo de generar un modelo hidrogeológico conceptual del acuífero alimentador de Termas el Corazón para comprender el comportamiento del acuífero, el cual está ubicado en el límite entre la depresión central y el frente cordillerano principal, San Esteban, Región de Valparaíso.

Para obtener resultados se determinó los rasgos y análisis geológicos, hidrológicos, hidrogeológicos y datos geofísicos para la realización del modelo conceptual del acuífero de termas el corazón permite determinar las siguientes conclusiones:

La geología y geomorfología de la zona de estudio se encuentra controlada por la falla Pocuro y por una falla ubicada al Este de la cuenca, las

cuales son responsables de pliegues en las rocas volcánicas andesíticas de la cuenca y el emplazamiento de un cuerpo intrusivo ígneo de composición granodiorítica.

El acuífero de Termas el Corazón se encuentra en un riesgo latente dado que solo presenta recarga por precipitaciones y no derivadas de otras fuentes, por lo que la ya declarada sequía en la zona de estudio preocupa tanto en el presente como a futuro, pudiendo afectar de manera importante el funcionamiento y permanencia de Termas el Corazón.

Antecedentes Regionales

“MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL PARA LA UBICACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE TAPONES HERMÉTICOS EN EL PROYECTO PARIGUANAS UNIDAD MINERA ORCOPAMPA-CIA DE MINAS BUENAVENTURA S.A.A.” (Miranda, 2019); el objetivo principal es determinar la influencia del modelo Hidrogeológico Conceptual en el diseño, ubicación y construcción de tapones de cierre herméticos en el proyecto Pariguana - Unidad minera Orcopampa Cía. de minas Buenaventura S.A.A. y se concluye:

Por las características Geológicas, geomecánicas e hidrogeológicas se recomienda ubicar, diseñar y construir tapones de cierre hermético de tipo identado y en las áreas destinadas.

Por el comportamiento geomecánico, hidrogeológico y el tipo de macizo rocoso es necesario realizar la impermeabilización y consolidación del macizo en el área de construcción de los tapones; con Inyecciones de resinas; así mismo ampliar la zona de impermeabilización hacia la bocamina a partir del segundo tapón construido, con tres anillos de inyección.

“MODELAMIENTO HIDROGEOLÓGICO DEL ACUÍFERO LIBRE MEDIANTE SOFTWARE MODFLOW EN LA COLPA” (Boñon, 2024); tiene como objetivos determinar el modelamiento hidrogeológico del acuífero libre en el Centro Poblado de la colpa, determinar las zonas de recarga y descarga que controlan el balance hídrico del acuífero libre, determinar la relación de la precipitación y evapotranspiración sobre el acuífero libre de la Colpa y concluyen

El modelamiento hidrogeológico del acuífero libre en la Colpa presenta una geometría irregular, con dirección sur-oeste a nor-este definiendo una gradiente hidráulica de 0.66° y un almacenamiento de $12.32E-3$ L/m³, las zonas de recarga en la microcuenca ocurren en el margen Suroeste de la microcuenca (Afloramiento de roca fracturada), y la descarga en la parte central de la microcuenca, con una napa freática cercana a la superficie entre 0.5 y 4.0m en la margen central sureste, la precipitación anual en la microcuenca La Colpa es mayor a la evapotranspiración, generando un valor de excedente hídrico de 497.7 mm de altura, y la evapotranspiración potencial es de 71.1mm. de altura, se da por la vegetación en la microcuenca, donde hay plantas con raíces no mayores a 45cm. de profundidad en su mayoría.

Antecedentes Locales

“INVESTIGACIÓN GEOLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA EN EL DISTRITO DE JANGAS – HUARAZ: COMO SOPORTE TÉCNICO EN LOS CONFLICTOS SOCIO AMBIENTALES” (Vásquez et al., 2015); el objetivo principal es conocer la relación entre la interacción de las aguas subterráneas con los yacimientos minerales, con la finalidad de explicar el estado actual de las características hidrogeológicas e hidroquímicas y determinar el origen de los

diferentes metales pesados encontrados en algunos sectores de las comunidades del distrito de Jangas. y concluye.

El mapa hidrogeológico, se desarrolló para representar cartográficamente las características hidrogeológicas de las rocas, en particular, aquellas con potencial de ser subterráneos (acuíferos).

Desde el punto de vista geológico, estructural e hidrogeológico, la zona evaluada muestra una concentración de metales pesados en algunas estaciones. Los valores de pH ácido, sulfatos elevados y algunos metales pesados, se ubican en los alrededores del yacimiento, las mismas que guardan una estrecha relación con el núcleo de la mineralización de Pierina (alteraciones vuggy sílica, argílica avanzada principalmente).

A partir de estas investigaciones se plantean las bases para la categorización de las aguas subterránea que sirvió como instrumento de gestión ambiental para replantear los estándares de calidad ambiental ECAs en esta zona y contribuyo a solucionar los conflictos socio-ambientales.

“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO DE LA MICROCUENCA HÉRCULES DE LA COMPAÑÍA MINERA LINCUNA S.A. – HUARAZ” (Quintana, 2021); tiene como objetivo principal efectuar el estudio hidrológico e hidrogeológico para determinar la cantidad y calidad de agua en la microcuenca hércules de la Minera Lincuna S.A. y concluye:

Se estimó las precipitaciones totales anuales y mensuales para las microcuencas en estudio; Dichas precipitaciones varían entre 0.40 y 126.40 mm para años promedio, 0.41 y 164.90 mm para años húmedo y entre 0.39 y 101.8 mm para años secos; Se calcularon caudales de generación de las cantidades de agua entre 0.06 y 49.21 l/s para los meses de Julio y febrero, respectivamente.

Las formaciones geológicas predominantes en la unidad de producción Hércules, están constituidas por rocas de origen volcánico, desde el punto de vista hidrogeológico estos son considerados como impermeables. La estructura principal en el proyecto es la falla Hércules que recorre paralelo a la quebrada del mismo nombre y la falla Infiernillo es transversal a la falla Hércules, desde esta falla principales nacen las fallas de diferente orden y orientación. El relleno fluvio glaciar y morrénico tapizan las rocas volcánicas, con espesores que van desde 1 m hasta los 5 m aproximadamente, la fuente de recarga de los acuíferos efímeros proviene de las intensidades de precipitación, habiéndose estimado la recarga en 43 mm/año. La calidad del agua en los puntos de monitoreo CAg-2 y IM-01, la concentración de los metales que superan los límites permisibles son el Zinc, Arsénico, sulfatos, entre otros, los cuales provienen del lixiviado de las rocas volcánicas.

2.2. Bases Teóricas – Científicas

2.2.1. Hidrología

La hidrología es una disciplina científica que se encarga del estudio del agua, abarcando su aparición, movimiento y distribución en la superficie terrestre, así como sus características químicas y físicas. Además, analiza su interacción con el entorno y su impacto sobre los seres vivos (Aparicio, 1989).

La hidrología trata a los fenómenos naturales involucrados en el ciclo hidrológico y el diseño hidrológico busca interpretar y cuantificar estos fenómenos, proporcionando así una base sólida para la realización de estudios, proyectos y la ejecución de obras en ingeniería hidráulica, infraestructura y gestión ambiental. El propósito del diseño hidrológico es recopilar, analizar y procesar datos a través de herramientas matemáticas y estadísticas, para

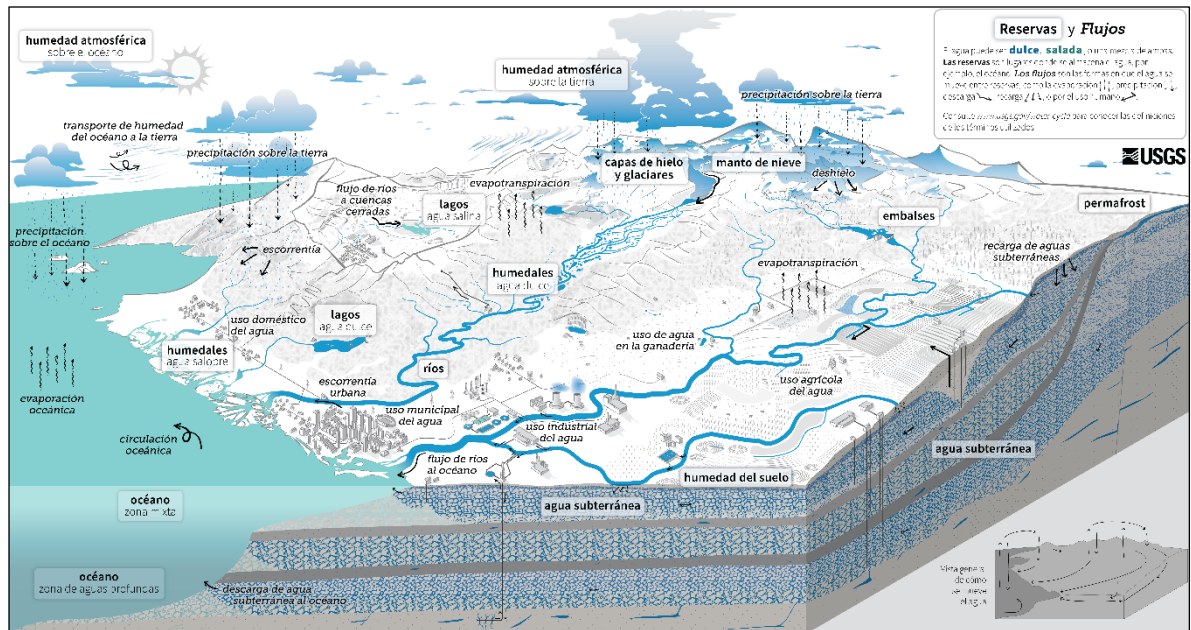
convertirlos en información precisa y confiable que permita abordar y resolver de manera efectiva los desafíos en el campo de la ingeniería (Fattorelli & Fernández, 2011).

Ciclo Hidrológico

De acuerdo a United States Geological Survey (2022) el ciclo hidrológico describe dónde se encuentra el agua en la Tierra y cómo se mueve. El agua se almacena en la atmósfera, en la superficie terrestre y debajo del suelo. Puede ser un líquido, un sólido o un gas. El agua líquida puede ser dulce (baja concentración de sales), salada o una mezcla (salobre). El agua se mueve entre los lugares donde está almacenada a grandes escalas y a muy pequeñas escalas.

A medida que se mueve el agua puede cambiar de forma entre líquido, sólido y gas. El movimiento del agua entre la atmósfera y la superficie es a través de la evaporación, la evapotranspiración y la precipitación; el agua que se mueve a través de la superficie es a través del deshielo, la escorrentía y el flujo de ríos; y el agua se mueve hacia el subsuelo a través de la infiltración y la recarga de agua subterránea. Bajo tierra, el agua subterránea fluye dentro de los acuíferos. El agua puede regresar a la superficie a través de la descarga natural de agua subterránea a los ríos, al océano y a los manantiales. Ver figura 1.

Figura 1: Representación del Ciclo Hidrológico

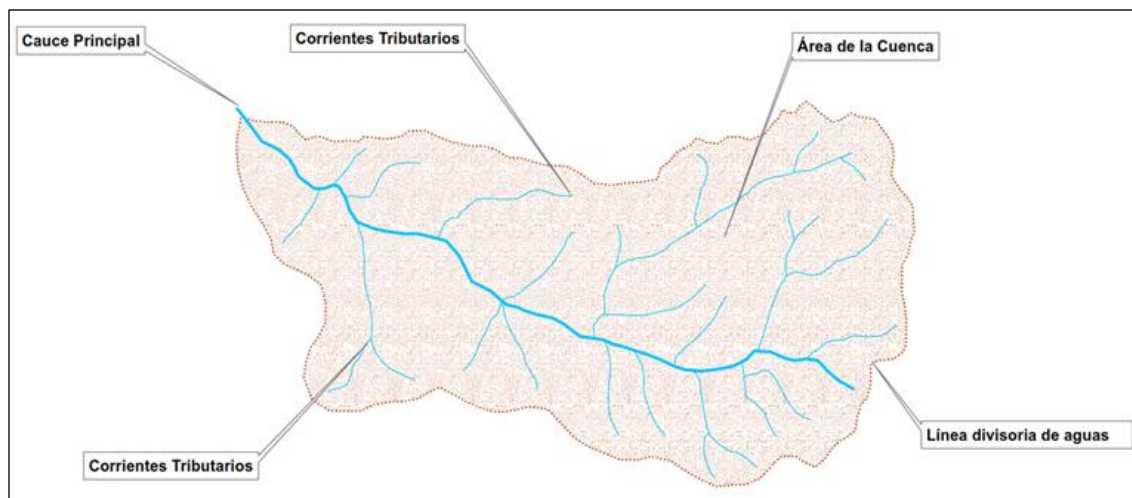


Nota. Fuente: United States Geological Survey

Parámetros Geomorfológicos.

De acuerdo con Londoño (2001), para llevar a cabo el diagnóstico de una cuenca hidrográfica, es esencial evaluar sus características físicas, puesto que estas son fundamentales para comprender el comportamiento y los procesos de los diferentes componentes del ciclo hidrológico en la superficie terrestre. Para un mejor estudio en la microcuenca se han establecido los siguientes parámetros geomorfológicos. Ver figura 2.

Figura 2: Esquema de una Cuenca



Nota. Fuente: Adaptado de World Vision-Manual de Manejo de Cuencas.

Área de Cuenca (A): Es el contorno del área drenada comprendida desde la línea de división de las aguas (divisorium acuarium), hasta el punto de desembocadura.

Para la determinación del área de la cuenca es necesario previamente delimitar la cuenca, trazando la línea divisoria, esta línea tiene las siguientes particularidades:

Debe seguir las altas cumbres;

Debe cortar ortogonalmente a las curvas de nivel;

No debe cortar ninguno de los cauces de la red de drenaje.

Perímetro (P): El perímetro es la línea que une los puntos de mayor elevación de la cuenca y que separa a esta de las demás cuencas.

Longitud del Cauce Principal (L): El desarrollo longitudinal del colector principal es una magnitud de característica útil y de efecto importante en la respuesta hidrológica de la cuenca, ya que en un río corto los efectos de la precipitación se reflejan más rápidamente que en un río largo (Klohn, 1970).

“La longitud del cauce principal es la distancia medida a lo largo del curso fluvial de mayor orden, desde las nacientes hasta el final de este” (Soczynska, 1991).

Pendiente Media de los Causes (Pm): “Es la relación entre la altura total del cauce principal (cota máxima menos cota mínima) y la longitud del mismo” (Taylor & Schwarz, 1953).

$$P_m = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{L} \times 100$$

Donde:

Pm: Pendiente Media (%)

Hmax: Cota Máxima (msnm)

Hmin: Cota Mínima (msnm)

L: Longitud del Cauce (m)

Factor de Forma de Horton (Hf): El factor de forma de Horton (1932) “expresa la relación existente entre el área de la cuenca, y un cuadrado de la longitud máxima o longitud axial de la misma”.

El factor de forma está definido por la siguiente expresión:

$$Hf = \frac{A}{La^2}$$

Donde:

Hf: Factor de Forma de Horton

A: Área (km²)

La: Longitud Axial (m) o longitud del cauce principal (km)

Coeficiente de Compacidad o Índice de Gravelius (Kc): Definido por Gravelius (1914) “como la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro

del círculo, que tiene la misma área de la cuenca. A medida que el coeficiente de compacidad tiende a la unidad, aumenta la torrencialidad de la cuenca”.

El coeficiente de compacidad está definido en la siguiente expresión:

$$K_c = 0.2821 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde:

Kc: Coeficiente de Compacidad de Gravelius.

P: Perímetro de la Cuenca (Km)

A: Área de la Cuenca (km²)

Tabla 1: Valores y Clasificación del Coeficiente de Compacidad

K _c	Forma de la cuenca	Tendencias Crecidas
1.00-1.25	De casi redonda a oval redonda	Alta
1.25 -1.50	De Oval redonda a oval oblonga	Media
1.50 – 1.75	De Oval Oblonga a rectangular	Baja

Nota. Fuente: Oñate, Hidrología: Apuntes de clase, s/f

Rectángulo Equivalente (L, I): El rectángulo equivalente es una transformación geométrica, que permite representar a la cuenca, en forma heterogénea, con la forma de un rectángulo. Dicho rectángulo que tiene la misma área y el mismo perímetro (y por lo tanto el mismo índice de compacidad o índice de Gravelius), igual distribución de alturas (y por lo tanto igual curva hipsométrica), e igual distribución de terreno, en cuanto a sus condiciones de cobertura (Londoño, 2001).

$$L = \frac{K\sqrt{A}}{1.12} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K} \right)^2} \right)$$

Donde:

L: Longitud del Lado Mayor del Rectángulo (km)

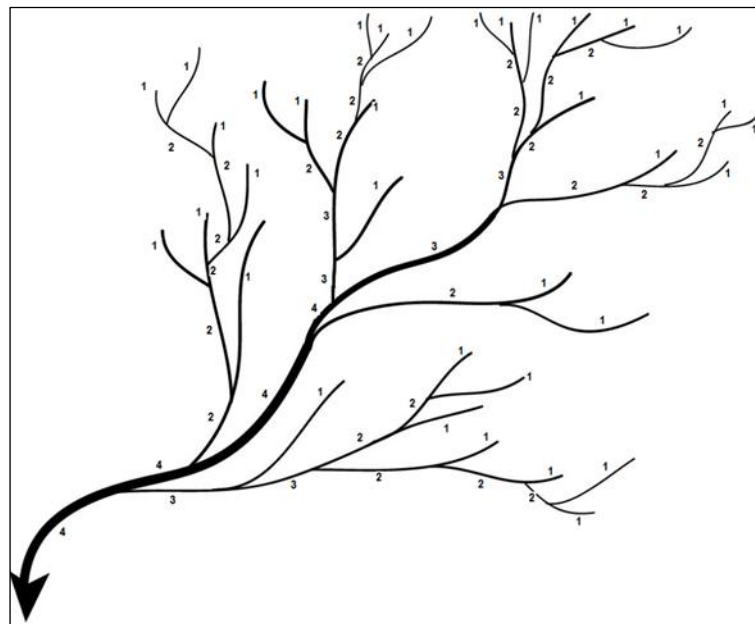
L: Longitud del Lado Menor del Rectángulo (km)

Kc: Coeficiente de Compacidad de Gravelius

A: Área de la Cuenca (km²)

Orden de Corriente: Es una clasificación que proporciona el grado de bifurcación en el sistema de drenaje dentro de la cuenca. El orden no se incrementa cuando a un segmento de un determinado orden confluye uno de orden menor (Strahler, 1952). Ver figura 3.

Figura 3: Ordenación de una Red de Canales según Strahler



Nota. Fuente: Strahler

Densidad de Corriente (Dc): Es la relación entre el número de corrientes y el área drenada, es decir:

$$Dc = \frac{N_c}{A}$$

Donde:

Dc: Densidad de Corriente (Km-1)

Nc: Numero de Corrientes Perennes e Intermitentes o longitud total de ríos (Km).

A: Área de la Cuenca, en km².

La densidad de drenaje es un parámetro físico que refleja la dinámica de la cuenca, la estabilidad de la red hidrográfica y el tipo de escorrentía de la superficie. En general, es la relación entre la longitud de los canales de flujo y la superficie de la cuenca (Llamas, 1993).

La red de drenaje toma sus características, influenciada por las lluvias y la topografía. Por esto se tiene que para un valor alto de Dd corresponden grandes volúmenes de escurrimiento, al igual que mayores velocidades de desplazamiento de las aguas, lo que producirá ascensos de las corrientes.

Con el fin de catalogar una cuenca bien o mal drenada, analizando su densidad de drenaje, se puede considerar los valores de la tabla 2.

Tabla 2: Valores y Características de la Densidad de Drenaje

Características Drenaje	Dd
Regular Drenaje	0.0 a 1.0
Normal Drenaje	a 1.5
Buen drenaje	>1.5

Nota. Fuente: Oñate, Hidrología: Apuntes de clase

Balance Hídrico Superficial

Para evaluar los recursos hídricos en la cuenca es necesaria una correcta evaluación del equilibrio hidrológico, es decir, la comprensión de las diferentes etapas del ciclo, cómo se distribuye el agua recibida como consecuencia de las precipitaciones entre los procesos de evapotranspiración, escorrentía e infiltración (Pladeyra, 2003).

La ecuación general del Balance Hidrológico en una cuenca determinada tiene la siguiente forma:

$$P = Es + Eto + Ev + I +/- \Delta V$$

P = precipitación

Es = escorrentía

Eto = evapotranspiración

I = infiltración

Ev = evaporación

ΔV = variación de volumen

Precipitación (P): “Es cualquier agua meteórica recogida sobre la superficie terrestre. Esto incluye básicamente: lluvia, nieve y granizo” (Sanchez, 2022).

Evapotranspiración (Eto): Según Ordoñez (2011) es el total de agua convertido en vapor por una cobertura vegetal; incluye la evaporación desde el suelo, la evaporación del agua interceptada y la transpiración por las estomas de las hojas. La evapotranspiración, es la combinación de dos procesos separados que originan pérdida de agua:

Evaporación: Es el proceso por el cual el agua líquida es convertido en vapor de agua (vaporización). La energía requerida para cambiar el estado de las moléculas de agua a vapor es la radiación solar directa, la temperatura ambiental del aire.

Transpiración: Consiste en la vaporización del agua líquida contenida en las plantas y el vapor removido a la atmósfera. La pérdida del agua es a través de las estomas de las plantas.

Métodos de Estimación de la Evapotranspiración Potencial

Método de Blaney Criddle modificado por la FAO: La ecuación es la siguiente:

$$Et_0 = a + b * f \quad y \quad f = p (0,46T + 8,13)$$

Donde:

ET₀ = Evapotranspiración del cultivo de referencia [mm·d⁻¹];

T = Temperatura media del aire [°C].

Los valores de a, b y p son incluidos en la publicación FAO-24 para distintas condiciones de humedad relativa, fracción de insolación y velocidad del viento (Doorenbos & Pruitt, 1975).

Método Thornthwaite: Desde el punto de vista práctico, dado que la evapotranspiración depende, entre otros, de dos factores muy variables y difíciles de medir: el contenido de humedad y el desarrollo vegetal de la planta, Thornthwaite (1948) introduce el concepto de Evapotranspiración Potencial (ETP) o pérdidas por Evapotranspiración, en el doble supuesto de un desarrollo vegetal óptimo y una capacidad de campo permanentemente completa. Será, por tanto, un límite superior de la cantidad de agua que realmente vuelve a la atmósfera por evaporación y transpiración.

Utiliza como variable primaria para el cálculo de evapotranspiración potencial la media mensual de las temperaturas medias diarias del aire. Con ella calcula un índice de calor mensual, según la fórmula:

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514}$$

Con la suma de los valores del índice de calor mensual se halla el índice de calor anual I.

$$I = \sum i$$

Para los meses teóricos de 30 días y de 12 horas diarias de sol se formula la siguiente expresión:

$$\varepsilon = 16 * \left(\frac{10t}{I}\right)^a$$

Donde:

ε = Evapotranspiración potencial media en mm/día

t= Temperatura media diaria del mes en °C

Y “a” está definido por la siguiente expresión

$$a = 0.675 * 10^{-6} * I^3 - 0.771 * 10^{-4} * I^2 + 0.01972I + 0.49239$$

Finalmente tiene en cuenta la duración real del mes y el número máximo de horas de sol, según la latitud del lugar, y llega a la expresión:

$$ETP = k\varepsilon$$

$$k = \left(\frac{N * d}{12 * 30}\right)$$

Donde:

ETP : Evapotranspiración potencial en mm/mes

K : Factor de corrección

N : Número máximo de horas sol, según Latitud

D : Número de días del mes

Escorrentía: “La escorrentía, también conocida como escurrimiento, se refiere a la fracción de la lluvia que no se infiltra en el suelo y fluye sobre la superficie” (Ordoñez, 2011).

Infiltración: “La infiltración es el proceso mediante el cual el agua se desplaza desde la superficie del suelo hacia su interior, impulsada por las fuerzas gravitacionales y capilares” (Aparicio, 1989).

2.2.2. Hidrogeología

La hidrogeología es la disciplina científica que se encarga de analizar el origen y la génesis de las aguas subterráneas, así como su almacenamiento, distribución y movimiento. Estudia también el estado y las reservas de estas aguas, su interacción con los suelos y las rocas, y las condiciones que afectan sus propiedades físicas, químicas, bacteriológicas y radiactivas. Además, investiga los factores que influyen en las prácticas de aprovechamiento, regulación y drenaje de las aguas subterráneas (Mijailov, 1985).

Unidades hidrogeológicas

“Se trata de un conjunto de formaciones geológicas cuyo comportamiento hidrogeológico es recomendable estudiar de manera conjunta” (Sanchez, 2022).

Acuífero: “Los acuíferos son formaciones geológicas ubicadas bajo la superficie terrestre que tienen la capacidad de almacenar y transmitir agua debido a su permeabilidad” (González et al., 2002).

Se denomina acuífero a “aquel estrato o formación geológica que, permitiendo la circulación del agua por sus poros o grietas, hace que el hombre pueda aprovecharla en cantidades económicamente apreciables para subvenir a sus necesidades” (Custodio & LLamas, 1983).

Según su litología, extensión y productividad, los acuíferos se han clasificado en dos grupos:

Acuíferos porosos no consolidados: Se trata de formaciones detríticas no consolidadas, con alta porosidad y permeabilidad. Están compuestas principalmente por depósitos cuaternarios recientes, en los que predominan las gravas y arenas, lo que favorece la circulación y almacenamiento de aguas subterráneas. Asimismo, en estos depósitos se hallan sedimentos finos, como

capas de limo y arcilla, junto con algunos bancos esporádicos de arcilla (Moreno et al., 2021)

Acuíferos fisurados o fracturados: La característica común de estas formaciones es que, debido a su rigidez, exhiben un comportamiento mecánico frágil, lo que da lugar a la generación de sistemas de fracturas cuando se someten a ciertos esfuerzos. Esto se evidencia en las fracturas y fallas presentes en cada unidad geológica de la cuenca, las cuales han experimentado procesos tectónicos tanto durante como después de su formación. Las rocas más antiguas son las que presentan un mayor grado de deformación y fracturamiento (Moreno et al., 2021).

Acuitardos: Hace referencia a la existencia de numerosas formaciones geológicas que, conteniendo apreciables cantidades de agua la transmiten muy lentamente por lo que tampoco son aptos para el emplazamiento de captaciones, pero, sin embargo, bajo condiciones especiales permiten una recarga vertical de otros acuíferos, que puede llegar a ser muy importante en ciertos casos (Custodio & LLamas, 1983).

Acuicludos: Pueden almacenar el agua en grandes cantidades, pero no tienen la posibilidad de transmitirla y se drenan con mucha dificultad; el agua se encuentra encerrada en los poros de la formación y no puede ser liberada (arcillas, arcillas plásticas, limos arcillosos, etc.); en hidrogeología clásica, se asumen como impermeables, pero en ingeniería geológica este concepto se hace menos preciso, pues drenajes muy limitados pueden presentar problemas en determinadas obras (González et al., 2002).

Acuífugos: Formaciones incapaces de almacenar y de transmitir el agua; están representados por las rocas compactas, como granitos y gneises, y a veces

incluso calizas muy compactas sin carstificar, se muestran como impermeables salvo que existan fracturas que pueden permitir flujos (González et al., 2002).

Teoría de los Sistemas de Flujos

La TSF posibilita la representación del entorno hidrogeológico a través de un modelo conceptual que integra diversos parámetros geológicos, geomorfológicos, hidrológicos, edáficos y de vegetación, los cuales influyen en el comportamiento del flujo de agua subterránea. El mapeo de los fenómenos naturales derivados del flujo gravitacional de agua subterránea constituye una de las metodologías más eficaces para estudiar y caracterizar los sistemas de flujo regional de este tipo de agua, ya que sus manifestaciones en la superficie pueden vincularse a distintos segmentos de estos sistemas de flujo (Tóth, 2009).

Los sistemas de flujo están formados por líneas de flujo que se originan en una zona de recarga particular, se desplazan a través de un área determinada por la profundidad del basamento rocoso, y finalizan en una zona de descarga específica. A lo largo de este trayecto, el agua adquiere diversas propiedades físico-químicas debido al grado de interacción entre el agua y la roca, el cual depende de la profundidad y la extensión del recorrido (Hernández et al., 2020).

Zonas de Recarga y Descarga de un Acuífero.

Una zona de descarga es un indicador clave para comprender el comportamiento del agua subterránea, ya que es el lugar donde el agua emerge hacia la superficie, marcando la etapa final de su trayecto subterráneo. En esta zona, el agua presenta características específicas, como salinidad, temperatura, pH, oxígeno disuelto (OD), entre otros, y mantiene un caudal constante a lo largo del tiempo. Esto influye en la formación de suelos particulares y en el tipo de vegetación que se desarrolla, adaptada a las condiciones ambientales resultantes

de esas variables. Una zona de descarga puede manifestarse en diversas formas, como manantiales, lagos, suelos salinos, vegetación influenciada por la salinidad del agua y el suelo, o un nivel freático poco profundo. Cuanto mayor ha sido el tiempo de residencia del agua subterránea en el subsuelo, se han producido varios procesos, como el intercambio físico-químico entre el agua y la roca, lo que confiere al agua características fisicoquímicas particulares, las cuales dependen principalmente del tipo de roca, la profundidad y la distancia recorrida. La descarga de agua subterránea se presenta generalmente en áreas de menor elevación topográfica en comparación con el lugar de recarga (Peñuela & Carrillo, 2012).

Las zonas de recarga su identificación es más compleja, ya que el agua se infiltra en el subsuelo sin dejar evidencia visible en la superficie, a diferencia de lo que ocurre en las zonas de descarga. A menos que se disponga de los recursos necesarios para realizar perforaciones y obtener muestras del suelo y subsuelo en condiciones controladas, su localización resulta difícil. Sin embargo, existen indicadores iniciales que pueden señalar la presencia de estas zonas: uno de ellos está relacionado con la conductividad hidráulica de las rocas, que facilita la infiltración del agua de lluvia hasta llegar al nivel freático, y otro factor es la ubicación de dichas rocas en áreas de mayor elevación topográfica (Hernández et al., 2020).

Modelo Hidrogeológico Conceptual.

El modelo conceptual es la etapa inicial y más esencial en el proceso de modelado, ya que permite obtener una comprensión profunda del sistema hidrogeológico y del comportamiento del flujo de agua subterránea.

Este proceso se enfoca en varios aspectos fundamentales, como la descripción detallada del sistema de agua subterránea en estudio, incluyendo sus fronteras y formaciones geológicas; la conceptualización del flujo para comprender cómo varía el comportamiento del acuífero en el espacio y el tiempo; la identificación del tipo de acuífero, considerando su geometría, conectividad e influencias geomorfológicas; la elaboración de un balance hídrico preliminar que contemple las fuentes de recarga y las salidas de agua; la evaluación de los parámetros hidráulicos en la zona de estudio; y la visualización en tres dimensiones, que facilita una evaluación integral de las simplificaciones, fronteras y patrones de flujo del sistema (Castañeda & Ingol, 2017).

2.3. Definición de Términos Básicos

Aguas subterráneas: Agua encontrada debajo de la superficie terrestre, normalmente en mantos acuíferos, los cuales abastecen a pozos y manantiales.

Aguas superficiales: Toda el agua expuesta naturalmente a la atmósfera (ríos, lagos, lagunas, depósitos, estanques, charcos, arroyos, presas, etc.) y todos los manantiales, pozos u otros recolectores directamente influenciados por aguas superficiales.

Flujo de agua: Considera el movimiento del agua al interior de una actividad productiva, esta línea de acción considera aspectos relacionados con las fuentes de agua superficial, agua subterránea y agua lluvia, agua de mar.

Labor minera: Es cualquier hueco o excavado para explotar un yacimiento.

Meteorología: El concepto de meteorología se asocia a las condiciones de la atmosfera en un tiempo y lugar específico, con relación a la temperatura,

precipitaciones, y otros factores como pueden ser nubes. La meteorología se genera a través de varias fuerzas, unas visibles, y otras que no lo son.

Microcuenca: Una microcuenca es toda área en la que su drenaje va a dar al cauce principal de una Subcuenca; es decir, que una Subcuenca está dividida en varias microcuencas.

Nivel freático: Nivel superior de una capa freática o de un acuífero en general.

Permeabilidad: Capacidad que tiene un material de permitirle a un flujo que lo atraviese sin alterar su estructura interna.

Porosidad: Es la cantidad de poros que se encuentra en una superficie. Poros viene del latín porus y significa ‘agujero pequeño’. La porosidad puede referirse a cualquier superficie como por ejemplo la porosidad de la piel, la porosidad de una roca, etc.

2.4. Formulación de Hipótesis

2.4.1. Hipótesis General

El estudio hidrológico e hidrogeológico influyen directamente en el cierre de labores mineras subterráneas en la Unidad Minera Lincuna Tres de la Compañía Minera Lincuna S.A.-2022.

2.4.2. Hipótesis Específicas

- Las características hidrológicas influyen significativamente en el comportamiento de las aguas superficiales y subterráneas en el cierre de labores mineras que comprende la Unidad Minera Lincuna Tres de la Compañía Minera Lincuna S.A.
- Las características geoestructurales e hidrogeológicas influyen directamente en la determinación de la permeabilidad del macizo

rocoso y el comportamiento de las aguas superficiales y subterráneas para el cierre de labores mineras en la Unidad Minera Lincuna Tres de la Compañía Minera Lincuna S.A.

- Un modelo hidrogeológico conceptual influye directamente en la interpretación del estudio hidrológico e hidrogeológico para el cierre de labores mineras en la Unidad Minera Lincuna Tres de la Compañía Minera Lincuna S.A.

2.5. Identificación de Variables

Variables Independientes: Estudio hidrológico e hidrogeológico.

Variables Dependientes: Cierre de labores mineras subterráneas en la Unidad Minera Lincuna Tres de la Compañía Minera Lincuna S.A.

Variables Intervinientes: Cantidad y calidad de agua.

2.6. Definición Operacional de Variables e Indicadores

Tabla 3: Operacional de Variables e Indicadores

Variables	Definición Conceptual	Dimensiones	Sub Dimensiones	Operacionalización	
				Indicadores	Tipo de Variable
Estudio hidrológico e hidrogeológico	Estudio de la distribución espacial y temporal de las aguas superficiales y subterráneas (Custodio & LLamas, 1983).	Características Geológicas.	-Geología local y regional. -Geología estructural y tectónica.	-Mapa geológico y regional -Mapa estructural tectónico	Nominal Nominal
		Características Hidrológicas	-Parámetros geomorfológicos -Balance hídrico -Fuentes de agua -Calidad de agua	-Geomorfología de la cuenca y microcuenca -Precipitación, escorrentía, evapotranspiración, infiltración. -Quebradas, manantiales, bofedales. -Multiparámetros (°C , pH, conductividad eléctrica $\mu\text{S/cm}$, sólidos totales disueltos , mg/l)	Ordinal Ordinal Nominal Ordinal
		Modelo Hidrogeológico Conceptual	-Hidroestratigrafía -Propiedades Físicas de las rocas -Recarga hídrica	-Unidades hidrogeológicas (Acuífero, acuitardo) -Porosidad y Permeabilidad -Flujo de aguas subterráneas -Zonas de recarga y descarga	Nominal Nominal Nominal Nominal
Cierre de labores mineras subterráneas en la Unidad Minera Lincuna Tres de la Compañía Minera Lincuna S.A.	Áreas utilizadas por la minería que han sido concluidas por las operaciones mineras (Rodríguez & Julca, 2020).	Características de labores mineras.	-Ubicación -Geometría de las labores -Situación de las labores	-Identificación de las labores -Ancho, altura y profundidad de las labores. -Roca, suelo, cobertura, relleno y flujos	Nominal Ordinal Nominal

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de Investigación

En la presente tesis el tipo de investigación es Aplicada y tiene como finalidad solucionar o proponer soluciones a problemas prácticos, se orienta a problemas actuales y por lo tanto propone soluciones actuales a problemas de ingenierías; los problemas se describen en un contexto específico y las soluciones son limitadas a tal contexto; y la validez está referida a la viabilidad del estudio (Arispe et al., 2020).

3.2. Nivel de Investigación

La presente tesis está caracterizada por tener alcances de nivel exploratorio, descriptivo y explicativo.

Los estudios exploratorios se realizan cuando el objetivo es examinar un tema o problema de investigación poco estudiado, del cual se tienen muchas dudas o no se ha abordado antes; los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis y los

estudios explicativos van más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; es decir, están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales. Como su nombre lo indica, su interés se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta, o por qué se relacionan dos o más variables (Hernández et al., 2006).

3.3. Métodos de Investigación

Los métodos de investigación desarrollada son Inductivo-Deductivo y Análisis- Síntesis.

El método inductivo-deductivo está conformado por dos procedimientos inversos: La inducción es una forma de razonamiento en la que se pasa del conocimiento de casos particulares a un conocimiento más general, que refleja lo que hay de común en los fenómenos individuales, su base es la repetición de hechos y fenómenos de la realidad, encontrando los rasgos comunes en un grupo definido, para llegar a conclusiones de los aspectos que lo caracterizan; mediante la deducción se pasa de un conocimiento general a otro de menor nivel de generalidad, las generalizaciones son puntos de partida para realizar inferencias mentales y arribar nuevas conclusiones lógicas para casos particulares (Rodríguez & Pérez, 2017).

El método analítico-sintético tiene gran utilidad para la búsqueda y el procesamiento de la información empírica, teórica y metodológica. El análisis de la información posibilita descomponerla en busca de lo que es esencial en relación con el objeto de estudio, mientras que la síntesis puede llevar a generalizaciones que van contribuyendo paso a paso a la solución del problema científico como parte de la red de indagaciones necesarias; pero, como método singular,

generalmente, no se emplea para la construcción de conocimientos (Rodríguez & Pérez, 2017).

3.4. Diseño de Investigación

El diseño de investigación es No Experimental.

En el diseño no experimental no se manipula deliberadamente las variables; es decir, se trata de estudios donde no hacemos variar en forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables. Lo que hacemos en el diseño no experimental es observar fenómenos y recopilar datos tal como se dan en su contexto natural, para después analizarlos (Hernández et al., 2006).

3.5. Población y Muestra

Población: Está constituida por la Unidad Minera Lincuna Tres de la Compañía Minera Lincuna S.A.

Muestra: Es la zona donde se ubican las 04 labores mineras constituidas por 01 Bocamina, 01 Chimenea y 02 Rajos en la Unidad Minera Lincuna Tres de la Compañía Minera Lincuna S.A.

3.6. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Técnicas de Recolección de datos:

- Observación directa en campo
- Levantamiento topográfico.
- Mapeo geológico, hidrológico e hidrogeológico.
- Muestreo de rocas, suelos y agua.
- Registro y codificación de datos.

Instrumentos de Recolección de datos:

- Picota de geólogo.

- GPS.
- Brújula geológica.
- Medidor multiparámetro portátil.
- Cámara fotográfica.

3.7. Selección, Validación y Confiabilidad de los Instrumentos de Investigación

Con el personal capacitado se realizó la selección de los instrumentos; la validación recae en las condiciones y la certificación de calibración; y la confiabilidad se da en las pruebas reiterados insitu con valores acertados en cada toma de datos.

3.8. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos

Se efectuaron los procedimientos mediante Softwares geológicos e hidrogeológicos como son: Argis 10.8; Global Mapper 22, Surfer, Hidroesta 2.

3.9. Tratamiento Estadístico

Para el tratamiento estadístico se han utilizado los softwares: Excel, Hidroesta.

3.10. Orientación Ética Filosófica y Epistémica

El estudio hidrológico e hidrogeológico está orientado a la veracidad de la información en el levantamiento, tratamiento, interpretación y resultados; determinantes en el proceso cierre de labores mineras.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del Trabajo de Campo

4.1.1. Ubicación

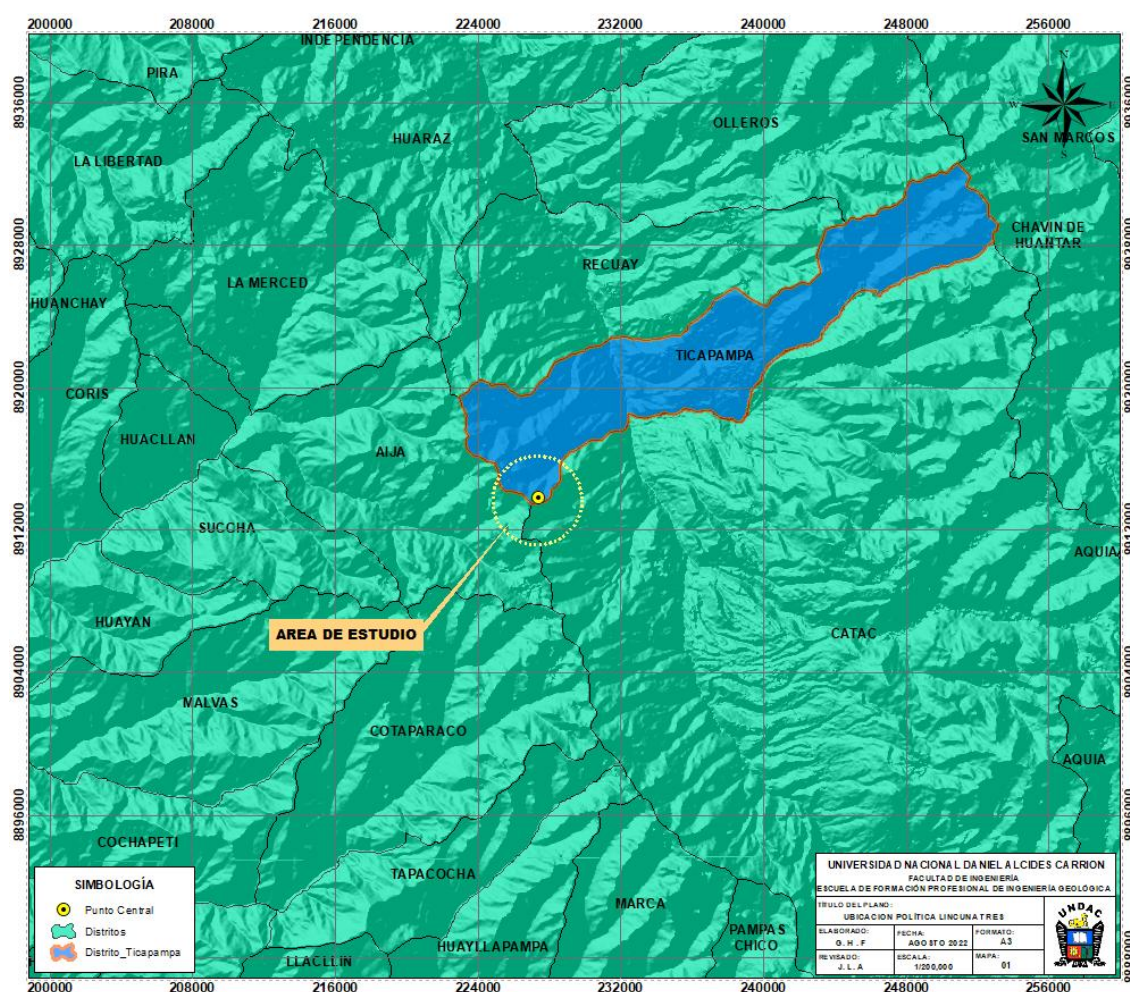
Ubicación Política

El proyecto Lincuna Tres se encuentra ubicado en la región Occidente del Perú. Políticamente está ubicado en el distrito de Ticapampa, provincia de Recuay y departamento de Ancash. Ver figura 4 y plano 1.

Ubicación Geográfica

Las coordenadas UTM del punto Central representativo es de 227717E y 8913000N según datum WGS84 - Zona 18 Sur. La altitud se extiende desde el nivel de mar (océano pacifico) hasta la línea de las cumbres (cordillera central de los Andes) llegando a una altitud promedio de 4470 msnm. Ver figura 4 y plano 1.

Figura 4: Ubicación Política y Geográfica

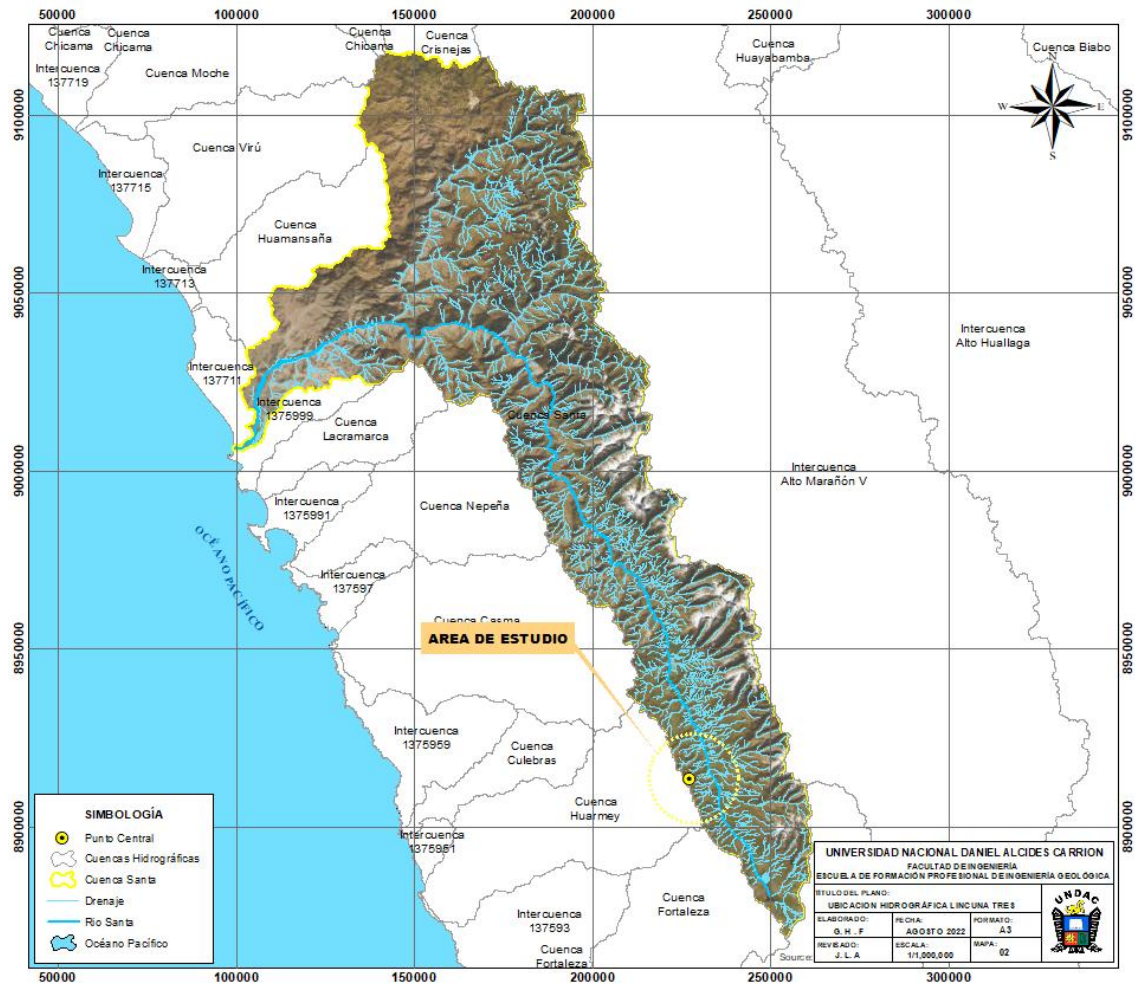


Nota. Fuente: Elaborado a partir de la base de datos del Instituto Geográfico del Perú

Ubicación Hidrográfica

Hidrológicamente la Quebrada MC-L3 que corresponde al Río Purush en su primer desemboque lo hace en la quebrada Utcuyacu y ésta desemboca en el río Santa perteneciente al segmento de la cuenca alta el río Santa, la cual vierten sus aguas en el Pacífico. Ver figura 5 y plano 2.

Figura 5: Ubicación Hidrográfica



Nota. Fuente ANA: Elaborado a partir de la base de datos de las cuencas hidrográficas del Perú.

4.1.2. Accesibilidad

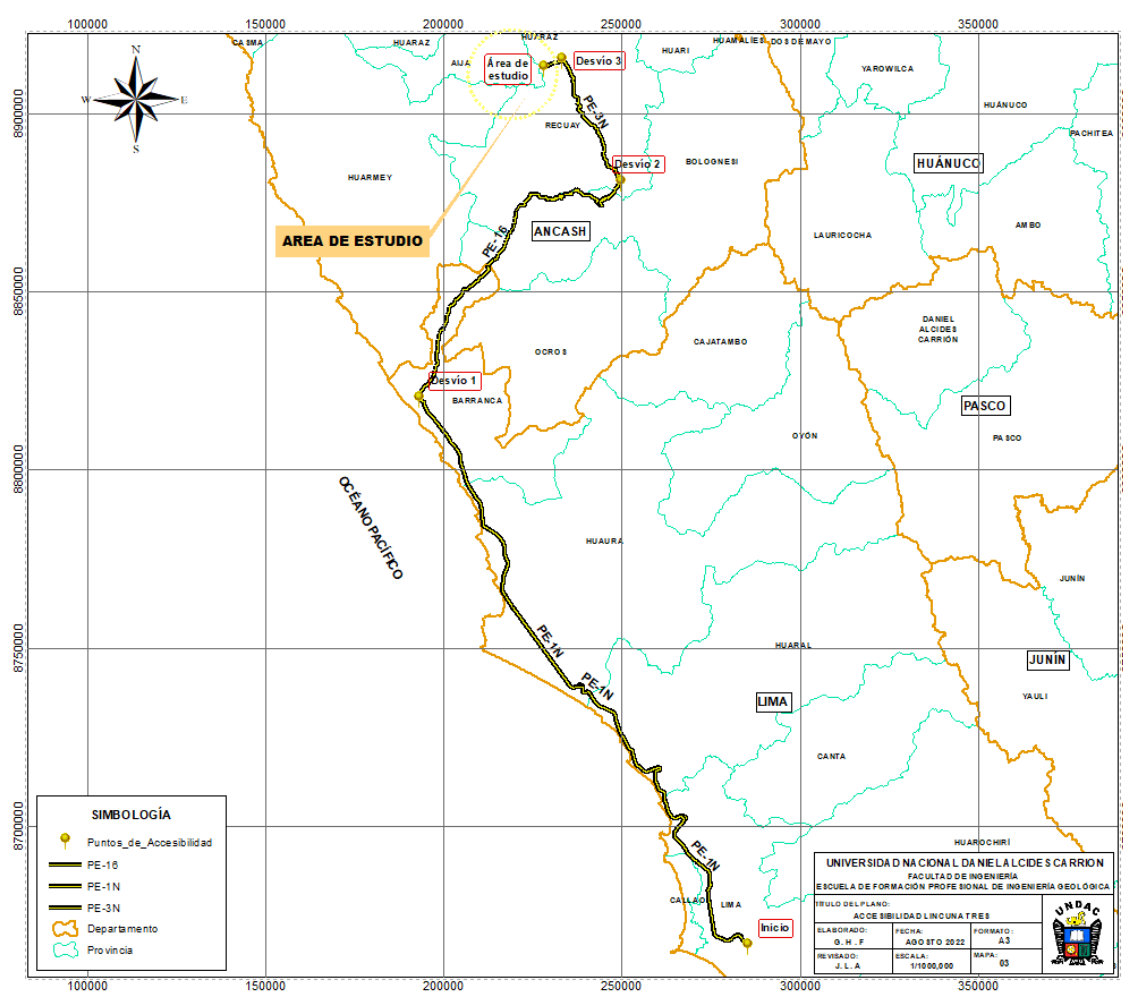
El área de estudio tiene acceso vía terrestre partiendo desde Lima mediante la carretera Panamericana Norte y la carretera Pativilca-Recuay; de ese lugar se continua en dirección SW hasta llegar al área de estudio. Ver tabla 4, figura 6 y plano 3.

Tabla 4: Accesibilidad

Origen - Destino	Tipo de vía	Distancia (Km)	Tiempo (Horas)
Huaraz - Recuay	Asfaltado	377	7
Recuay - Lincuna 3	Trocha carrozable	30	1.5
Total			8.5

Nota. Fuente: Elaboración propia

Figura 6: Accesibilidad



Nota. Fuente: Elaborado a partir de la base de datos del Instituto Geográfico del Perú.

4.1.3. Contexto Regional

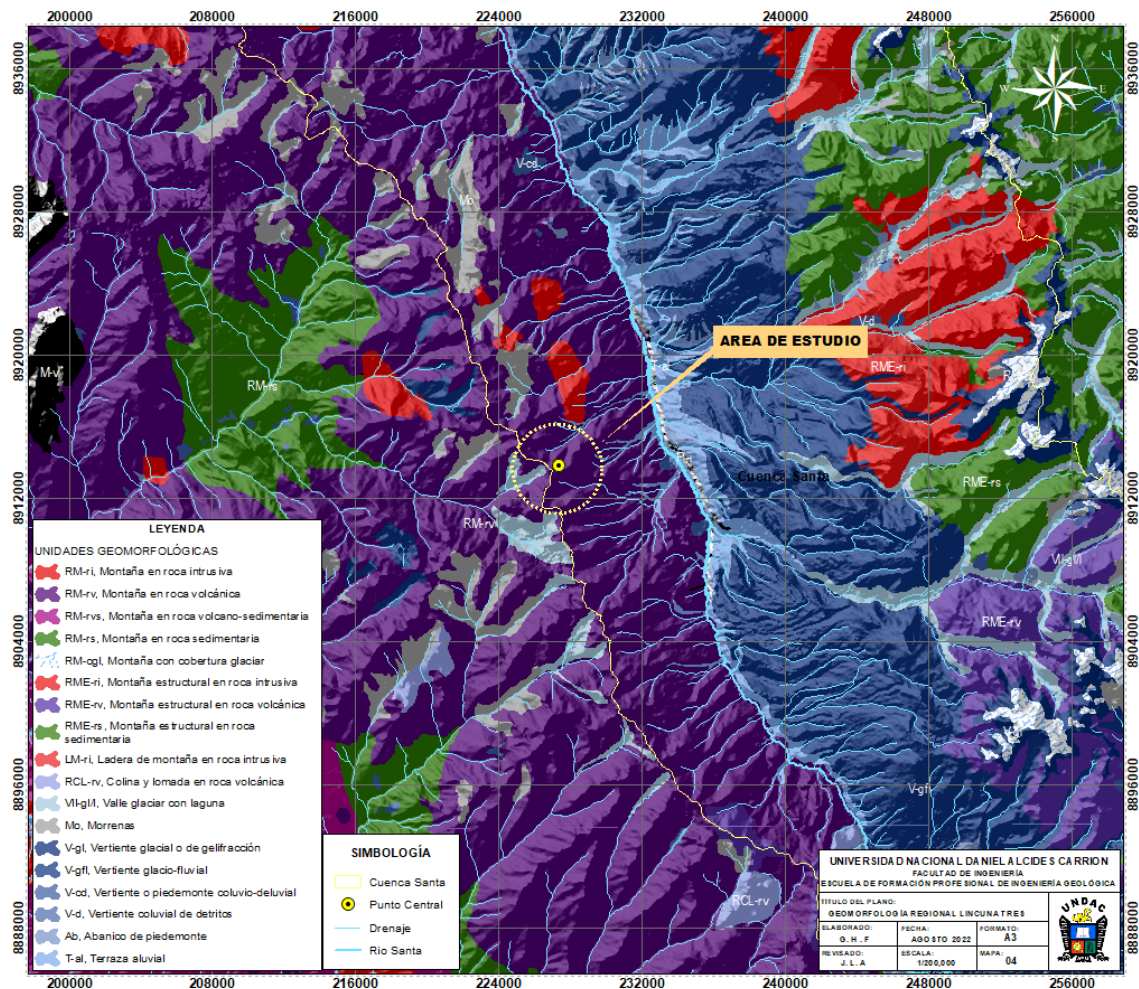
Geomorfología

La geomorfología regional, corresponde al sector Occidental de la Cordillera de los Andes, del Perú, como resultado de la interacción de factores asociados a la “geodinámica interna y externa” entre ellos fundamentalmente “el vulcanismo asociado a la tectónica andina, la litología y la interacción de los agentes meteóricos”.

Dentro de la Cordillera Occidental se encuentra la Cordillera Blanca, Cordillera Negra y la Subcuenca Alto Santa, de los cuales las dos últimas subdivisiones están presentes en el área de estudio.

La Cordillera Negra es una cadena montañosa cuyas crestas sobrepasan los 4000 msnm, también presentan superficies de erosión de diferentes niveles, esta cordillera se presenta disectado por quebradas superficiales y profundas que fluyen hacia el Río Santa. Las morfologías más características en el área de estudio corresponden a Montañas con litología de rocas volcánicas (RM-rv) y a los depósitos de morrenas laterales asociados a antiguas lenguas glaciales y también la morfología típica de valles en “U” y “V”, con afloramientos rocosos escarpados en los sectores altos, morfologías agrestes y superficies un tanto suavizadas en sectores más bajo con un típico modelado glaciar y que estos valles están tapizados por depósitos morrénicos, Fluvio-aluviales y suelos residuales. Ver figura 7 y plano 4.

Figura 7: Geomorfología Regional



Nota. Fuente INGEMMET: Elaborado a partir de la base de datos Geomorfológico de la Región.

Fisiografía Regional

Los rasgos fisiográficos están determinados por cadenas o elevaciones, entre las que se encuentra los ríos y quebradas importantes de la zona, que al discurrir a través de los tiempos geológicos han erosionado quebradas de moderada a altas pendientes y relativamente accidentado. Son el resultado de procesos degradacionales y agradacionales, particularmente la degradación de los suelos y rocas que es el proceso principal en el área evaluada, como tal la existencia de desniveles en el terreno. En general, las líneas de cumbres presentan rumbo andino (NW- SE).

Figura 8: Fisiografía Regional

[illegible]

Climatología Regional

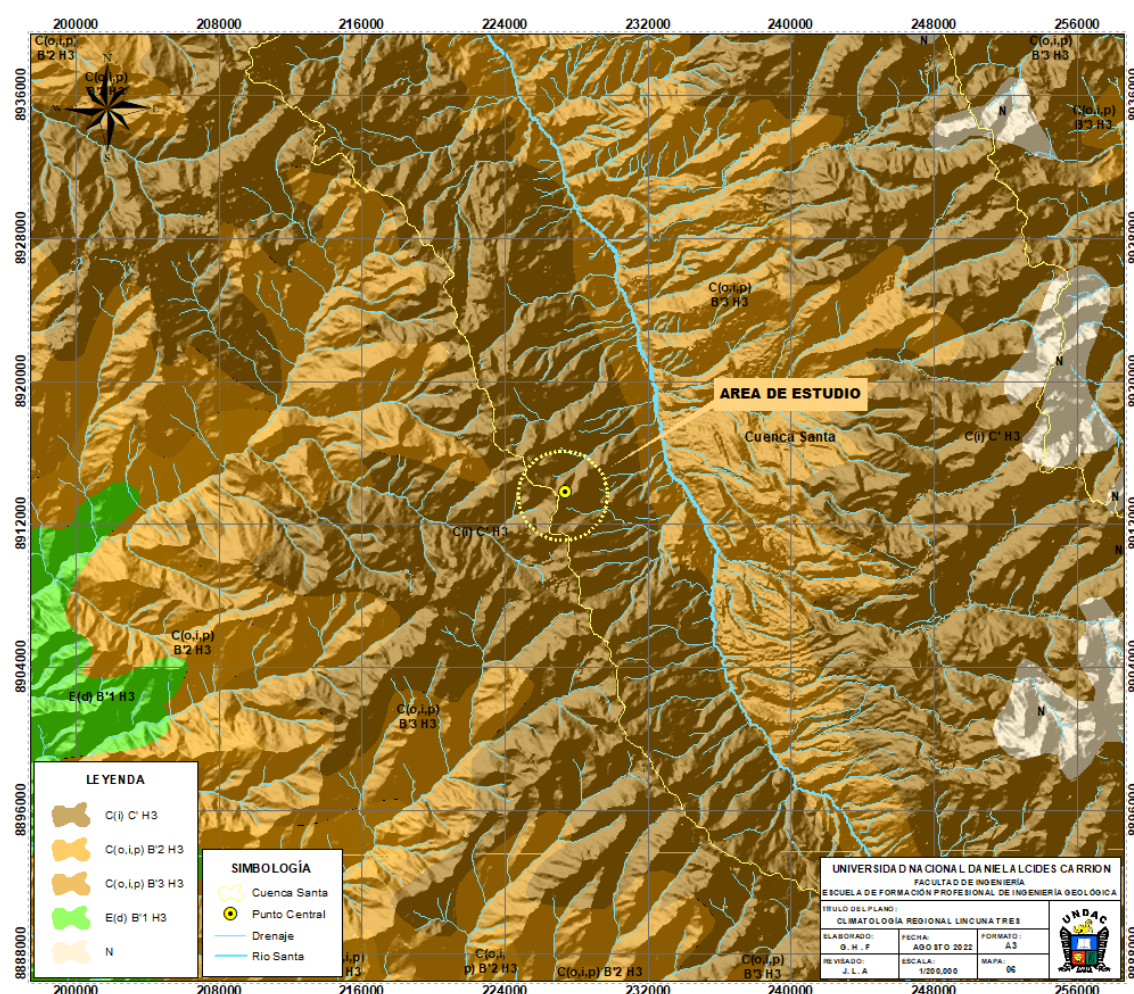
El Perú posee 38 tipos climas, según el método de Clasificación Climática de Warren Thornthwaite - SENAMHI (2020), como resultado de la interacción entre los diferentes factores climáticos que lo afectan y su posición geográfica en el trópico, a la cordillera de los Andes, la cual configura una fisiografía compleja.

Entre los climas de mayor extensión tenemos al árido y templado en la costa, lluvioso y frío en la sierra, y muy lluvioso y cálido en la selva.

Lincuna Tres; zona de elaboración del plan de cierre de Pasivos Ambientales Mineros tiene como climatología predominante C(i) C' H3, y a una altitud promedio de cuenca de 4,470 msnm, lo que representa:

Zona de clima semiseco, frío, con deficiencia de lluvia en invierno, con humedad relativa calificada como húmeda. Corresponde este tipo climático a los lugares siguientes: Quiruvilca, Pacra, Cordillera Negra, sobre los 4,000 m. y Cordillera Blanca, entre 4,000 y 5,000 m. Ver figura 9 y plano 6.

Figura 9: Climatología Regional



Nota. Fuente SENAMHI: Elaborado a partir de la base de datos Climatológico de la Región

Geología Regional

La litoestratigrafía que abarca en un contexto regional, presenta afloramientos de rocas sedimentarias de edades que van del Jurásico al cretácico, rocas intrusivas y volcánicas del Cretáceo al Neógeno y depósitos de cuaternarios del Pleistoceno al Holoceno.

Las rocas sedimentarias pertenecen a la formaciones Chicama conformadas por areniscas cuarzosas, lutitas oscuras pizarrosas, a la formación Oyón que presenta areniscas cuarzosas blancas, limoarcillitas grises; y también pertenecen el grupo Goyllarisquizga cuyas formaciones son: Chimú, Santa y Carhuaz que están constituidas por calizas, lutitas, areniscas, limolitas y limoarcillitas. Además encontramos al grupo Casma con la formación Cochapunta conformado por areniscas, limoarcillitas, calizas silicificadas, lutitas; igualmente tenemos dentro del grupo a las formaciones la Zorra y Junco constituidos de lavas andesíticas porfiríticas, lavas almohadillas, aglomerados, flujos de lava, tobas riolíticas, aglomerados y limolitas.

Las rocas volcánicas principales están representadas por los Volcánicos Calipuy y están constituidas por una secuencia de lavas y rocas piroclásticas gruesas de composición andesítica con ignimbritas y tobas dacíticas que cubren extensas zonas de la Cordillera Negra.

Las rocas intrusivas corresponden a Batolito de la Cordillera Blanca, al Batolito de la Costa y cuerpos intrusivos que están constituidos por dioritas, tonalitas, monzogranitos, granodiorita y tonalita. Estos Batolitos y cuerpos intrusivos han intruído a las rocas Mesozoicas. El batolito de la Cordillera Blanca es el mejor exponente de la actividad ígnea de esta región.

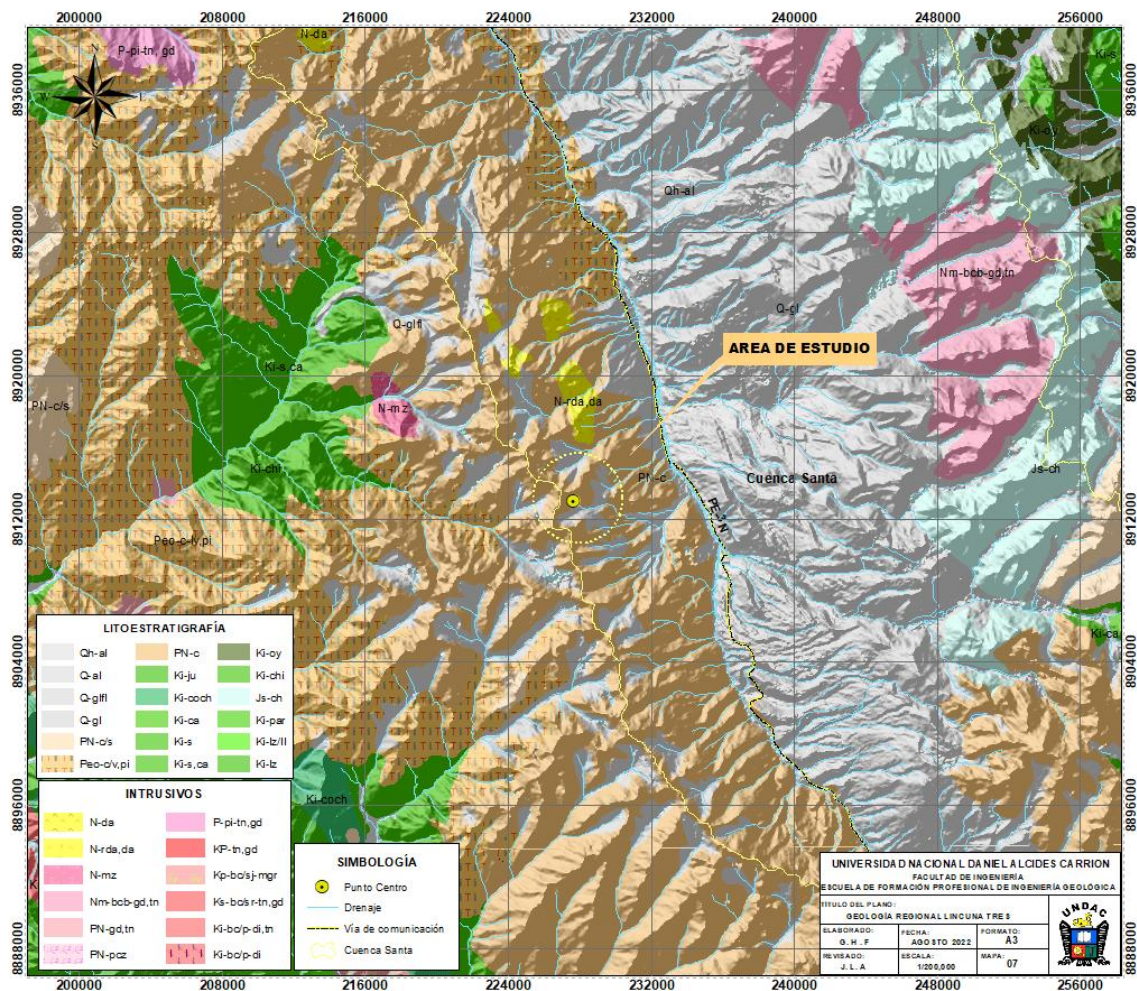
Posteriormente en el Cenozoico, la última etapa corresponde a los depósitos glaciares, glaciofluviales y aluviales compuestos por gravas angulosas a subangulosas, gravas redondeadas, arena subangulosas y subredondeadas, bloques sub angulosos y con matriz de limos y arenas. Ver figuras 10, 11 y plano 7.

Figura 10: Columna Estratigráfica Regional

ERA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS			ROCAS INTRUSIVAS Y SUBVOLCÁNICAS							
Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	Depósito Aluvial	Qh-al	Gravas y arenas subredondeadas con matriz limoarenosa, formando terrazas.	Batolito de la Costa	Intrusivos Neógenos	N-rda,da	Riodacita,dacita.				
				Q-al	Gravas y arenas con matriz limoarenosa.			N-mz	Monzonita.				
		Pleistoceno	Depósito glaciár, Fluvial	Q-glfl	Gravas, arenas subangulosas a subredondeadas, polimíticas con matriz limoarenosa			Cordillera Blanca	Nm-bcb-gd,tn	Granodiorita, tonalita.			
			Depósito glaciár	Q-gl	Acumulaciones de bloques subangulosos con matriz de limo y arenas				PN-gd, tn	Granodiorita, tonalita			
	Neógeno	Plioceno	Grupo Calipuy	PN-c	Miembro superior				PN-c/s	Secuencia volcánica de lavas y rocas piroclasticas gruesas de composición andesítica con ignimbritas y tobas dacíticas.	Super Unidad San Jerónimo	KP-bc/sj-mgr	Monzogranito.
		Mioceno											
	Paleógeno	Oligoceno											
		Eoceno						Peo-c-lv,pl	Intercalación de lavas andesíticas y rocas piroclasticas				
		Paleoceno											
	Mesozoico	Cretácico	Superior	Grupo Casma	Ki-par		Tobas y flujos de lavas	Super Unidad Pachto	Ki-bc/p-di,tn	Diorita, tonalita.			
Inferior			Fm. Junco			Ki-ju	Lavas almohadillas, aglomerados, flujos de lavas.						
			Fm. La Zorra			Ki-lz/l	Lavas andesíticas intercaladas con lutitas.						
			Miembro Llaclapunta										
			Fm. La Zorra			Ki-lz	Andesitas porfíricas, limonitas marrón amarillenta, tobas riolíticas, aglomerados, areniscas y limolitas laminadas.						
			Fm. Cochapunta			Ki-coch	Areniscas, limoarcillitas y calizas silicificadas grises y verdes con lutitas gris oscuras.						
			Grupo Goyllarisquiza			Fm. Carhuaz	Ki-ca				Areniscas gris verdosas intercaladas con lutitas negras y limolitas marrones		
						Fm. Santa	Ki-s				Calizas gris oscuras con venillas de calcita y lentes de lutitas grises		
						Fm. Santa, Carhuaz	Ki-s,ca				Calizas azul grises, limo arcillitas color gris a verde, capas de yeso, limoarcillitas rojizas.		
						Fm. Chimú	Ki-chi				Areniscas cuarzosas blancas, limoarcillitas grises.		
						Fm. Oyón	Ki-oy				Areniscas cuarzosas blancas intercaladas con limoarcillitas grises y niveles de carbón.		
Jurásico		Superior	Fm. Chicama	Js-ch	Areniscas cuarzosas, lutitas oscuras pizarrosas.								

Nota. Fuente INGEMMET: Elaborado a partir de la base de datos geológicos de la Región.

Figura 11: Geología Regional



Nota. Fuente INGEMMET: Elaborado a partir de la base de datos geológicos de la Región.

Estratigrafía

Formación Chicama (Js-ch): Ha sido descrita por Cobbing (1972) como “una secuencia de areniscas, lutitas y lutitas pizarrosas delgadas bien estratificadas de coloración gris parduzco depositados en cuenca marina.”

Grupo Gollarisquizga

Formación Oyón (ki-oy): Denominada de esta manera por Wilson (1963) como secuencia de capas delgadas y oscuras de granos fino de areniscas subgrawacas y lutitas intercaladas con mantos de carbón en alrededores de Oyón. Esta formación en la zona de estudio se ha registrado como limolitas, lutitas gris

oscuras en estratos delgados de 0.05 m a 0.3 m intercaladas con areniscas pardos amarillentas, grises y gris claro en estratos gruesos, con las cuales se intercalan niveles de carbón que son explotados irregularmente.

Formación Chimú (Ki-chi): Está compuesta de areniscas cuarzosa de grano medio a fino, de coloraciones blanquecinas, en estratos con grosores que varían entre 0.5 m y 1.2 m. Se intercalan con ocasionales capas de lutitas pardas amarillentas, en capas de 0.25 m a 0.4 m. Hacia la parte inferior, se aprecian algunos mantos de carbón antracítico (Chávez, 2016).

No se reportan fósiles para esta unidad, por lo cual su edad ha sido determinada por correlaciones estratigráficas. De esta manera, y al infrayacer en concordancia con las capas de la formación Santa, se le asigna una edad valanginiana inferior (Wilson, 1967).

Formación Santa (Ki-sa): Definida y descrita por Benavides (1956), que consiste en areniscas, cuarcitas, lutitas y niveles de carbón que sobreyacen a la formación Chimú e infrayace a la formación Carhuaz, presentan discordancia paralela.

Formación Carhuaz (Ki-ca): Esta es definida, de igual modo, por Benavides (1956), los afloramientos de esta formación están compuesta por areniscas gris verdosas, lutitas negras y limolitas. Está en discordancia sobre la formación Santa; infrayace a la formación Cochapunta. Esta formación alcanza su máximo desarrollo en el Callejón de Huaylas con un grosor aproximado de 1500 m.

Grupo Casma

Formación Cochapunta (Ki-Coch): La Formación Cochapunta es de extensión regional. Consiste de una gruesa secuencia de capas bien estratificadas

compuestas de chert, lutitas, lodolitas y areniscas tobáceas; que han sido reconocidas en el río Santa formando la transición entre las lutitas de Carhuaz y las lavas almohadilladas de la formación Junco.

Formación La Zorra: Esta formación está compuesta por andesitas porfiríticas, limolitas marrón amarillentas, tobas riolíticas, aglomerados, areniscas y limolitas laminadas. tobas de lapilli de coloración marrón. Suprayace a la formación Cochapunta e infrayace a la formación Junco.

Formación Junco (Ki-Ju): Esta formación tiene capas de flujos de lavas, lavas almohadillas, aglomerados. La formación Junco sobreyace a la formación Cochapunta e infrayace en discordancia angular a la secuencia volcanoclástica del Grupo Calipuy.

Depósitos Cuaternarios

Estos depósitos sobreyacen a todas las unidades descritas.

Depósitos Glaciares (Q-gl): Se encuentran constituidos por bloques y gravas angulosos a sub redondeados rellenos con arcillas, limos y arenas mal clasificadas, son poco compactos, forman crestas y lomadas alargadas a lo largo de la cordillera occidental especialmente en la cordillera blanca y la cordillera negra, aunque en esta última están careciendo de áreas glaciales que es evidencia de un proceso de deglaciación que ocasionó la desaparición de los glaciares. (Cobbing, 1996).

Depósitos Glaciares, Fluviales (Q-glfl): Son materiales que ha sufrido removilización por acción fluvial o por gravedad; su composición es muy heterogénea y anisotrópica y contienen fracciones de bloques, gravas gruesas subredondeadas en matriz arenolimosa y algo de arcilla, presenta profundidad y permeabilidad variables. Ocupan las laderas de las montañas en zonas glaciales,

rellenando los valles glaciales y en frentes de montañas en forma de talud de detritos.

Depósitos Aluviales (Qh-al): Estos depósitos están constituidos por acumulaciones de bloques, gravas, en matriz arenalimosa y arcillas con clastos sub redondeados producto de meteorización y transporte y se encuentran en las quebradas y valles.

Rocas volcánicas

Volcánico Calipuy: Las secuencias volcánicas Calipuy está emplazado en la cordillera Negra y fue denominada Grupo Calipuy (Cossío, 1964), se orienta como una franja de rumbo NO-SE, que tiene una anchura entre 25 y 40 km; este sobreyace con una gran discordancia, a todas las formaciones sedimentarias mesozoicas y, en parte cubre al Batolito de la Costa y Plutones Cenozoico.

Los depósitos volcánicos del grupo Calipuy fueron estudiados por Wilson (1967, 1995) y Cobbing et al. (1981). Ambos autores, coincidieron en la división realizada a los depósitos volcánicos Calipuy en dos secuencias: la parte inferior, caracterizada por rocas piroclásticas, aglomerados y un conglomerado a la base; y en la parte superior, mediante una discordancia, está constituida esencialmente por flujos piroclásticos dacíticos a riolíticos y algunas lavas porfiríticas.

Rocas Intrusivas

Las rocas más antiguas corresponden a intrusivos del Mesozoico, Paleógeno y Neógeno.

Batolito de la Costa: En el sector suroccidental del área de estudio afloran con una extensión relativamente menor, rocas intrusivas pertenecientes al Batolito de la Costa. Su litología predominante consiste en granodioritas y tonalitas, afectando a secuencias del Grupo Calipuy. De acuerdo con las

dataciones hechas, la edad del emplazamiento comprende el intervalo del Cretáceo al Paleógeno (Stewart y Spelling, 1971).

Superunidad Paccho (Ki-bc/p-di,tn)

Diorita-Tonalita, solamente cinco pequeños plutones han sido asignados a esta superunidad dentro del área y esta atribución por lo general no significa estar convencido cómo los plutones están separados y por lo tanto su manifestación y su edad relativa no está relacionada a otras rocas intrusivas.

Superunidad San Jerónimo (KP-bc/sj-mgr)

Un número de plutones pequeños ocurren cerca del margen sur de la hoja de Huaraz, entre los pueblos de Malvas y Cotaparaco. Estos se consideran que son la prolongación Norte del gran plutón de monzogranito de San Jerónimo reconocido en la hoja de Huayllapampa inmediatamente al Sur. El cuerpo sobre las proximidades de Malvas es la más grande de éstas y consiste de un monzogranito de grano fino algo alterado. Ello contiene pequeños bloques de fenocristales de plagioclasa y un monzogranito algo máfico. Esto puede ser como un resultado de la alteración de pequeños depósitos de fierro, plomo y el zinc parece estar asociado en los contactos de este intrusivo.

Intrusivos Paleógenos: En esta época se emplazaron granodioritas holocristalinas, equigranulares, que contienen cristales de plagioclasa, cuarzo, biotita y feldespato potásico; así como plutones de composición diorítica con cristales de plagioclasa, anfíbol y cuarzo. Además, se han reconocido stocks de composición granítica a tonalítica, equigranulares, conteniendo cristales de cuarzo y plagioclasa. Estos cuerpos han sido reconocidos entre las localidades de Chuquicara y Macate.

Intrusivos Neógenos: Sistema complejo de intrusivos que se ha emplazado dentro del grupo Calipy, se trata de dacitas, riolacita y monzonitas estos, cuerpos plutónicos correspondientes a esta edad y se encuentran en la parte sur de la cordillera negra.

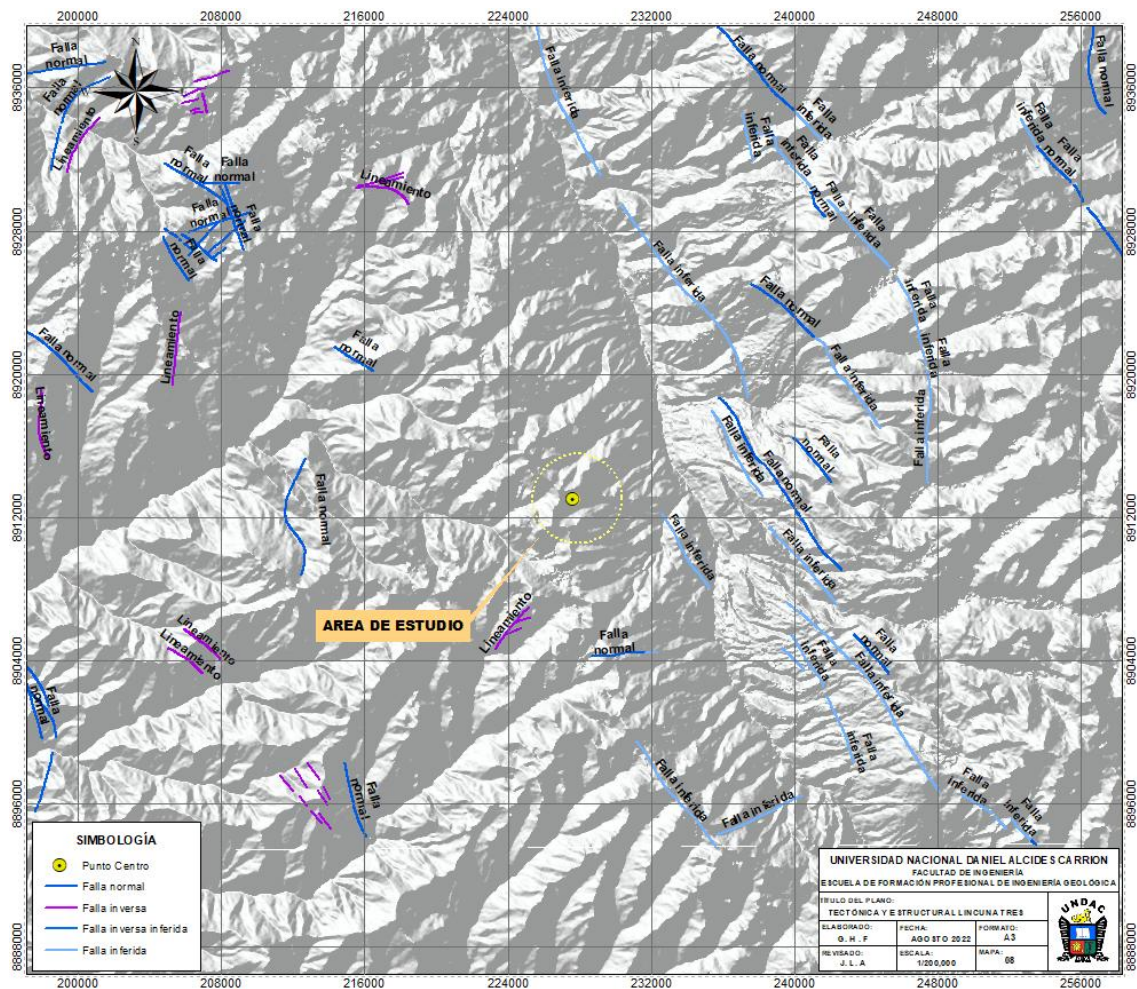
Batolito de la Cordillera blanca (Nm-bcb-gd,tn): El Batolito de la cordillera blanca es un complejo principalmente del Mioceno medio a tardío y tiene alrededor de 200 km. En longitud y yace completamente dentro de la cuenca Santa.

El principal tipo de roca en la parte sur del Batolito de la Cordillera Blanca son granitos, en ellos se observa una contaminación marginal a tonalita-diorita y pequeños stocks tardíos de granodiorita.

Tectónica y Estructural

La Cordillera de los Andes es una mega morfoestructura que se extiende paralela al borde Oeste de la placa Sudamericana con una extensión de 7000 km. y con alturas de hasta 6000 msnm. En el Perú, la Cordillera de los Andes se presenta bien definida, con una orientación NW-SE. Los Andes es una consecuencia de la actividad tectónica, producto de la subducción de la placa oceánica de Nazca bajo la placa continental de Sudamérica (Dewey & Bird, 1970). El área de estudio se caracteriza por la presencia de dos sistemas de fallas, asimismo se puede encontrar sistemas de plegamientos. Los dos sistemas de fallas tienen direcciones preferentes NW-SE y NE-SW respectivamente, por otro lado, los sistemas de pliegues tienen dirección preferente NW-SE. Ver figura 12 y plano 8.

Figura 12: Tectónica y Estructural



Nota. Fuente INGEMMET: Elaborado a partir de la base de datos estructurales de la Región.

4.1.4. Contexto Local

Geomorfología Local

Presenta geoformas con ondulaciones de montañas en rocas volcánicas Calipuy de moderada pendiente y mesetas volcánicas con frentes escarpados en rocas piroclásticas que coronan las vertientes. Se aprecia un relieve moderado a poco abrupto hacia la zona NW donde sobresalen cerros y colinas con diferencias de nivel de 40 a 100 m con respecto a la quebrada. Sus relieves se encuentran asociados a procesos dominantes de erosión de laderas (cárcavas), caídas de rocas, deslizamientos, movimientos complejos y también huaycos que han

generado en los sectores más bajos un típico modelado glaciar y en el valle están tapizados por depósitos glaciares, fluvioglaciares.

Figura 13: Montaña en Roca Volcánica Calipuy

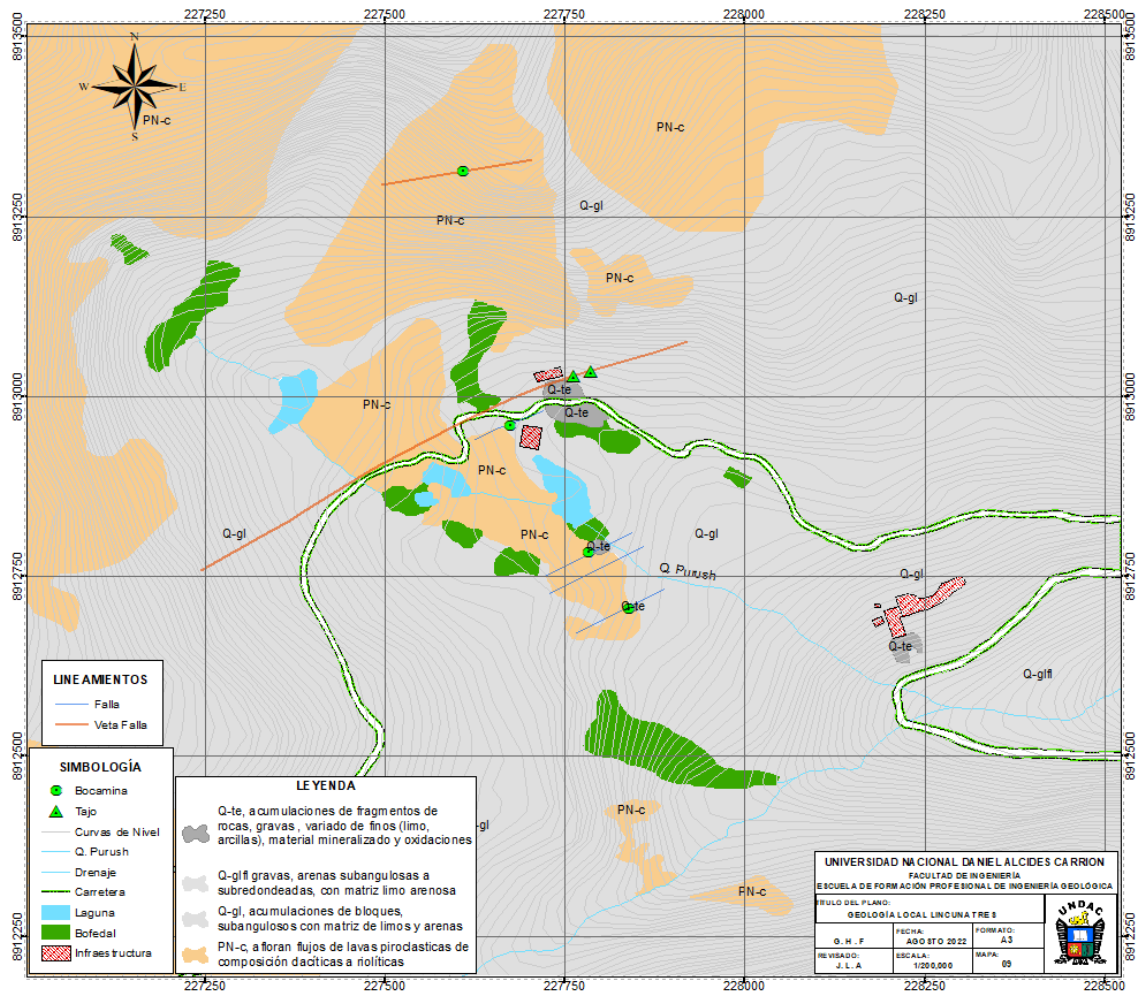


Nota. Geoformas con ondulaciones de montañas en rocas volcánicas Calipuy.

Geología local

En el área de estudio a nivel local se presentan afloramientos rocosos de naturaleza volcánica correspondientes al Grupo Calipuy; que por procesos de plegamiento mayores ha levantado la superficie de erosión y ha dado lugar al valle; esta roca volcánica proviene del cenozoico y es una secuencia constituida por lavas andesíticas, piroclásticos gruesos, tufos, riolitas y dacitas; la andesita es la que básicamente se emplaza en toda el área de estudio. Se extiende aproximadamente en 60% del área de estudio, siendo cubierto por material morrénico y aluvial del Cuaternario. Ver figura 14 y plano 9.

Figura 14: Geología Local



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Volcánicos Calipuy: En el contexto local el área de estudio se encuentra dentro de la cordillera negra y afloran flujos de lavas piroclásticas de composición dacíticas a riolíticas de color gris claro a rosado con textura afanítica; el mineral esencial es de cuarzo 30%, feldespato potásico 40 % y plagioclasas 5%, y en menos cantidades los minerales ferromagnesianos con biotita 2%, anfíbol < 1% con algunas lavas porfiríticas que claramente se observa que ha sido afectado por el tectonismo. Ver figura 15.

Figura 15: Afloramiento de Rocas del Grupo Calipuy



Nota. Afloramientos de secuencias volcánicas.

Depósitos Cuaternarios: En el área de estudio se han encontrado depósitos superficiales inconsolidados; se trata de depósitos recientes.

Depósitos Glaciares (Q-gl): Consisten principalmente por acumulaciones de morrenas conformados por bloques y clastos angulosos a subangulosos que presentan estrías glaciares y están consolidados en una matriz arenosa y limoarcillosa de baja compacidad. En el área de estudio está presentando carencias de áreas glaciares debido a la deglaciación en los últimos 50 años.

Figura 16: Depósitos Glaciares



Nota. Depósitos erosionados por el glaciar y que han sido transportados y abandonados por el hielo.

Depósitos Glaciares, Fluviales (Q-glfl): Son materiales que ha sufrido removilización por acción fluvial y por gravedad que se encuentran en las zonas bajas del área de estudio; su composición es muy heterogénea y anisotrópica y contienen fracciones de bloques, gravas gruesas subredondeadas en matriz arenolimsa y algo de arcilla, presenta profundidad y permeabilidad variables. Ocupan las laderas de las montañas en zonas glaciales, relleno los valles glaciales y en frentes de montañas en forma de talud de detritos.

Figura 17: Depósitos Glaciares, Fluviales



Nota. Depósitos relleno los valles glaciares que han sido transportado por acción fluvial y por arrastre producto de deshielo de agua de los glaciares.

Depósitos Tecnógenos (Q-te): Son materiales generalmente constituidos por una mezcla de fragmentos de rocas, gravas, variado de finos (limo, arcillas), material mineralizado y oxidación minerales de alta y baja compacidad. En el área se encuentran acumulados en las vías de acceso, desmonteras.

Figura 18: Depósitos Tecnógenos



Nota. Áreas cubiertas por materiales estériles provenientes de las labores mineras.

Rasgos Estructurales

Los rasgos estructurales más importantes que se observan en el área de estudio corresponden a una típica tectónica de fallas en bloques, fracturamiento, plegamiento y diaclasamiento relacionado con las estructuras mayores. Estas estructuras son importantes, dado que tienen influencia con la calidad del macizo rocoso.

Las estructuras principales son vetas fallas verticales, sub verticales y sub paralelas entre ellas con rumbo de N245°- N265° y buzamiento de 85 - 88° NW; estas vetas fallas controlan muy claramente la mineralización de la zona.

Las otras estructuras son sistemas de diaclasamiento y corresponde a 02 sistemas muy bien diferenciados.

El primero sistema corresponde a diaclasas de rumbo N245° y buzamiento 86°NW y el otro sistema corresponde a rumbo N155° y Buzamiento 85°-88° NW.

Figura 19: Zona de Falla Geológica que afecta en el Área de Estudio



Nota. Vista de la principal veta falla mineralizada en el área de estudio.

Figura 20: Afloramientos de Rocas Diaclasadas y Fracturadas



Nota. Vista de diaclasas paralelas y de espacio regular cortadas por fracturas con diferentes direcciones.

4.1.5. Situación Actual de las Labores Mineras

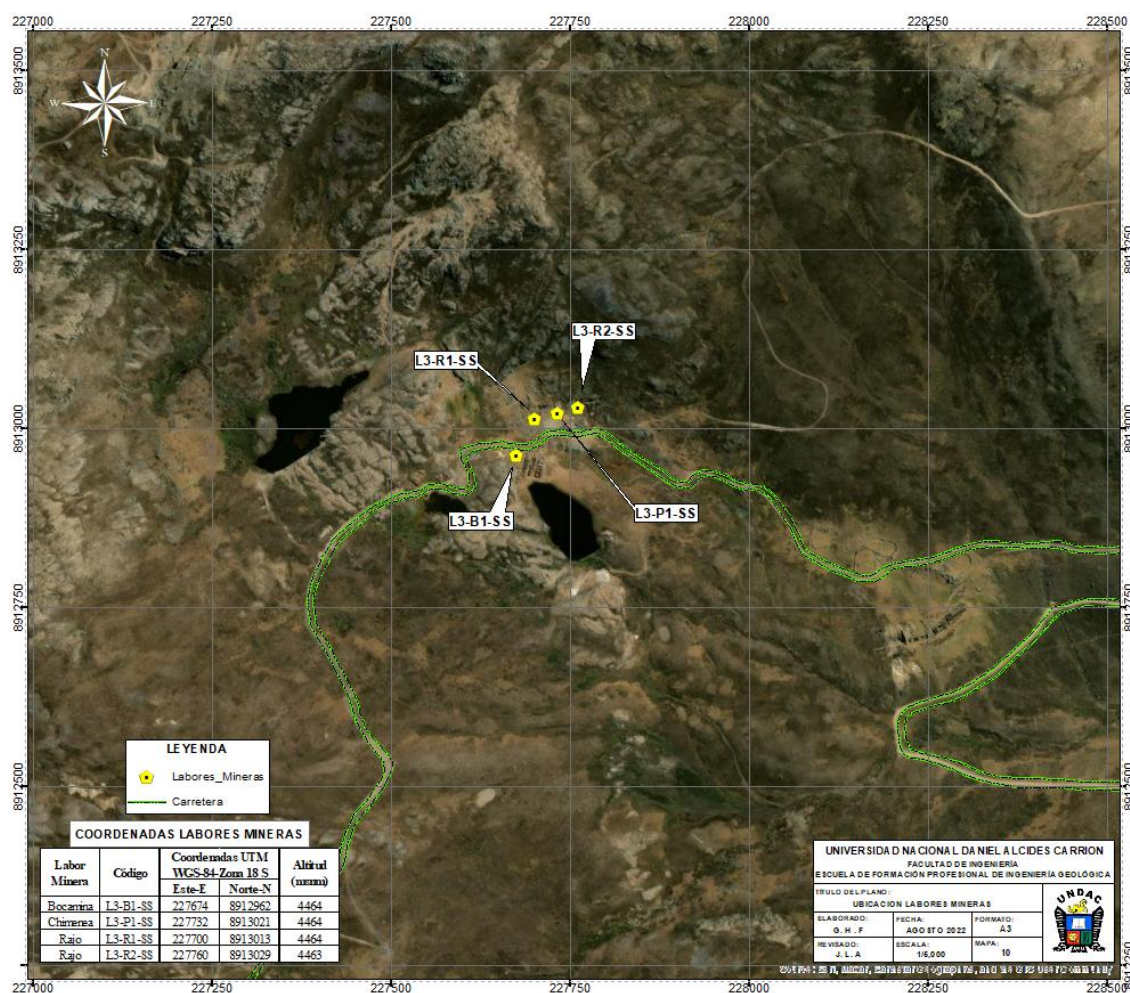
El inventario actual de los principales Componentes ubicadas dentro de la Compañía Minera Lincuna S.A – Lincuna Tres, las mismas que se detallan en la tabla 5y figura 21.

Tabla 5: Labores Mineras Lincuna Tres

Labor Minera	Código	Coordenadas UTM WGS-84-Zona 18 S		Altitud (msnm)
		Este-E	Norte-N	
Bocamina	L3-B1-SS	227674	8912962	4464
Chimenea	L3-P1-SS	227732	8913021	4464
Rajo	L3-R1-SS	227700	8913013	4464
Rajo	L3-R2-SS	227760	8913029	4463

Nota. Fuente: Elaboración propia basada en los datos del estudio de campo.

Figura 21: Ubicación de Labores Mineras



Nota. Fuente: Elaboración propia

Bocamina L3-B1-SS

Se ubica a 4,464 msnm de altitud con coordenadas UTM 227674 E y 8912962 N en la cabecera de la Microcuenca Purush y se encuentra abierta. Presenta agua empozada con pH de 3.5 (14/07/2022) además de humedad en los hastiales y techo. Actualmente al ingreso presenta una capa de material coluvial que permite la acumulación de agua en el interior de la labor y en su exterior no se manifiesta drenaje fluyente. La bocamina ha sido excavada en estructura mineralizada con caja de litología Volcánica, sus dimensiones son: Ancho 2.50 m., altura 2.00 m., profundidad mayor a 9.00 m y de forma irregular.

Esta Bocamina se encuentra emplazado en roca incompetente con presencia de falla, dos familias de diaclasas donde la primera tiene tumbo de la labor y la segunda perpendicular a ellas; estas diaclasas presentan humedad y oxidaciones. La bocamina profundiza con una dirección promedio de N260°.

Figura 22: Vista de la Bocamina L3-B1-SS



Nota. Fuente: Elaboración propia

Chimenea L3-P11-SS

La Chimenea L3-P11-SS se ubica a 4,463 msnm de altitud con coordenadas UTM 227732 E y 8913021 N en la cabecera de la Microcuenca Purush y actualmente se encuentra tapada por agua empozada con pH de 3.5 (14/07/2022); geológicamente se encuentra en los volcánicos Calipuy. La Chimenea ha sido excavada en estructura mineralizada con caja de litología Volcánica, sus dimensiones en sección de 3.00 m. por 2.00 m., profundidad mayor a 10.00 m.

Figura 23: Vista de la Chimenea L3-P11-SS



Nota. Fuente: Elaboración propia

Rajo L1-R1-SS

Se ubica a 4,645 msnm de altitud con coordenadas UTM 227700 E y 8913013 N en la cabecera de la Microcuenca Purush, se encuentra rellena, sin embargo, se muestra agua empozada con pH de 6.5 (14/07/2022). El rajo ha sido excavado en estructura mineralizada con caja de litología Volcánica, con ancho promedio de 2.10 m., largo <50 m., altura 2.50 m., de forma irregular. Se

encuentra emplazado en roca incompetente con presencia de diaclazamiento y fracturamiento. El Rajo profundiza con una dirección promedio de N255°.

Figura 24: Vista del Rajo L1-R1-SS



Nota. Fuente: Elaboración propia

Rajo L1-R2-SS

Se ubica a 4,645 msnm de altitud con coordenadas UTM 227760 E y 8913029 N en la cabecera de la Microcuenca Purush, se encuentra actualmente rellena, sin embargo, también presenta agua empozada con pH de 6.3 (14/07/2022). El rajo ha sido excavado en estructura mineralizada con caja de litología Volcánica, con ancho promedio de 2.00 m., largo 64 m., altura 3.00 m., de forma irregular. Se encuentra emplazado en roca incompetente con presencia de diaclazamiento y fracturamiento. El Rajo profundiza con una dirección promedio de N260°.

Figura 25: Vista del Rajo L1-R2-SS



Nota. Fuente: Elaboración propia

4.1.6. Inventario de Fuentes de Agua

En Lincuna Tres como parte del estudio hidrogeológico se ha registrado diferentes fuentes de agua; los cuales han sido muestreados y evaluados la calidad de aguas en diferentes puntos como se indica en la siguiente tabla; ubicados con sus coordenadas UTM correspondientes: Ver tabla 6.

Tabla 6: Ubicación de las Fuentes y Puntos de Evaluación de Calidad de Agua

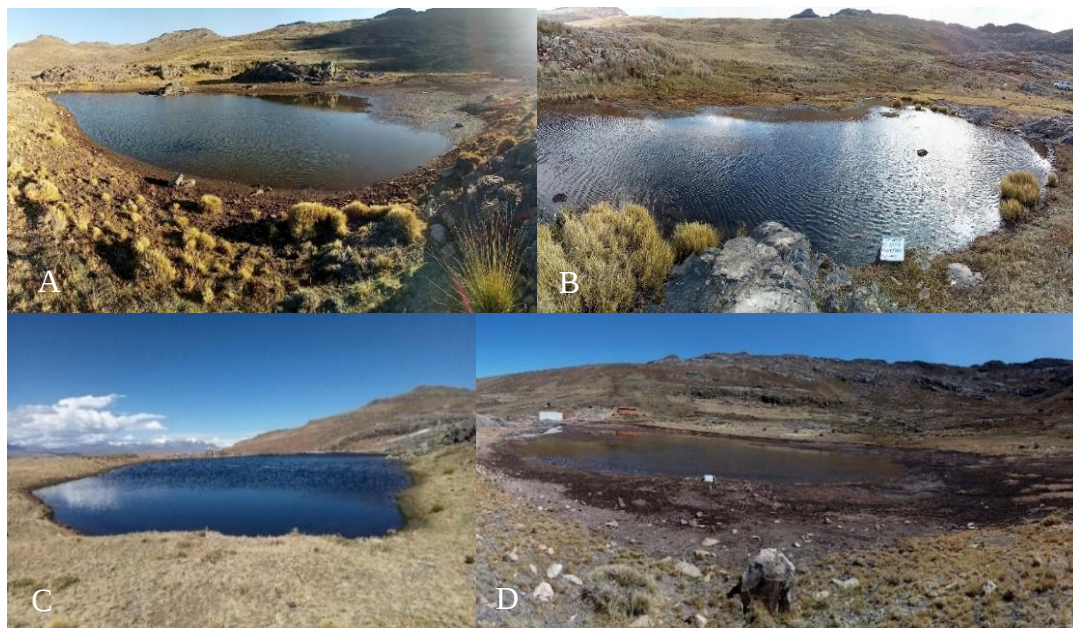
Fuentes de agua	Este	Norte	Cota
(Laguna1) L3-L1	227616	8912869	4477
(Laguna2) L3-L2	227563	8912862	4474
(Laguna3) L3-L3	227794	8912831	4464
(Laguna4) L3-L4	227396	8913009	4502
(Quebrada1) L3-Q1	228031	8912703	4434
(Quebrada2) L3-Q2	228115	8912487	4412
(Manantial1) L3-M1	227820	8912500	4462
(Manantial2) L3-M2	227823	8912525	4461
(Manantial3) L3-M3	227823	8912562	4463
(Manantial4) L3-M4	227542	8912173	4482
(Manantial5) L3-M5	227522	8912106	4486
(Manantial6) L3-M6	227231	8913087	4509
(Manantial7) L3-M7	227141	8913204	4537
(Bofedal1) L3-B1	228030	8912470	4422
(Bofedal2) L3-B2	227959	8912483	4432
(Bofedal3) L3-B3	227678	8912779	4475
(Bofedal4) L3-B4	227545	8912847	4477
(Bofedal5) L3-B5	227779	8913013	4462
(Bofedal6) L3-B6	227393	8912041	4495
(Bofedal7) L3-B7	227571	8913128	4498
(Bofedal8) L3-B8	227534	8913120	4500
(Bofedal9) L3-B9	227604	8913047	4480
(Bofedal10) L3-B10	227807	8912963	4464
(Bofedal11) L3-B11	227989	8912894	4450

Nota. Fuente: Elaboración propia basada en los datos del estudio de campo.

Lagunas y Represas

Se registran 4 lagunas ubicadas en el interior del área de estudio. Véase figura 26.

Figura 26: Vista de Lagunas y Represas



Nota. Lagunas y represas en cadena ubicadas con coordenadas UTM en la parte alta de la microcuenca Purush. A. 227616 E, 8912869 N laguna chica regulada para épocas de estiaje; B. 227563 E, 8912862 N laguna chica con una forma ancestral de cosecha de agua.; C. 227794 E, 8912831N presa rustica que se puede apreciar su color cristalino y es la fuente más importante de la quebrada Purush; D. 227396 E, 8913009 N represa regulada a épocas de estiaje alimentada directamente de la cabecera de la microcuenca.

Ríos y Quebradas

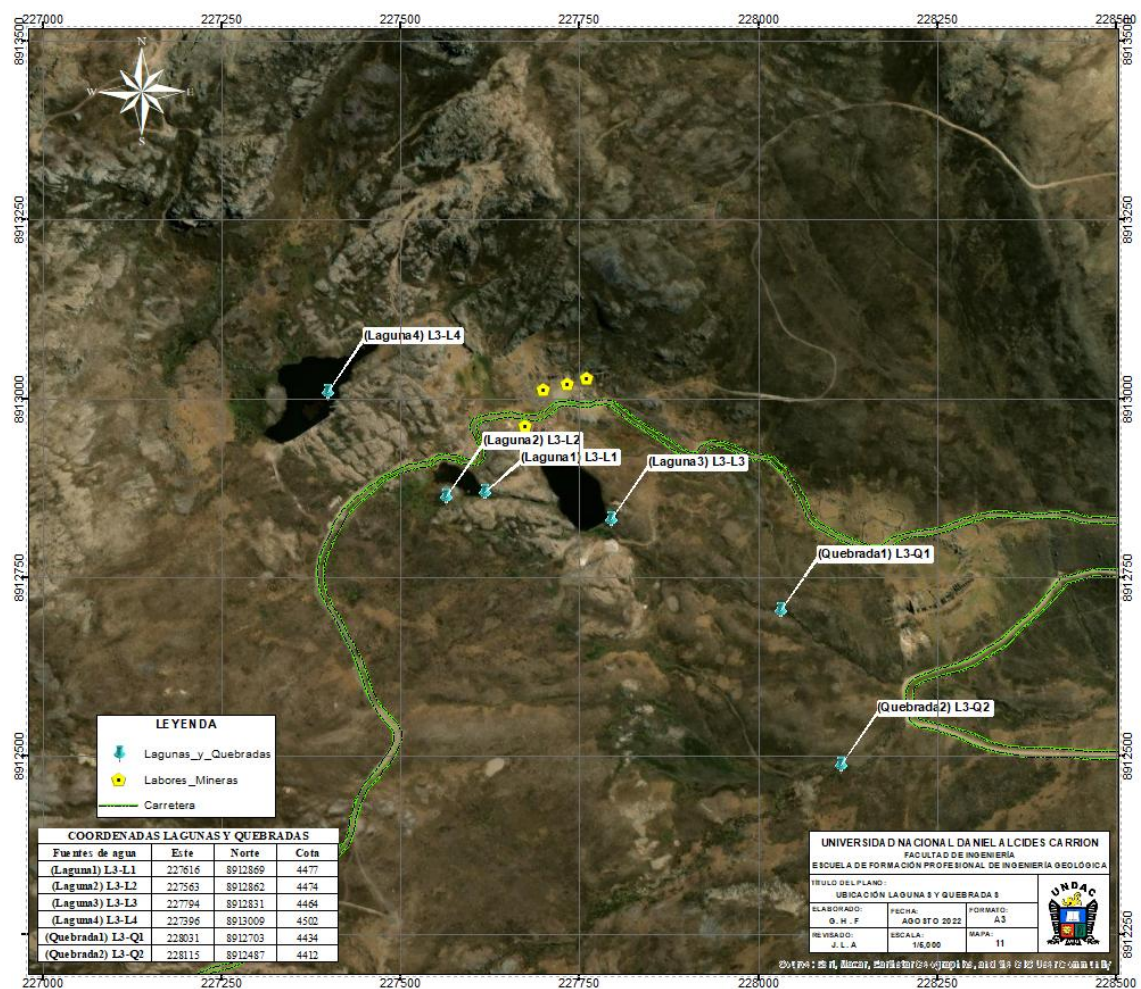
En el área de estudio no se han registrado ríos, solo se han registrado 2 quebradas y pequeños riachuelos, como se aprecia en las figuras 27 y 28.

Figura 27: Vista de Quebradas



Nota. A. Quebrada con coordenada UTM 228031 E, 8912703 N con presencia de poco flujo permanente de agua proveniente de la cadena de lagunas ubicadas al norte de la cabecera de la microcuenca; B. Quebrada con coordenada UTM 228115 E, 8912487 N presenta flujo permanente de agua provenientes de manantiales, bofedales ubicadas al sur de la parte alta de la microcuenca.

Figura 28: Ubicación de Lagunas y Quebradas



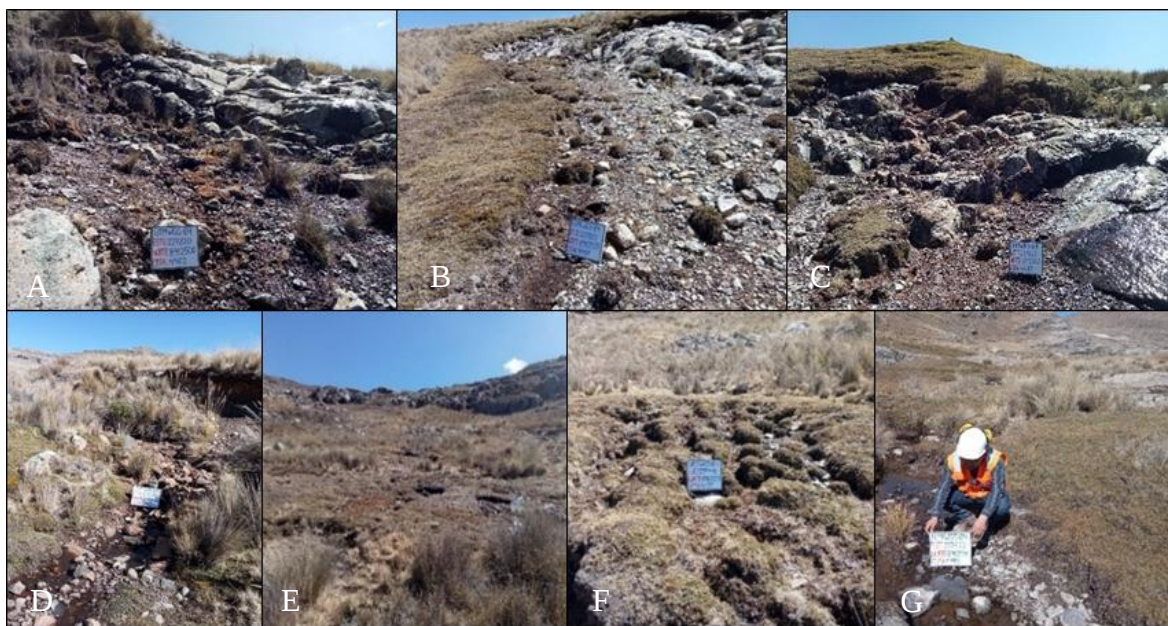
Nota. Fuente: Elaboración propia

Manantiales y Bofedales

En Lincuna 3 como parte del estudio hidrogeológico se ha registrado diferentes puntos de agua; los cuales han sido muestreados e identificados como se indica en el cuadro 2; ubicados con sus coordenadas UTM correspondientes:

En Lincuna Tres se han registrado 07 manantiales y 10 bofedales en el interior del área de estudio. Del mismo en el cuadro 2 se muestra las coordenadas UTM. y en las Figuras 29, 30 y 31 se aprecia la ubicación en la cual se encuentra cada una.

Figura 29: Manantiales Identificados dentro del Área de Estudio



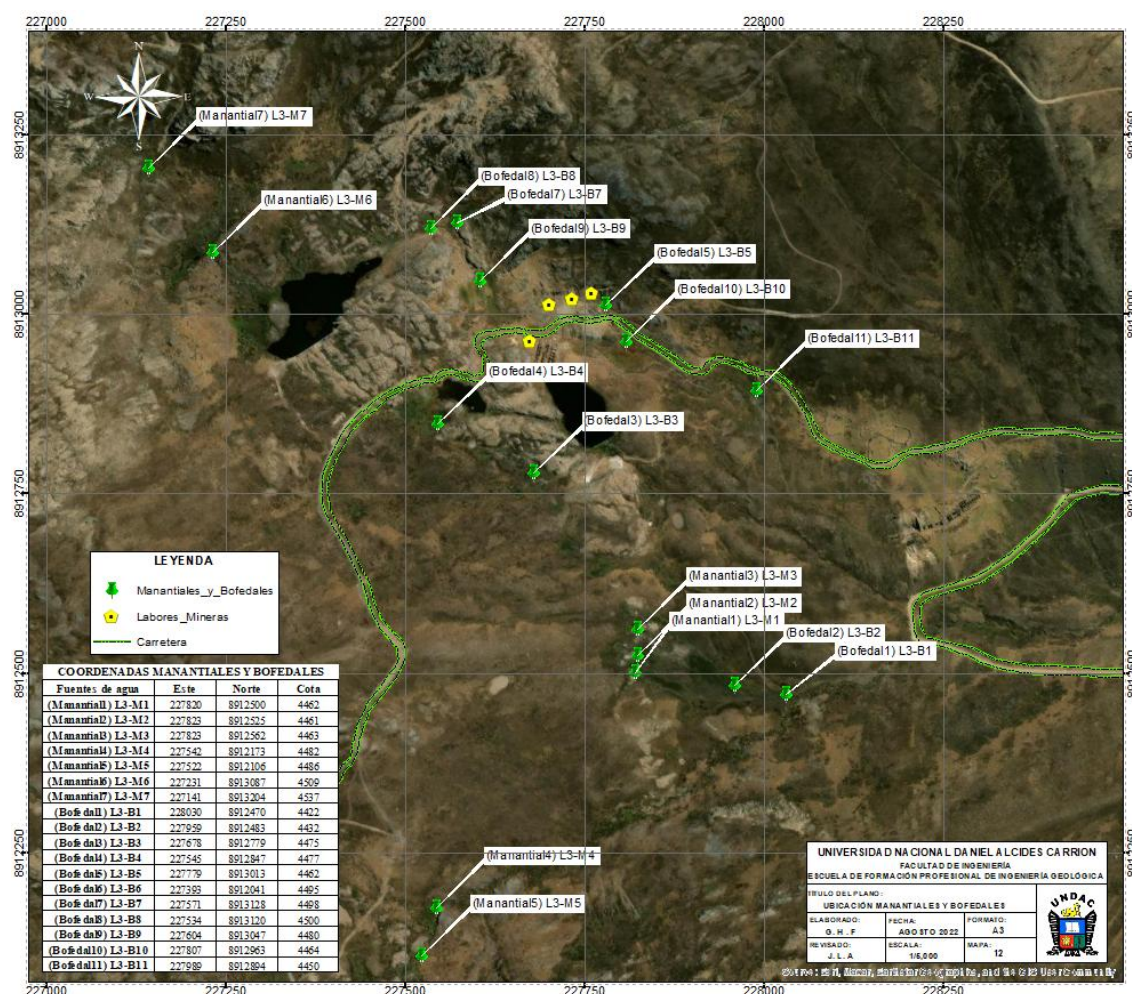
Nota. Manantiales ubicados con coordenadas UTM en la parte alta de la microcuenca Purush. A. 227820 E, 8912500 N; B. 227823 E, 8912525 N; C. 227823 E, 8912562 N; D. 227542 E, 8912173 N; E. 227522 E, 8912106 N; F. 227231 E, 8913087 N; G. 227141 E, 8913204 N. Son aprovechados para mantener los humedales en la parte baja y como fuente importante de aporte a las lagunas y quebradas.

Figura 30: Imágenes de los Bofedales Identificados dentro del Área del Proyecto



Nota. Bofedales ubicados con coordenadas UTM en la parte alta de la microcuenca Purush A. 228030 E, 8912470 N; B. 227959 E, 8912483 N; C. 227678 E, 8912779 N; D. 227545 E, 8912847 N; E. 227779 E, 8913013 N; F. 227393 E, 8912041 N; G. 227571 E, 8913128 N; H. 227534 E, 8913120 N; I. 227604 E, 8913047 N; J. 227807 E, 8912963 N; K. 227989 E, 8912894 N. Bofedales alto andino alimentados por manantiales y lluvias en invierno.

Figura 31: Ubicación de Manantiales y Bofedales



Nota. Fuente: Elaboración propia

4.1.7. Evaluación de la Calidad de Agua In situ

Potencial de Hidrógeno (pH)

Los resultados obtenidos de la medición del parámetro pH en la zona de Lincuna Tres, muestran que 38 estaciones monitoreadas reportan valores por debajo del límite permisible para los estándares de calidad de agua de categoría 3; aprobadas con el Decreto Supremo N° 004- 2017-MINAM.

Los puntos de control L3-B1-SS; L3-BM1; L3-BM2 y L3-PA2 presentan valores bajos de pH (3.5; 2.4; 3.1; y 3.5 respectivamente). Los puntos de muestreo corresponden a bocaminas con aguas de contacto, donde la mineralogía

principalmente está conformada por sulfuros como pirrotita y pirita que generan la característica de acidez durante la destrucción oxidativa de estos sulfuros.

Conductividad Eléctrica

Los resultados obtenidos en todos los puntos muestreados en el área de estudio muestran resultados de conductividad eléctrica de las aguas superficiales que están en el rango de 20 a 1270 $\mu\text{S/cm}$, valores que están por debajo del máximo permisible (2500 y 5000 $\mu\text{S/cm}$ para el riego de las plantas y bebida de animales) respectivamente establecido por los estándares de calidad de agua categoría 3; aprobadas con el Decreto Supremo N° 004- 2017-MINAM. Excepto la muestra L3-BM1 con un 3090 $\mu\text{S/cm}$; lo cual se encuentra superando los límites permisibles.

Sólidos Totales Disueltos

Los resultados obtenidos de la medición in situ en los puntos de muestreo de calidad de agua registran concentraciones entre 20 y 1620 ppm, estos datos no están sujetos a límites máximos ni mínimos permisibles dentro de los estándares de calidad de agua categoría 3.

Tabla 7: Valores de Parámetros Físico Químicos de Aguas Superficiales

Código de mapeo	COORDENADAS UTM- WGS84			pH	CE ($\mu\text{S/cm}$)	TDS (mg/L)	Temp. (°C)
	Este-E	Norte-N	Cota (msnm)				
(Laguna 1) L3-L1	227616	8912869	4477	8.1	160.0	70.0	11.8
(Laguna 2) L3-L2	227563	8912862	4474	8.1	150.0	60.0	12.7
(Laguna 3) L3-L3	227794	8912831	4464	7.2	80.0	30.0	12.9
(Laguna 4) L3-L4	227396	8913009	4502	7.8	80.0	30.0	18.3
(Quebrada 1) L3-Q1	227805	8912805	4458	6.6	60	20	11.8
(Quebrada 1) L3-Q2	227918	8912744	4447	6.7	70	30	12.5
(Quebrada 1) L3-Q3	228031	8912703	4434	7.1	70	30	10

(Quebrada 1) L3-Q4	228224	8912595	4392	7.5	60	20	13.5
(Quebrada 2) L3-Q5	228225	8912559	4391	7.7	80	30	14.9
(Quebrada 2) L3-Q6	228115	8912487	4412	7.8	100	40	13.8
(Quebrada 2) L3-Q7	227973	8912395	4426	7.8	80	30	14.2
(Quebrada 2) L3-Q8	227840	8912307	4459	7.9	60	20	16.5
(Quebrada 2) L3-Q9	227643	8912220	4470	7.3	50	20	8.2
(Manantial 1) L3-M1	227820	8912500	4462	8.1	190.0	90.0	20.5
(Manantial 2) L3-M2	227823	8912525	4461	8.3	210.0	100.0	22.0
(Manantial 3) L3-M3	227823	8912562	4463	8.4	200.0	90.0	19.4
(Manantial 4) L3-M4	227542	8912173	4482	7.7	40	10	10.2
(Manantial 5) L3-M5	227522	8912106	4486	7.7	60	20	12.5
(Manantial 6) L3-M6	227231	8913087	4509	7.5	80	30	19.6
(Manantial 7) L3-M7	227141	8913204	4537	7.4	100	40	13.5
(Bofedal 1) L3-B1	228030	8912470	4422	8	190	90	21.4
(Bofedal 2) L3-B2	227959	8912483	4432	8.1	230	110	18.1
(Bofedal 3) L3-B3	227678	8912779	4475	6.7	160	70	16.5
(Bofedal 4) L3-B4	227545	8912847	4477	6.6	30	10	13.1
(Bofedal 5) L3-B5	227779	8913013	4462	6.8	140	60	9.6
(Bofedal 6) L3-B6	227393	8912041	4495	6.1	40	10	13.4
(Bofedal 7) L3-B7	227571	8913128	4498	7.2	40	10	16.1
(Bofedal 8) L3-B8	227534	8913120	4500	7.3	30	10	19.4
(Bofedal 9) L3-B9	227604	8913047	4480	6.5	20	0	13.1
(Bofedal 10) L3-B10	227807	8912963	4464	4.6	250	120	17.7
(Bofedal 11) L3-B11	227989	8912894	4450	6.5	90	40	18.2
(Riachuelo 1) L3-R1	227512	8912880	4478	7.7	120	50	12.4
(Riachuelo 2) L3-R2	227469	8912881	4489	7.8	140	60	8.8
(Bocamina)L3-B1-SS	227675	8912961	4464	3.5	630	310	5.8
(Bocamina)L3-B-M1	227784	8912785	4466	2.4	3090	1620	12.8
(Bocamina)L3-B-M2	227839	8912706	4468	3.1	750	380	13
(Rajo 1) L3-R1	227499	8912907	4481	7.8	140	60	8.5
(Rajo 2) L3-R2	227541	8912934	4479	8.2	50	10	9.8
(Rajo 3) L3-R3	227700	8913015	4470	6.3	250	110	8.8
(Rajo 4) L3-R4	227763	8913029	4468	6.3	120	50	7.4

Nota. Elaboración propia basada en los datos de estudio de campo.

4.2. Presentación, Análisis e Interpretación de Resultados

4.2.1. Características Hidrológicas

Parámetros Geomorfológicos

En la microcuenca Lincuna Tres, las características físicas que presenta interactúan superlativamente en el normal funcionamiento del régimen hidrológico. El análisis y cálculo de los parámetros geomorfológicos nos ayudarán a estimar los valores de elementos principales que influyen en las posibles variaciones hidrometeorológicas que presenta la microcuenca.

Tabla 8: Parámetros Geomorfológicos

CARACTERÍSTICAS	PARÁMETRO	SÍMBOLO	UNIDAD	MAGNITUD
Geométricas	Área	A	km ²	39.48
	Perímetro	P	km	29.40
Físicas	Coefficiente de compacidad	kc	-	1.32
	Factor de forma	Hf	-	0.52
Sistema de drenaje	Orden de corriente	-	Nº	4.00
	Densidad de corriente	Dc	km/km ²	1.20
	Longitud del río	-	km	8.70
	Pendiente del río	-	(%)	10.16
			(m)	0.10
Relieve	Elevación máxima	-	(msnm)	4476
	Elevación media	-	(msnm)	4034
	Elevación mínima	-	(msnm)	3592
	Rectángulo equivalente	L	km	11.33
		l	km	3.49

Nota. Resultados obtenidos del análisis y cálculo de los parámetros geomorfológicos.

Parámetros Hidrometeorológicos

Información Meteorológica: Para llevar a cabo la caracterización meteorológica en el proyecto, se analizó la información disponible de 06 estaciones meteorológicas, referido a las siguientes variables meteorológicas, como son:

- Precipitación Total Mensual.
- Precipitación Máxima de 24 horas.
- Temperatura Media Mensual

Cuya fuente de información fue proporcionada por el SENAMHI, como se muestra en la tabla adjunto. Las ubicaciones de las estaciones se presentan en la tabla 9 figura 32.

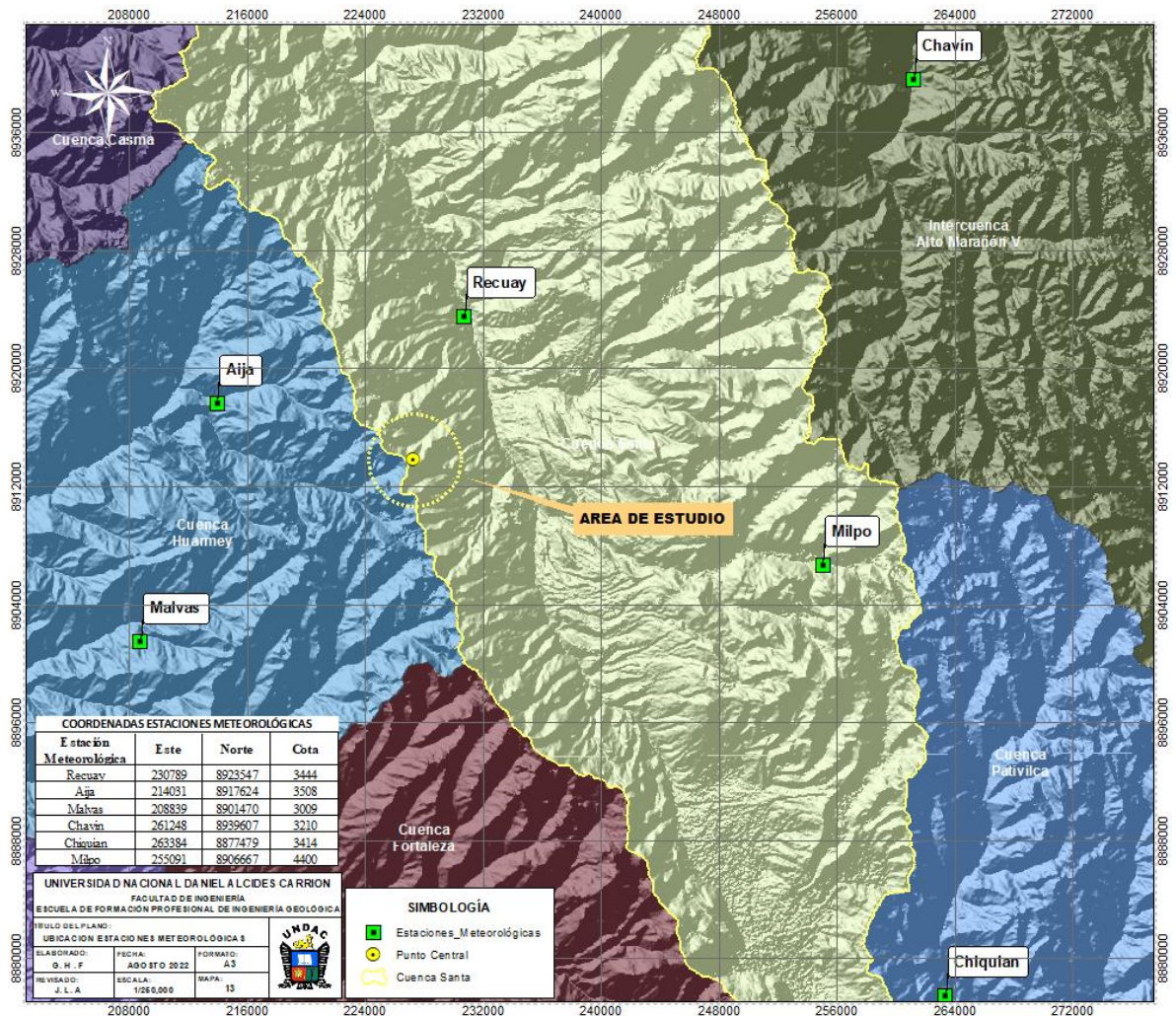
Tabla 9: Estaciones Meteorológicas Analizadas

N°	ESTACIÓN	CÓDIGO	ESTE	NORTE	ALTITUD	PARÁMETROS
1	Recuay	47259496	230789	8923547	3444	- Precipitación Total Mensual. - Precipitación Máxima 24 horas. - Temperatura Media Mensual. - Humedad Relativa Mensual.
2	Aija	109016	214031	8917624	3508	- Precipitación Total Mensual. - Precipitación Máxima 24 horas. - Temperatura Media Mensual. - Humedad Relativa Mensual.

3	Malvas	109038	208839	8901470	3009	- Precipitación Total Mensual. - Precipitación Máxima 24 horas. - Temperatura Media Mensual. - Humedad Relativa Mensual.
4	Chavín	4725A10C	261248	8939607	3210	- Precipitación Total Mensual. - Temperatura Media Mensual. - Humedad Relativa Media Mensual - Evaporación Total Mensual
5	Chiquian	110018	263384	8877479	3414	- Precipitación Total Mensual - Temperatura Media Mensual - Evapotranspiración Media
6	Milpo	150902	255091	8906667	4400	- Precipitación Total Mensual - Precipitación Máxima 24 horas

Nota. Fuente: Elaboración propia basada en los datos del estudio de campo extraídos del SENAMHI

Figura 32: Ubicación de las Estaciones Meteorológicas



Nota. Fuente: SENAMHI

Balance Hídrico Superficial: Este proceso se ha realizado con la finalidad de establecer los déficits o excesos de agua natural en el sistema hidrológico.

El balance hídrico nos va a permitir conocer las características de la cuenca:

Entradas = Salidas + Cambio en el almacenamiento

$$P = Es + Eto + Ev + I \pm \Delta V$$

Donde:

P = precipitación

Es = escorrentía

Eto = evapotranspiración

I = infiltración

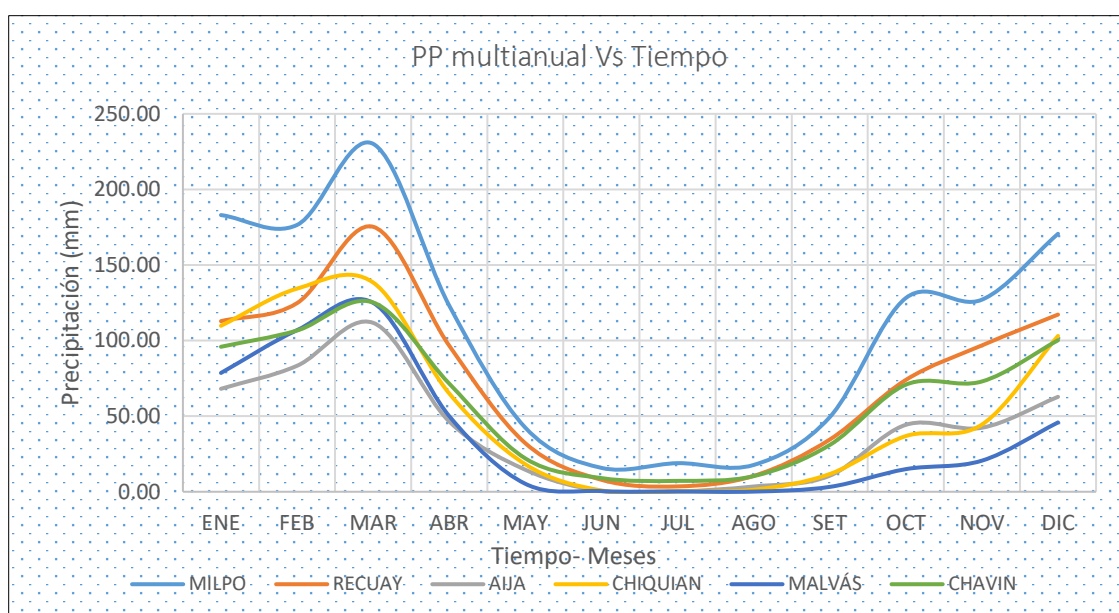
Ev = evaporación

ΔV = variación de volumen

Precipitación: El régimen pluviométrico se distribuye en tres épocas, la de estiaje, de transición y la de lluvias. La época de lluvias se produce entre los meses de diciembre y abril, llegando a su pico entre los meses de febrero y marzo. La época de transición se considera que ocurre en los meses de octubre y noviembre. Finalmente, la época de estiaje se da entre los meses de mayo y setiembre, siendo el mes de junio el más seco.

Variabilidad Temporal de la Precipitación Media Anual: La precipitación durante un año normal tiene un régimen estacional marcado, este fenómeno está ligado a las fluctuaciones de la zona de convergencia intertropical que para los meses de verano se traslada a mayores latitudes, relacionado con precipitaciones intensas en los meses de verano (diciembre-marzo) en los que se produce el 80% - 85% de la precipitación anual, en los meses de abril-setiembre esta zona permanece más en el Ecuador donde se presenta entre el 20% - 15% de la precipitación en la cuenca, los meses más secos son los comprendidos entre junio y agosto en los que se da solo entre el 1% y 2% de la precipitación anual, como se muestran en la figura 33.

Figura 33: Precipitación Multianual Vs Tiempo



Nota. Fuente: Elaboración propia basado en los datos de las estaciones meteorológicas cercanas al área de influencia del proyecto

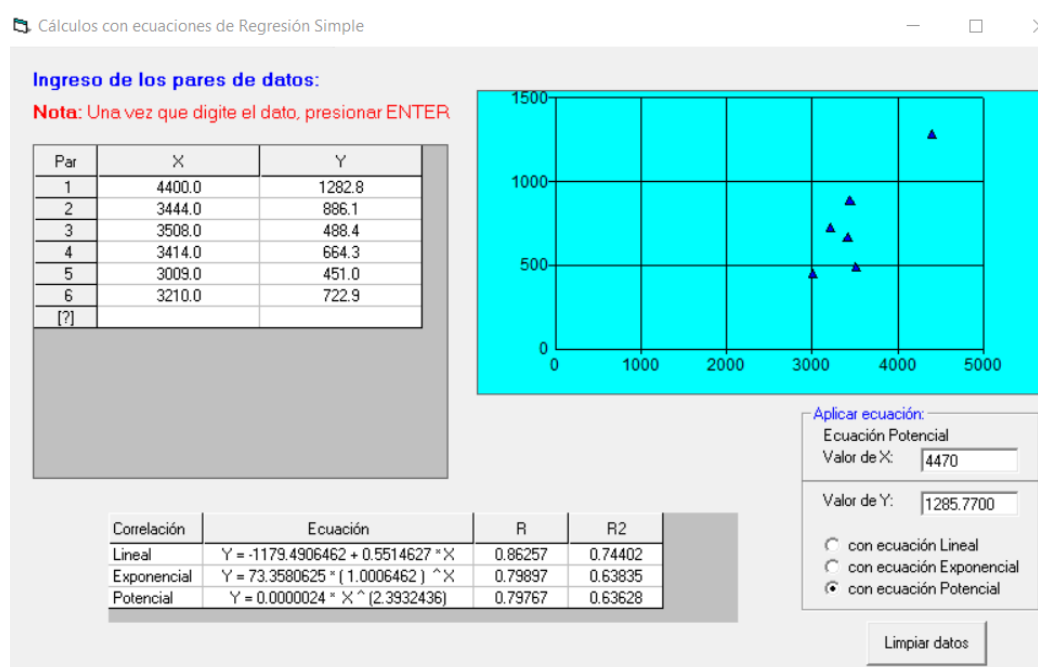
Ecuación Regional de la Precipitación Media Anual: Las informaciones de las estaciones meteorológicas ubicadas en el área de influencia directa e indirecta al proyecto Lincuna Tres; se emplearon para conocer el régimen Pluviométrico, previo análisis para su consistencia y calidad de datos. Determinándose el modelo de regresión Lineal que relaciona la variación de la precipitación total anual con la altitud, Ver la tabla 10; permitiendo generar valores de precipitación total anual para la zona del proyecto Lincuna Tres. Ver figuras 34 y 35.

Tabla 10: Relación Altitud (msnm) Vs. Precipitación Media Anual (mm)

ESTACIÓN	ELEVACIÓN	PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (mm)
Milpo	4400	1282.8
Recuay	3444	886.1
Aija	3508	488.4
Chiquian	3414	664.3
Malvas	3009	451.0
Chavín	3210	722.9

Nota. Fuente: Elaboración propia basado en los datos de las estaciones meteorológicas cercanas al área de influencia del proyecto.

Figura 34: Correlación Altitud Vs. Precipitación Total Multi Anual (mm)



Como resultado se obtiene una ecuación Potencial:

$$Y = 0.0000024 * X^{2.3932436}$$

Reemplazando los datos correspondientes se obtiene lo siguiente:

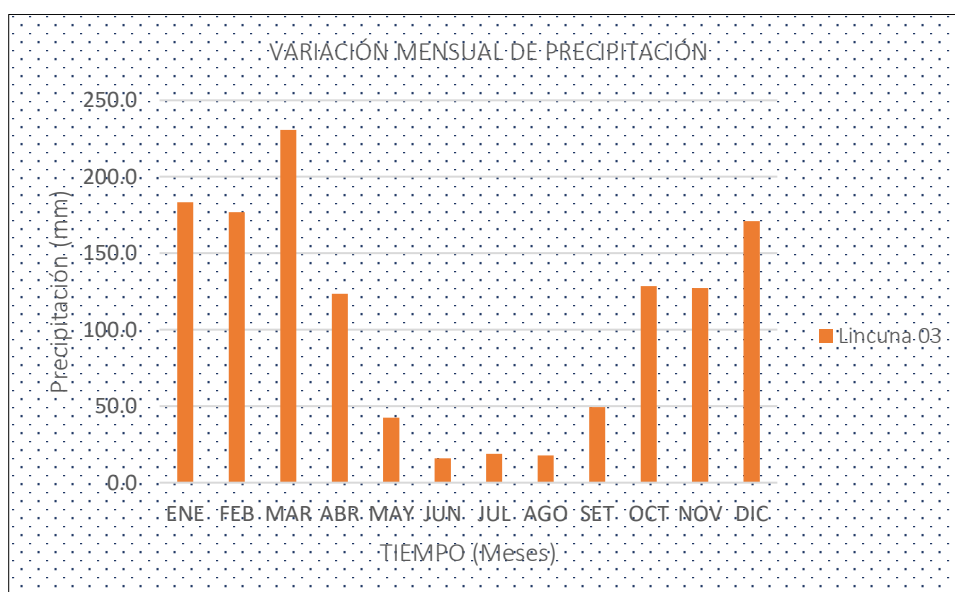
La altura media de la ubicación del proyecto Lincuna Tres (Microcuenca del río Purush) es de 4 470 msnm y con una Precipitación de 1285.7700 mm/año.

Tabla 11: Variación Mensual de la Precipitación en la Zona de Proyecto

MES/ESTACION	MILPO	PROPORCION MENSUAL (%)	MC-P LINCUNA TRES
ENERO	183	14.27	183.5
FEBRERO	176.5	13.76	176.9
MARZO	230.2	17.94	230.7
ABRIL	123.1	9.6	123.4
MAYO	42.4	3.3	42.5
JUNIO	15.8	1.23	15.8
JULIO	18.9	1.47	19
AGOSTO	17.7	1.38	17.7
SETIEMBRE	49.3	3.84	49.4
OCTUBRE	128.2	9.99	128.4
NOVIEMBRE	127.1	9.91	127.4
DICIEMBRE	170.6	13.3	171
ANUAL	1282.8	100	1285.8

Nota. Fuente: Elaboración propia basado en los datos de las estaciones meteorológicas cercanas al área de influencia del proyecto.

Figura 35: Variación Mensual de la Precipitación en la Zona del Proyecto



Nota. Fuente. Elaboración propia basado en los datos de las estaciones meteorológicas cercanas al área de influencia del proyecto.

Evapotranspiración Potencial: Para la estimación de la evapotranspiración potencial en el área de estudio se ha estimado a través de dos (02) metodologías, siendo estas el método de Blaney Criddle y el método de Thornthwaite. A continuación, se presenta un breve resumen de ambas metodologías.

Método de Blaney Criddle modificado por la FAO: La ecuación es la siguiente:

$$E_{to} = a + b * f \text{ y } f = p (0,46T + 8,13)$$

Donde:

E_{to} = evapotranspiración del cultivo de referencia [mm·d⁻¹];

T = temperatura media del aire [°C].

Los valores de a, b y p son incluidos en la publicación FAO-24 (Doorenbos y Pruitt, 1975) para distintas condiciones de humedad relativa, fracción de insolación y velocidad del viento.

En la tabla 12 y figura 36 se muestra la evapotranspiración potencial por el método de Blandey-Criddle desarrollado para Lincuna Tres.

Evapotranspiración Potencial- Método de Blaney - Criddle- (Lincuna Tres)

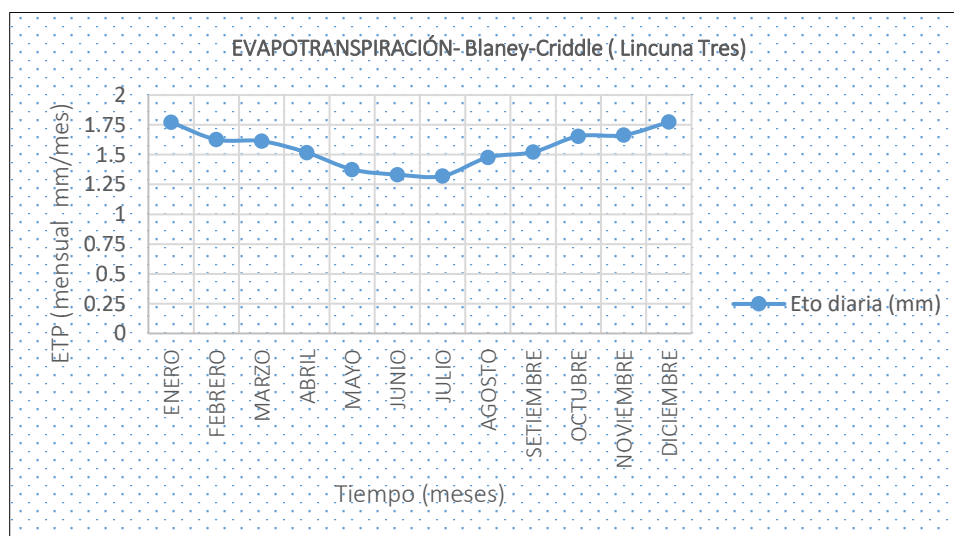
Tabla 12: Evapotranspiración Potencial- Método de Blaney - Criddle

MES	Media (°C)	P(%)	Eto diaria (mm)	ETr diaria (mm)	ETr Mensual (mm)
ENERO	9.93	0.29	1.772	1.063	32.96
FEBRERO	9.76	0.28	1.627	0.976	27.34
MARZO	9.65	0.28	1.614	0.968	30.02
ABRIL	9.87	0.27	1.518	0.911	27.33
MAYO	9.70	0.26	1.376	0.825	25.59
JUNIO	9.33	0.26	1.333	0.8	23.99

JULIO	9.23	0.26	1.321	0.793	24.57
AGOSTO	9.53	0.27	1.477	0.886	27.48
SETIEMBRE	9.90	0.27	1.522	0.913	27.39
OCTUBRE	9.98	0.28	1.655	0.993	30.78
NOVIEMBRE	10.05	0.28	1.664	0.998	29.95
DICIEMBRE	9.95	0.29	1.774	1.065	33.01
Datos climáticos estimados					
Insolación Relativa (n/N)		Nublado parcial (0.65-0.85)			
Humedad Relativa minima		Alta (>50) %			
Velocidad del viento		Débil (<7.2) Km/hr			

Nota. Fuente: Resultados de la evapotranspiración por el método de estimación de las evapotranspiraciones según Blandey-Criddle.

Figura 36: Variación de la Evapotranspiración Total Multianual – Lincuna Tres



Nota. Fuente: Resultados de la evapotranspiración por el método de estimación de las evapotranspiraciones según Blandey-Criddle

Método Thornthwaite: Utiliza como variable primaria para el cálculo de evapotranspiración potencial la media mensual de las temperaturas medias diarias del aire. Con ella calcula un índice de calor mensual, según la fórmula:

$$i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1.514}$$

Con la suma de los valores del índice de calor mensual se halla el índice de calor anual I

$$I = \sum i$$

Para los meses teóricos de 30 días y de 12 horas diarias de sol se formula la siguiente expresión:

$$\varepsilon = 16 * \left(\frac{10t}{I} \right)^a$$

Donde:

ε = Evapotranspiración potencial media en mm/día

t = Temperatura media diaria del mes en °C

Y “a” está definido por la siguiente expresión

$$a = 0.675 * 10^{-6} * I^3 - 0.771 * 10^{-4} * I^2 + 0.01972I + 0.49239$$

$$ETP = k\varepsilon$$

$$k = \left(\frac{N * d}{12 * 30} \right)$$

Donde:

ETP : Evapotranspiración potencial en mm/mes

K : Factor de corrección

N : Número máximo de horas sol, según latitud

D : Número de días del mes

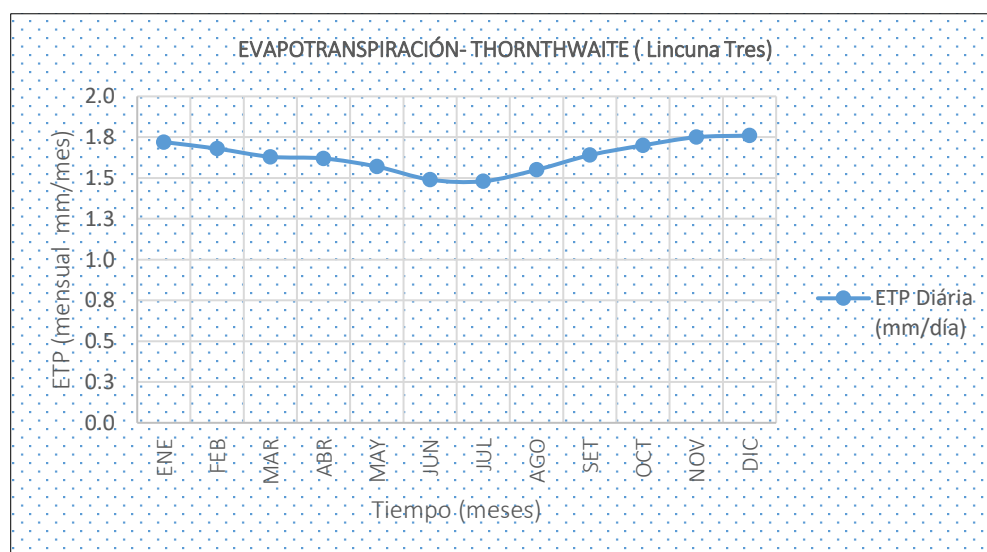
El resultado de la evapotranspiración potencial calculada para la microcuenca en estudio es mediante la metodología de Hargreaves y Thornthwaite se presentan en a continuación: Véase tabla 13 y figura 37.

Tabla 13: Evapotranspiración Potencial- Fórmula de Thornthwaite- (Lincuna Tres)

MES	T Media (°C)	Indice (i)	Eto (mm)	K	ETP Mensual (mm/mes)	ETP Diária (mm/día)
ENERO	9.9	2.8	49.5	1.1	53.4	1.7
FEBRERO	9.8	2.8	48.6	1.0	47.2	1.7
MARZO	9.7	2.7	48.1	1.1	50.5	1.6
ABRIL	9.9	2.8	49.2	1.0	48.7	1.6
MAYO	9.7	2.7	48.3	1.0	48.8	1.6
JUNIO	9.3	2.6	46.4	1.0	44.6	1.5
JULIO	9.2	2.5	45.9	1.0	45.9	1.5
AGOSTO	9.5	2.7	47.4	1.0	47.9	1.6
SETIEMBRE	9.9	2.8	49.3	1.0	49.3	1.6
OCTUBRE	10.0	2.8	49.7	1.1	52.7	1.7
NOVIEMBRE	10.0	2.9	50.1	1.1	52.6	1.8
DICIEMBRE	10.0	2.8	49.6	1.1	54.5	1.8
i	32.9406					
a	1.02316					

Nota. Fuente. Resultado de la evapotranspiración potencial por el método de estimación de las evapotranspiraciones según Thornthwaite.

Figura 37: Variación de la Evapotranspiración Total Multianual – Lincuna Tres



Nota. Fuente. Resultado de la evapotranspiración potencial por el método de estimación de las evapotranspiraciones según Thornthwaite.

Evaporación: La evaporación se considera como el fenómeno físico que permite a un fluido, convertirse en vapor es decir incorporarse al aire, por lo que se ha considerado la evaporación de las lagunas existente en la zona de estudio.

Para la determinación de la evaporación de las lagunas, se ha considerado estudios anteriores; para este caso se tiene la “Evaluación de Impacto Ambiental del proyecto de embalse Querococha” realizado por la Autoridad Nacional de Agua, en el cual se ha determinado una evaporación mensual y los resultados se muestran a continuación en la tabla 14; siendo estos resultados referenciales para el presente estudio.

Tabla 14: Evaporación Mensual de Lagunas (mm)

MES	Evaporación (mm)	MES	Evaporación (mm)
Enero	91.80	Julio	70.63
Febrero	81.79	Agosto	49.40
Marzo	87.30	Septiembre	50.30
Abril	79.25	Octubre	91.70
Mayo	73.57	Noviembre	91.29
Junio	66.30	Diciembre	92.68
TOTAL (mm)		926.01	

Nota. Fuente: “Evaluación de impacto ambiental del proyecto de embalse Queroqocha”- ANA.

Escorrentía: La escorrentía está relacionada a la precipitación media anual y al área de la cuenca, en la zona de estudio se tiene una precipitación media anual de 1285.8 mm como se detalla en la tabla 15.

Para determinar las descargas disponibles en un punto de interés, se ha utilizado el modelo de Lutz Scholz determinándose en función a los diferentes factores que se interrelacionan para la producción de escorrentía, tales como precipitación, evaporación, y almacenamiento natural en la cuenca.

A continuación, se describe el resumen del resultado del estudio hidrológico para cada uno de los factores que intervienen en la transformación de la lluvia a escurrentía. Véase tabla 15.

Tabla 15: Resultados de la Generación de Caudales para el año Promedio (m³/s)

MES	N° dias	PRECIPITACION MENSUAL			
		P Total			
	mes	mm/mes	PE II mm/mes	PE III mm/mes	PE mm/mes
1	2	3	4	5	6
Enero	30	183.5	97.1	123.8	122.3
Febrero	28	176.9	90.5	117.2	115.7
Marzo	31	230.7	144.3	171	169.5
Abril	30	123.4	27.3	63.7	61.7
Mayo	31	42.5	4.1	10	9.7
Junio	30	15.8	1.7	3.8	3.7
Julio	31	19	2	4.4	4.3
Agosto	31	17.7	1.9	4.2	4
Septiembre	30	49.4	5	12.7	12.3
Octubre	31	128.4	29.5	68.7	66.6
Noviembre	30	127.4	29	67.7	65.5
Diciembre	31	171	84.6	111.3	109.8
AÑO		1285.8	517	758.5	745
Coeficientes		0.61	0.01	0.99	1
MES	N° dias	CONTRIBUCION DE LA RETENCION			
		Gasto		Abastecimiento	
	mes	bi	Gi (mm/mes)	ai	Ai (mm/mes)
		7	8	9	10
Enero	30		0	0.4	0.2
Febrero	28		0	0.2	0.1
Marzo	31		0	0	0
Abril	30	0.537	0.2074		0
Mayo	31	0.276	0.1068		0
Junio	30	0.155	0.0598		0
Julio	31	0.076	0.0295		0
Agosto	31	0.04	0.0155		0

Septiembre	30	0.024	0.0092		0
Octubre	31	0.011	0.0043	0	0
Noviembre	30		0	0.05	0
Diciembre	31		0	0.35	0.2
AÑO		1120	0.433	1	2.9
Coeficientes		0.8006906			
MES	N° dias	CAUDALE GENERADOS			
		Cmi	Qi	Qi	
	mes	mm/mes	m3/s	lt/s	
		11	12	13	
Enero	30	122.1	1.8	1799.71	
Febrero	28	115.64	1.887	1887.14	
Marzo	31	169.49	2.498	2498.37	
Abril	30	61.89	0.943	942.68	
Mayo	31	9.8	0.144	144.38	
Junio	30	3.74	0.057	56.93	
Julio	31	4.29	0.063	63.22	
Agosto	31	4.05	0.06	59.75	
Septiembre	30	12.31	0.188	187.56	
Octubre	31	66.56	0.981	981.06	
Noviembre	30	65.48	0.997	997.29	
Diciembre	31	109.7	1.617	1616.95	
AÑO		745	0.936	936.3	
Coeficientes					

Nota: Resultados obtenidos del análisis y cálculo de escorrentía con el Modelo de Lutz Scholdz

Infiltración: El coeficiente de infiltración es el resultado del cálculo analítico desarrollado en el estudio Hidrológico para la presente Unidad Minera Lincuna Tres, el cual se tiene como resultado 0.2175, equivalente a 21.75% de la precipitación mensual que se infiltra. Véase tabla 16.

Tabla 16: Resumen de Infiltración Mensual (mm) en la Unidad Minera Lincuna Tres

MES	Infiltración (mm)	MES	Infiltración (mm)
Enero	39.91	Julio	4.13
Febrero	38.48	Agosto	3.85
Marzo	50.18	Septiembre	10.74
Abril	26.84	Octubre	27.93
Mayo	9.24	Noviembre	27.71
Junio	3.44	Diciembre	37.19
TOTAL (mm)		279.66	

Nota. Resultados obtenidos del análisis y cálculo de infiltración.

Cálculo y Resultado del Balance Hídrico Superficial – Thornthwaite:

Para el cálculo del balance hídrico se ha empleado el método de Thornthwaite por sus posibilidades de estimación en la zona del proyecto; para lo cual se ha partido de las precipitaciones medias mensuales y de la evapotranspiración potencial mensual generadas; definiéndose los siguientes parámetros (mm):

P: Precipitación media o media mensual

ETP: Evapotranspiración potencial o de referencia

P-ETP (precipitación Util): diferencia entre P y la ETP

R: Reserva

VR: Variación d la reserva

ETR: Evapotranspiración real

D: Déficit

Ex: Excedente

Para la zona del proyecto se genera el balance hídrico correspondiente, mostrados en la tabla 17.

Tabla 17: Balance Hídrico en la Microcuenca de Lincuna Tres

Meses/ Parámetros	T (°C)	i	ETosc(mm)	Fac Correc	ETo (mm)	P (mm)	P-e (mm)
Enero	9.99	2.852	49.698	1.08	53.674	183.5	129.83
Febrero	9.77	2.758	48.586	0.97	47.128	176.9	129.77
Marzo	9.58	2.675	47.59	1.05	49.97	230.7	180.73
Abril	9.89	2.808	49.184	0.99	48.692	123.4	74.71
Mayo	9.72	2.737	48.33	1.01	48.813	42.5	-6.31
Junio	9.37	2.589	46.548	0.96	44.686	15.8	-28.89
Julio	9.23	2.531	45.839	1	45.839	19	-26.84
Agosto	9.57	2.674	47.58	1.01	48.056	17.7	-30.36
Setiembre	9.96	2.841	49.566	1	49.566	49.4	-0.17
Octubre	10.05	2.878	50.011	1.06	53.012	128.4	75.39
Noviembre	10.11	2.904	50.307	1.05	52.822	127.4	74.58
Diciembre	9.92	2.82	49.325	1.1	54.257	171	116.74
Exponente (a):	1.02506						
Índice de calor anual	33.07						

Nota. Se observa que en la zona del proyecto Lincuna Tres existe un déficit de humedad desde los meses de mayo a setiembre; siendo el mes de agosto con mayor déficit con - 30.36 mm y con excedentes de agua en los meses de octubre a abril.

4.2.2. Características Geoestructurales e Hidrogeológicas

Características Geoestructurales

En el área de estudio se han reconocido rocas volcánicas que corresponden al Grupo Calipuy del Paleógeno-Neógeno, constituidas por lavas piroclásticas de composición andesíticas, dacíticas a riolíticas de color gris claro a rosado. En el Cenozoico corresponde a depósitos glaciares y fluvioglaciares en su mayor extensión. Ver figura 38.

Los rasgos estructurales más importantes determinados en el área de estudio corresponden a vetas fallas verticales, sub verticales y sub paralelas entre ellas con rumbo de N245°- N265° y buzamiento de 85 - 88° NW; estas vetas

fallas controlan muy claramente la mineralización de la zona. También se observaron dos sistemas de diaclasamiento; el primero sistema corresponde a diaclasas de rumbo N245° y buzamiento 86°NW y el otro sistema corresponde a rumbo N155° y Buzamiento 85°-88° NW. La geodinámica interna en la zona de estudio es activa ya que se encuentra en una zona sísmica, además la reactivación de fallas locales y regionales afectarían a la infiltración de las aguas superficiales, así como también a construcciones e infraestructuras.

Figura 38: Columna Estratigráfica en el Área de Estudio

ERA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	
Cenozoico	Cuaternario	Pleistoceno	Depósito glaciar, fluvial	Q-glfl Gravas, arenas subangulosas a subredondeadas, polimícticas con matriz limoarenosa
			Depósito glaciar	Q-gl Acumulaciones de bloques subangulosos con matriz de limo y arenas
	Neógeno	Mioceno	Grupo Calipuy	PN-c Secuencia volcánica de lavas y rocas piroclásticas gruesas de composición andesítica con ignimbritas y tobas dacíticas.

Nota. Fuente: Elaboración propia

Características Hidrogeológicas

Parámetros Hidrogeológicos

Porosidad: En la zona de estudio consideramos dos tipos de porosidad: la primera es la porosidad intergranular, que es característica de las rocas detríticas no consolidadas que se encuentran en los depósitos glaciar fluvial; los cuales se encuentran cubriendo a las rocas del grupo Calipuy; la segunda es la porosidad por fisuración que es característica de las rocas volcánicas que han sufrido esfuerzos tectónicos y que ha provocado fallas, diaclasas y fracturas, presentando una pseudoestratificación de espesores variables en forma alternada en sentido sub-vertical.

Permeabilidad: En la zona de estudio no se cuentan con pruebas de permeabilidad para los depósitos y rocas que afloran dentro de ella, sin embargo, en base a sus características litológicas se ha identificado el tipo de permeabilidad y se ha considerado para los depósitos aluviales y fluviales una permeabilidad anisótropa por presentarse en un ambiente permeable heterogéneo y para las rocas volcánicas se ha considerado permeabilidad baja a casi nula por tener poco espacio de circulación del agua.

Unidades Hidrogeológicas

Son formaciones geológicas cuyo comportamiento hidrogeológico es recomendable estudiar de manera conjunta.

Los acuíferos son formaciones geológicas subterráneas permeables que tienen la capacidad de almacenar y transmitir agua. En este contexto, es fundamental reconocer que en la naturaleza existen diversas formaciones geológicas con capacidades variables para almacenar y transportar agua. Desde una perspectiva hidrogeológica, en el área de estudio los acuíferos se han clasificado en dos grupos según su litología, extensión y productividad.

Acuíferos porosos no consolidados: Los representativos son los depósitos glaciares y fluvioglaciares; su clasificación se debe a su alta permeabilidad y porosidad primaria. Su composición litológica no consolidada facilita la libre circulación y almacenamiento de las aguas subterráneas. Los depósitos glaciares están constituidos por bloques, fragmentos gruesos en una matriz de grava limosa ubicados y distribuidos de forma discontinua en la parte alta de la microcuenca; los depósitos fluvioglaciares conformados por clastos subredondeados a subangulos, gravas, arenas, limos algo consolidados con cierta estratificación, se muestran distribuidos en la parte baja, media de la microcuenca.

Acuíferos fisurados o fracturados: El acuífero fisurado representativo es el volcánico Calipuy caracterizada por su rigidez, presenta un comportamiento mecánico frágil que se traduce en el desarrollo de sistemas de fracturas cuando son sometidas a un campo de esfuerzos determinados. Evidencia de ello son fallas y diclazamiento debido a que han sufrido procesos tectónicos a lo largo y posterior a su formación. Litológicamente en la zona de estudio corresponden a rocas volcánicas conformadas por andesitas y dacitas de trasmisidad lenta o semipermeable; la forma de transmitir y almacenar en este tipo de acuífero se debe a la presencia de fallas fracturas y diaclasas que es propio de una porosidad secundaria sin embargo este tipo de acuífero tiene una extensión local.

Figura 39: Caracterización Hidrogeológica en el Área de Estudio

Unidad Litológica	Código Hidrogeológico	Clasificación Hidrogeológica	Descripción Hidrogeológica
Depósito Fluvioglaciario	APNC-glfl	Acuífero Poroso no Consolidado	Acuífero discontinuo de extensión local con baja productividad, conformado por sedimentos pleistocenos
Depósito Glaciario	APNC-gl	Acuífero Poroso no Consolidado	Acuíferos aislados de pequeña extensión e interés hidrogeológico puntual.
Volcánico Calipuy	AFV	Acuífero Fisurado Volcánico	Acuíferos locales, con zonas fallas, fracturada, diaclazamiento o meteorizadas en formaciones consolidadas, sin excluir acuíferos cautivos más productivos(permeabilidad baja a muy baja)

Nota. Fuente: Elaboración propia

Nivel freático: El análisis de información existente y la interpretación en campo del comportamiento Hidrogeológico del macizo rocoso donde se emplaza el proyecto para el “Cierre de labores mineras subterráneas de la Unidad Minera Lincuna Tres”; se determina que el flujo subterráneo encontrados y verificados en las labores mineras son producto de las infiltraciones y recargas conectadas al flujo superficial y que estas son conducidas a través de las fracturas.

La ubicación del nivel freático en la zona de estudio se infiere por la diferencia de cotas y ubicación de las fuentes hídricas como lagunas y bofedales cercanas.

Sentido de flujo de aguas subterráneas: El sentido de flujo de las aguas subterráneas está relacionadas a las fallas y fracturas en el macizo rocoso, los cuales conforman principales ductos para la circulación de las aguas subterráneas; es por ello que, en algunos sectores, las bocaminas se encuentran con agua y algunas de las labores mineras se encuentran secas o con manchas de indicios de filtración producto de precipitación.

Zonas de recarga y descarga: La recarga hídrica se da principalmente en el cerro Punta florida y Pucaushcu (este Cerro tiene una distancia aproximada de 500m de los componentes en estudio), ubicado en la parte alta de la microcuenca, por ende, se considera como principal fuente de recarga hídrica del proyecto.

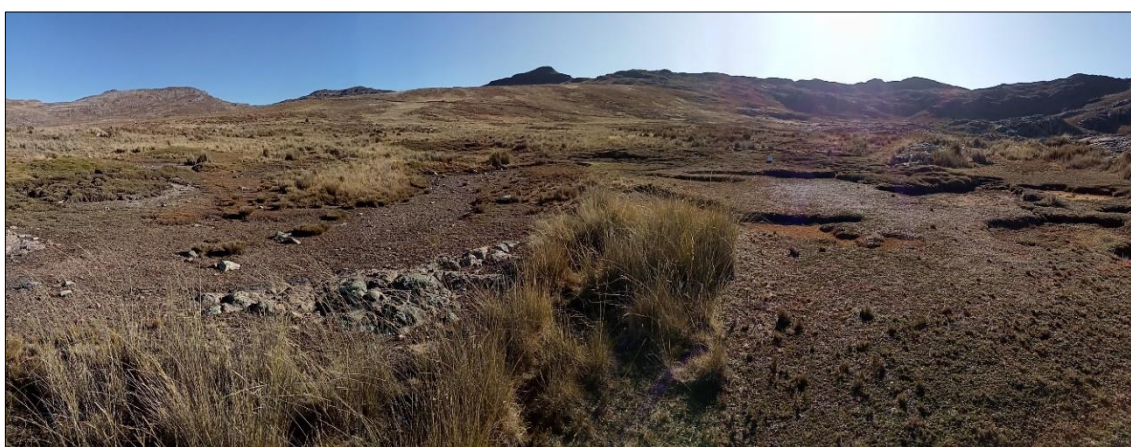
Para el balance hídrico subterráneo se ha considerado la infiltración de las aguas superficiales además de la precipitación, las cuales discurren a través de la roca por medio de las fisuras, diaclasas y fallas y posteriormente estas filtraciones son almacenadas como fuentes de recarga en las lagunas y bofedales.

Los factores que influyen en la recarga hídrica son:

Vegetación: se localizan en las partes media altas de las microcuencas, registrándose pastos de laderas, pajonales; que albergan una flora típica alto andina

Bofedales: Estos cumplen con la función de retener el agua en épocas de lluvia y en épocas de estiajes funcionando como zonas de recarga hídrica para los manantiales y puquiales ubicadas en las partes bajas.

Figura 40: Vegetación Típica en la Zona de Estudio – Lincuna Tres

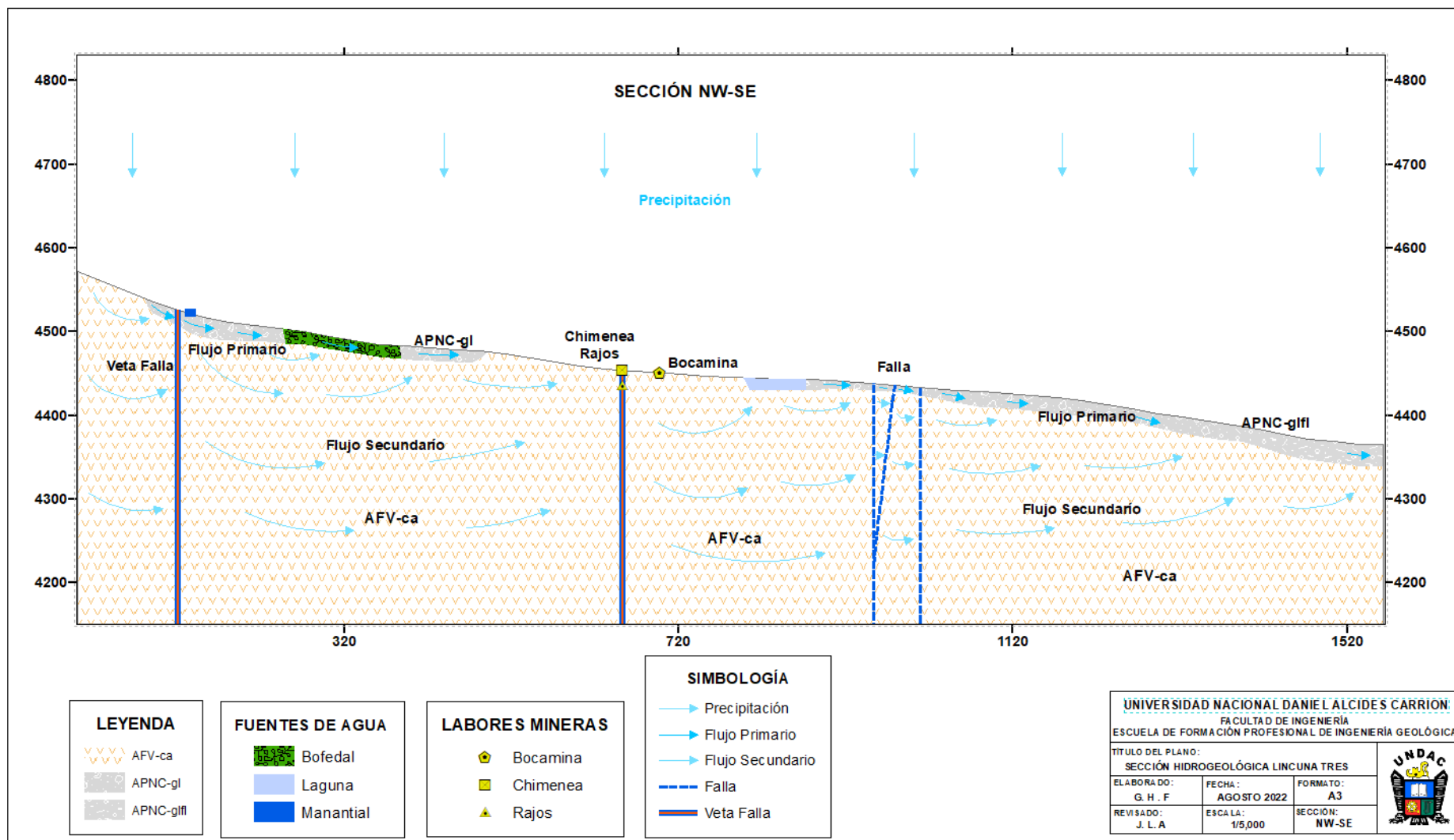


Nota. Zonas de recarga producto de las infiltraciones por el medio rocoso en la cabecera de la cuenca

Las zonas de descarga del agua almacenada en los acuíferos se producen por la permeabilidad propia y secundaria de las litologías aflorantes, depósitos morrénicos, fluvial; éstas se evidencian como manantiales, bofedales y riachuelos que desembocan en la parte baja de los componentes del proyecto; así mismo en los manantiales, bofedales y ríos que desembocan de la quebrada Colca Racra.

En las bocaminas consideradas dentro del plan de estudio, no presenta flujos subterráneos mayores, evidenciándose únicamente mínimo flujos temporales.

Figura 41: Sección Hidrogeológica del Área de Estudio



Nota. Interacción de las labores subterráneas con el sistema de flujo hidrogeológicos.

4.2.3. Modelamiento Hidrogeológico Conceptual

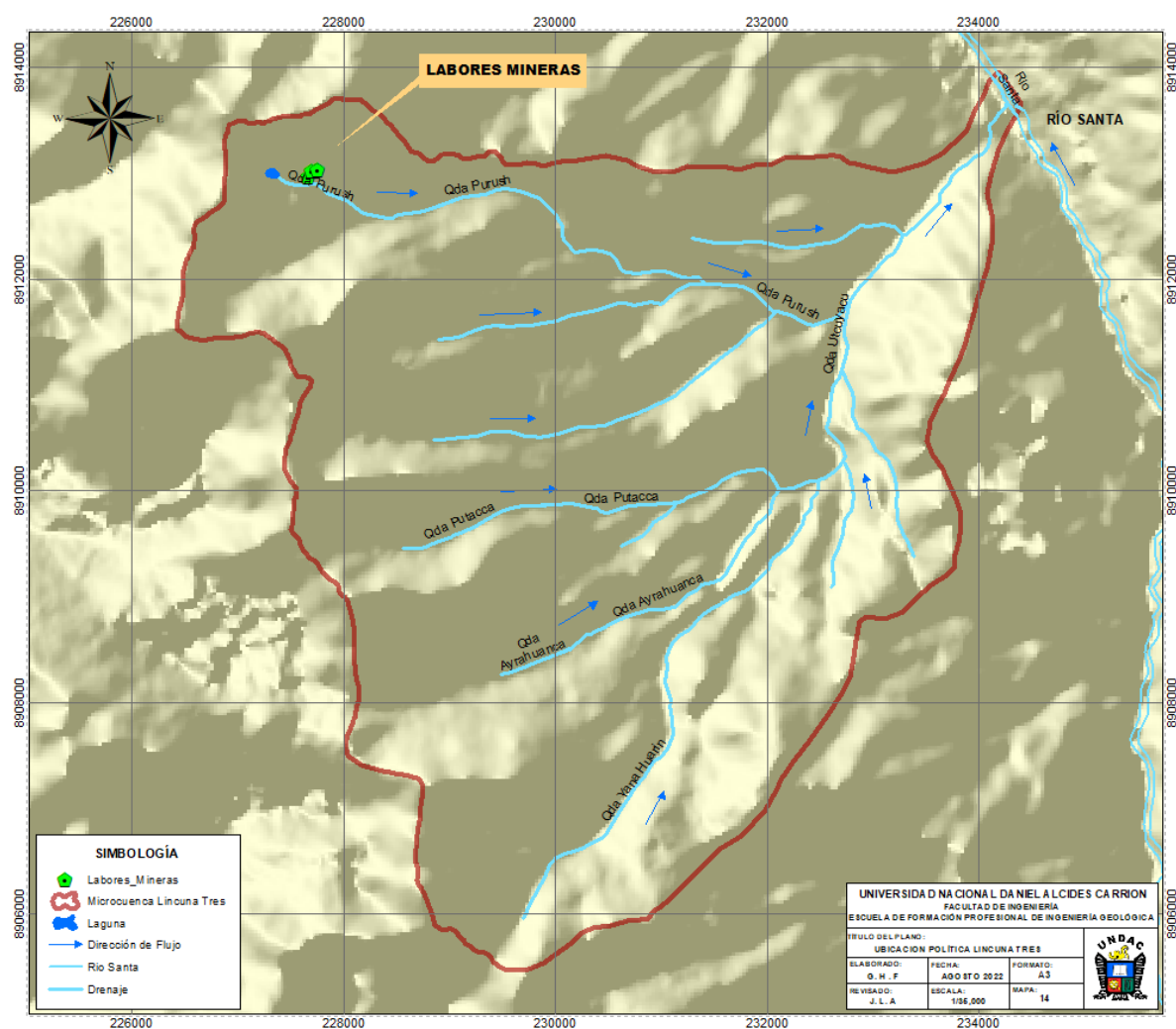
El modelo conceptual en el área de estudio está caracterizado por presentar dos unidades hidrogeológicas que están asociados a las características del terreno y al movimiento de agua subterránea.

La primera unidad corresponde al sistema sub superficial que está asociado a depósitos cuaternario no consolidado constituidos por bloques, fragmentos gruesos en una matriz grava limosa; y que su recarga está determinada estrictamente por la precipitación pluvial y esorrentía superficial que una parte se infiltra. La descarga de agua subterránea ocurre a través de manantiales y bofedales.

La segunda unidad está asociada a rocas volcánicas en su mayoría compuesto de andesitas, seguido de dacitas y riolita que se emplazan en toda el área de estudio como principal acuífero. presentan acuíferos locales fracturadas y meteorizadas en diferentes grados desde materiales ligeramente meteorizados hasta muy meteorizadas los cuales corresponden a las secuencias volcánicas del Calipuy. La recarga está relacionado a las zonas más altas que infiltra y atraviesa el macizo rocoso poco permeable a través de fracturas, vetas y planos de pseudoestratificación (en los acuíferos volcánicos del grupo Calipuy).

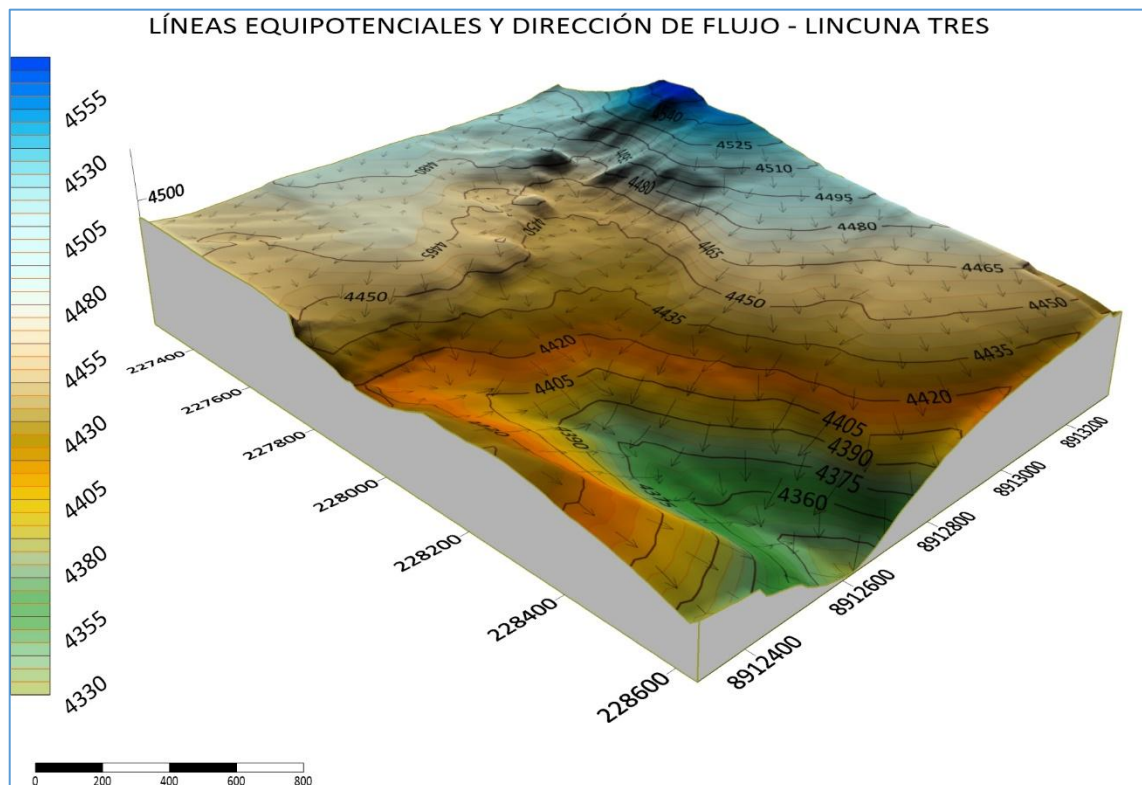
Para un mejor análisis del funcionamiento hidrogeológico conceptual en relación a las labores mineras se ha realizado en el área de estudio de la unidad minera-Lincuna Tres una sección geológica, dos modelos de flujos superficiales y un modelo hidrogeológico conceptual del agua. Ver figuras 42,43,44 y 45.

Figura 42: Sistema de Flujos Superficial en Lincuna Tres



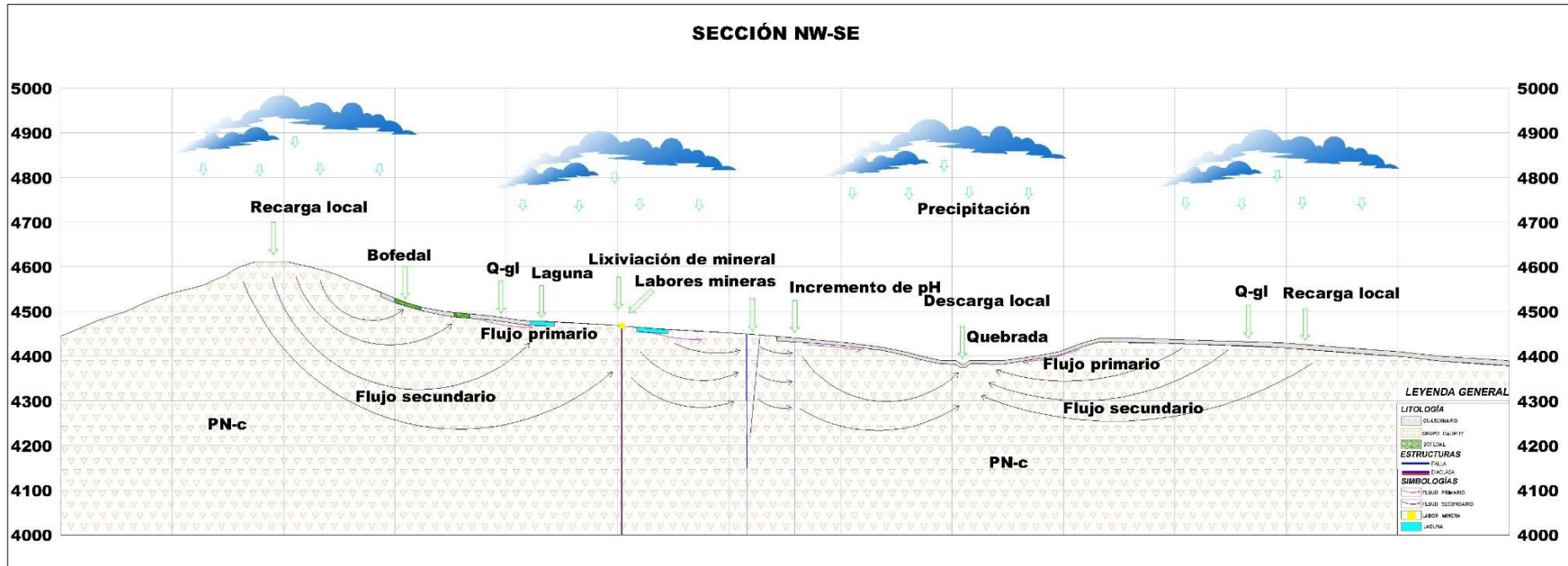
Nota. Fuente: Elaboración propia. Interacción de las labores subterráneas con el sistema de flujos y escorrentía superficial hidrológica en la microcuenca Lincuna Tres.

Figura 43: Líneas Equipotenciales y Dirección de Flujo de Escorrentía Superficial



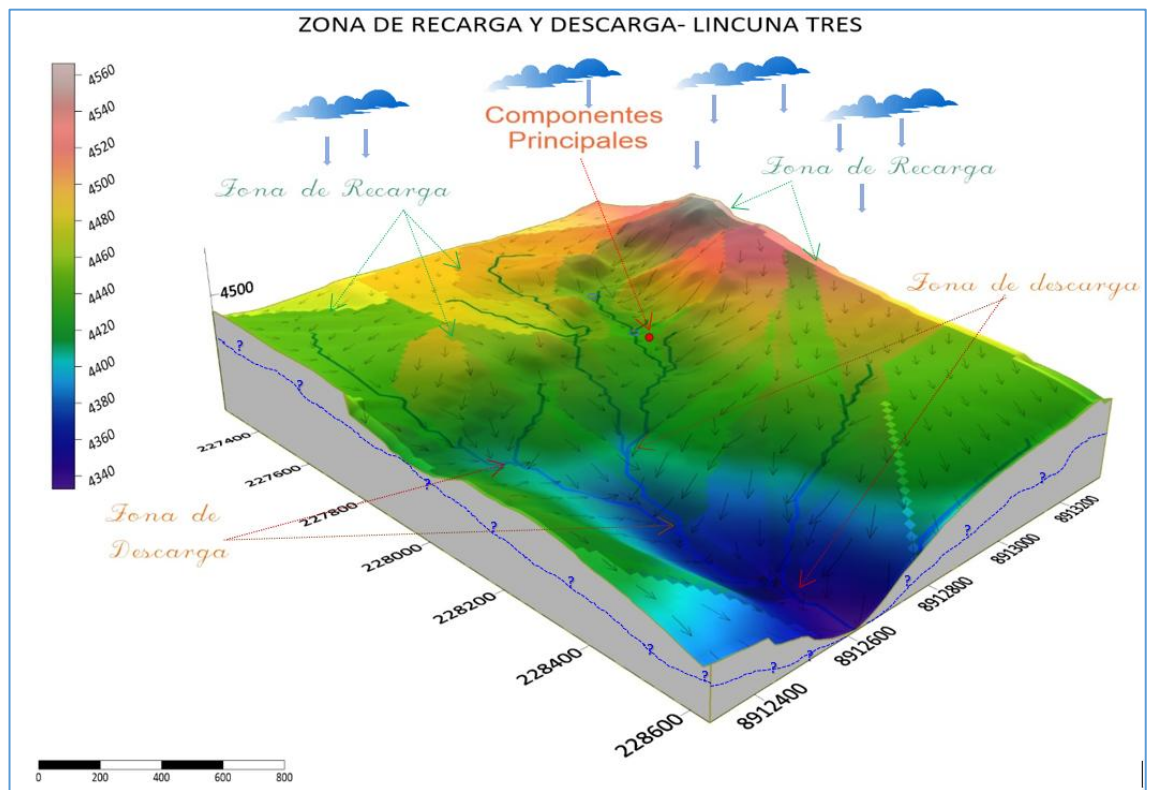
Nota. Fuente: Elaboración propia. Modelo conceptual que muestra las direcciones de flujo superficial.

Figura 44: Sección Hidrogeológica Lincuna Tres



Nota. Fuente: Elaboración propia. Sección transversal representan un modelo hidrogeológico conceptual, donde se aprecian de manera vertical, los límites de la geología, la topografía, ubicación de las labores mineras y su relación espacial con el comportamiento hidráulico, zonas de recarga y descarga, cruce de quebrada.

Figura 45: Modelo Hidrogeológico Conceptual Lincuna Tres



Nota. Fuente: Elaboración propia. El modelo hidrogeológico conceptual, muestra las zonas de recarga y descarga en relación con las labores mineras, que busca representar el comportamiento hidrogeológico en la zona de estudio.

4.3. Prueba de Hipótesis

En el estudio hidrológico e hidrogeológico si influyen directamente en el cierre de labores mineras subterráneas en la Unidad Minera Lincuna Tres de la Compañía Minera Lincuna S.A.-2022, proveniente de análisis de la caracterización hidrológica, geoestructural, hidrogeológica representados en un modelo.

Las características hidrológicas sí influyen significativamente en el comportamiento de las aguas superficiales y subterráneas en el cierre de labores mineras. Para contrastar la hipótesis, se recopilaron datos hidrológicos de la zona, incluyendo precipitación, escorrentía, infiltración, niveles freáticos y calidad del agua, así como indicadores del comportamiento de aguas superficiales y

subterráneas, como el pH, conductividad eléctrica y los sólidos totales disueltos. Estos resultados evidencian la importancia de considerar los factores hidrológicos en la planificación y ejecución de procesos de cierre de minas

Las características geoestructurales e hidrogeológicas sí influyen significativamente en la permeabilidad del macizo rocoso y en el comportamiento de las aguas superficiales y subterráneas durante el cierre de labores mineras. Para su verificación se recolectaron datos técnicos de campo como son rumbos, buzamientos de las estructuras, tipo de roca.

Los resultados evidencian que la incorporación de un modelo hidrogeológico conceptual influye directamente y de manera significativa en la interpretación del estudio hidrológico e hidrogeológico. Esta información resulta esencial para llevar a cabo estudios complementarios que garanticen la sostenibilidad a largo plazo tras el cierre de la mina y aseguren una restauración adecuada del entorno afectado.

4.4. Discusión de Resultados

Los resultados obtenidos en la presente investigación evidencian que la implementación de un modelo hidrogeológico conceptual influye de manera significativa la interpretación del estudio hidrológico e hidrogeológico, en el marco del cierre de labores mineras subterráneas en la Unidad Minera Lincuna Tres. Esta influencia se traduce en una mejor comprensión del comportamiento del flujo subterráneo, así como en la identificación precisa de zonas de recarga y descarga, rutas de migración del agua y posibles focos de contaminación.

Este hallazgo se encuentra en concordancia con lo señalado en estudios previos incluidos en los antecedentes, donde se sostiene que la elaboración de un modelo conceptual permite integrar de manera sistemática la información

geológica, estructural e hidrogeológica de una zona determinada, facilitando una toma de decisiones más precisa en etapas críticas del cierre de mina. En particular, investigaciones recientes han destacado la utilidad de estos modelos para predecir el comportamiento del recurso hídrico frente a las modificaciones del subsuelo provocadas por la actividad minera.

Asimismo, los resultados obtenidos no solo se valida la utilidad del modelo conceptual en la caracterización hidrogeológica, sino que también se demuestra su impacto directo en la planificación de medidas de control del drenaje y en la propuesta de soluciones de mitigación adaptadas al entorno geológico específico de la Unidad Minera

La evidencia obtenida respalda la hipótesis de que el modelo hidrogeológico conceptual contribuye significativamente a una mejor interpretación del sistema hídrico, y su uso representa una buena práctica técnica para los procesos de cierre de mina, especialmente en escenarios donde el control del recurso hídrico representa un factor crítico para la estabilidad ambiental postminera.

CONCLUSIONES

- Se identificaron las principales características hidrológicas de la microcuenca en estudio del río Purush - MC-L3 (Lincuna Tres); iniciando con la caracterización de los parámetros geomorfológicos. La microcuenca presenta un área de 39 km², un coeficiente de compacidad 1.32, un orden de corriente 4.00, una longitud de río 8.70 km, una pendiente de río 10.16% y altitudinalmente el proyecto se sitúa entre 4476-3592 msnm. Asimismo, se caracterizaron los parámetros hidrometeorológicos, basándose en los resultados obtenidos del balance hídrico realizado en la microcuenca que alberga las labores mineras de cierre-Lincuna Tres. El análisis evidenció un déficit de humedad desde los meses de mayo a setiembre; siendo agosto el mes de mayor déficit con un valor de -30.36 miles de metros cúbicos y con excedentes de agua en los meses de octubre a abril.
- A partir de la evaluación de las características geoestructurales e hidrogeológicas del macizo rocoso en el área de estudio, se identificaron rocas volcánicas que corresponden al Grupo Calipuy del Paleógeno-Neógeno, predominando andesitas, seguidas de dacitas y riolitas, con tonalidades que varían entre gris claro a rosado; en el Cenozoico corresponde a depósitos glaciares y fluvio-glaciares en su mayor extensión. Los rasgos estructurales más importantes determinados en el área de estudio corresponden a vetas fallas verticales, sub verticales y sub paralelas entre ellas con rumbo de N245°- N265° y buzamiento de 85 - 88° NW, estas vetas fallas controlan muy claramente la mineralización de la zona. También se observaron dos sistemas de diaclasamiento; el primero sistema corresponde a diaclasas de rumbo N245° y buzamiento 86°NW, el otro sistema corresponde a rumbo N155° y Buzamiento 85°-88° NW. Asimismo, se han identificado dos unidades hidrogeológicas locales: el primero son acuíferos

porosos no consolidado representados por depósitos glacial y fluvioglacial; su clasificación se debe a su alta permeabilidad y porosidad primaria, su composición litológica no consolidada facilita la libre circulación y almacenamiento de las aguas subterráneas; los depósitos glaciares están constituidos por bloques, fragmentos gruesos en una matriz grava limosa ubicados y distribuidos de forma discontinua en la parte alta de la microcuenca; los depósitos fluvioglaciares conformados por clastos subredondeados a subangulos, gravas, arenas, limos algo consolidados con cierta estratificación. El segundo son acuíferos representados por rocas volcánicas conformadas por andesitas y dacitas de permeabilidad baja a casi nula; la forma de transmitir y almacenar en este tipo de acuífero se debe a la presencia de fallas fracturas y diaclasas que es propio de una porosidad secundaria.

- El modelo hidrogeológico conceptual que representa a la zona del proyecto Lincuna Tres, en la parte superficial a subsuperficial corresponde a depósitos glaciares y fluvioglaciares que son acuíferos no consolidados y la mayor parte del sector de investigación corresponden a secuencias volcánicas del Calipuy; los cuales corresponden a acuíferos locales fracturados y meteorizados, donde el flujo del agua subterránea almacenados en los acuíferos y fuentes hídricas escurre a través de fracturas, fallas, vetas y planos pseudoestratificados apreciados en el interior de las bocaminas evaluadas. El modelo también muestra la ubicación de las labores mineras y su relación espacial con el comportamiento hidráulico, zonas de recarga y descarga.

RECOMENDACIONES

- Realizar mediciones de caudales periódicas en las quebradas del área de influencia directa de Lincuna Tres.
- Para la construcción de tapones de cierre en bocaminas se recomienda el proceso de consolidación e impermeabilización del macizo rocoso a fin de mejorar la capacidad de resistencia y eliminar la permeabilidad secundaria de estos acuíferos
- Se recomienda realizar ensayos de permeabilidad con pruebas tipo Lugeon y Lefranc a fin de evaluar la permeabilidad o la fracturación de formaciones rocosas para la construcción de tapones.
- Se recomienda la instalación de piezómetros a fin de conocer el nivel freático real y la carga hidráulica en las labores subterráneas y áreas que corresponde para la construcción de tapones de cierre herméticos; parámetros requeridos y establecidos en la guía de construcción de tapones del Ministerio de Energía y Minas.
- Para diseños de infraestructuras fuera del alcance del presente estudio, se recomienda realizar ensayos geofísicos para determinar el comportamiento litológico e hidrogeológico de los acuíferos; así como también considerar los aspectos sísmicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aparicio, F. (1989). *Fundamentos de hidrología de superficie*. Mexicana.
- Arispe, C., Yangali, J., & Guerrero, M. (2020). *La investigación científica*. Universidad Internacional del Ecuador.
- Boñon, C. (2024). *Modelamiento hidrogeológico del acuífero libre mediante software ModFlow en la Colpa*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.14074/7071>
- Castañeda, M., & Ingol, E. (2017). Modelamiento en la gestión del agua subterránea: aspectos claves para el desarrollo y la evaluación de modelos conceptuales. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12543/2616>
- Castro, M., Constantin, A., De Miguel, C., Glave, M., Lanegra, I., Pereira, M., & Ballón, E. (2022). *Minería y desarrollo sostenible: seguimiento de la evaluación del desempeño ambiental del Perú*. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11362/48026>
- Congreso de la República del Perú. (2003). *Ley que Regula el Cierre de Minas*. Diario Oficial el Peruano. Obtenido de <https://leyes.congreso.gob.pe/Documentos/Leyes/28090.pdf>
- Custodio, E., & Llamas, R. (1983). Hidrogeología subterránea.
- Doorenbos, J., & Pruitt, W. (1975). *Guidelines for prediction of crop water requirements*. FAO-24.
- Fattorelli, S., & Fernández, P. (2011). *Diseño hidrológico*. Obtenido de <https://www.wasa-gn.net/index.php?id1=6>
- González, L., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería geológica*. Orimu. Obtenido de https://www.academia.edu/50773034/INGENIERIA_GEOLOGICA_GONZALES_DE_VALLEJO
- Gravelius, H. (1914). *Flusskunde*. Goschen.

- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2006). *Metodología de la investigación*. Mc Graw Hill Interamericana. Obtenido de <http://repositorio.uasb.edu.bo/handle/20.500.14624/1211>
- Hernández, R., Martínez, L., Pañuelo, L., & Rivera, S. (2020). Identificación de zonas potenciales de recarga y descarga de agua subterránea en la cuenca del río Ayuquila-Armería mediante el uso de SIG y el análisis multicriterio. doi:<https://doi.org/10.14350/rig.59892>
- Horton, R. (1932). *Drainage-basins characteristics*. doi:<https://doi.org/10.1029/TR013i001p00350>
- Jeldes, R. (2020). *Modelamiento hidrogeológico conceptual, del acuífero alimentador de termas, El Corazón, San Esteban, región de Valparaíso*. Obtenido de <http://repositorio.unab.cl/xmlui/handle/ria/20877>
- Klohn, W. (1970). *Magnitudes fisiográficas e índices morfométricos relacionados con la hidrología*. Servicio Colombiano de Meteorología e Hidrología.
- Llamas, J. (1993). *Hidrología general: principios y aplicaciones*. Obtenido de <https://books.google.com.pe/books?id=jBo-AAAACAAJ>
- Londoño, C. (2001). *Cuencas hidrográficas: Bases conceptuales-caracterización-planificación-administración*. Obtenido de https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-puno/archivos/public/docs/cuencas_hidrograficas_bases.pdf
- Mijailov, L. (1985). *Hidrogeología*. Mir. Moscú.
- Minas, M. d. (2015). *Guía para la Elaboración de Planes de Cierre de Pasivos Ambientales Mineros*. Obtenido de <https://www.gob.pe/minem>
- Ministerio de Energía y Minas. (2023). *Ley y Reglamento que regula el Cierre de Minas*. Obtenido de <https://www.gob.pe/es/i/4156124>

- Miranda, J. T. (2019). *Modelo hidrogeológico conceptual para la ubicación, diseño y construcción de tapones herméticos en el proyecto Pariguana unidad minera Orcopampa-Cia de minas Buenaventura S.A.A.* Obtenido de <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/1762>
- Moreno, J., Farfan, J., Peña, F., Condori, E., Paul, F., Dueñas, K., & Ccopa, J. (2021). *INGEMMET, boletín serie H: Hidrogeología N° 12. Hidrogeología de la cuenca del río chillón.* Obtenido de <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/3300>
- Ordoñez, J. (2011). *Cartilla técnica: Balance hídrico superficial.* Obtenido de https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/balance_hidrico.pdf
- Peñuela, L., & Carrillo, J. (2012). Definición de zonas de recarga y descarga de agua subterránea a partir de indicadores superficiales: centro-sur de la Mesa Central, México. doi:<https://doi.org/10.14350/rig.30518>
- Pladeyra. (2003). *Paisajes hidrológicos y balance hídrico de la cuenca Lerma Chapala.* México.
- Quintana, M. (2021). *Estudio hidrológico e hidrogeológico de la microcuenca Hércules de la Compañía Minera Lincuna S.A. – Huaraz.* Obtenido de <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/2215>
- Rodríguez, A., & Pérez, A. (2017). *Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento.* doi:<https://doi.org/10.21158/01208160.n82.2017.1647>
- Rodríguez, C., & Julca, D. (2020). *Gestión del cierre de minas en el Perú: estudio técnico-legal sobre el alcance de la legislación peruana en el cierre de operaciones mineras.* Naciones Unidas. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11362/46076>

- Sanchez, F. (2022). *Hidrología superficial y subterránea*. Obtenido de <https://hidrologia.usal.es/Libro.htm>
- Soczynska, U. (1991). *Repartidos del curso de hidrologia*.
- Strahler, A. (1952). *Hypsometric area-Altitude analysis of erosional topography*. doi:[https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1952\)63\[1117:HAAOET\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1952)63[1117:HAAOET]2.0.CO;2)
- Taylor, G., & Schwarz, R. (1953). *The relation of stream gradient and basin size to streamflow characteristics*. Obtenido de <https://www.studocu.com/ec/u/39803090?sid=01734400639>
- Thornthwaite, C. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*.
- Tóth, J. (2009). *Flow patterns in composite and heterogeneous basins. En gravitational systems of groundwater flow: Theory, evaluation, utilization*. Cambridge University Press.
- United States Geological Survey. (2022). *The water cycle*. Obtenido de <https://www.usgs.gov/media/images/el-ciclo-del-agua-water-cycle-spanish-png>
- Vásquez, S., Farfán, J., & Carlotto, V. (2015). *Investigación geológica e hidrogeológica en el distrito de Jangas – Huaraz: como soporte técnico en los conflictos socio ambientales*. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12544/1819>

ANEXOS

Instrumentos de Recolección de Datos

Fotos de Equipos Utilizados



Tabla de Recolección de datos

Código de mapeo	COORDENADAS UTM- WGS84			pH	CE (uS/cm)	TDS (mg/L)	Temp. (°C)
	Este-E	Norte-N	Cota (msnm)				
(Laguna 1) L3-L1	227616	8912869	4477	8.1	160.0	70.0	11.8
(Laguna 2) L3-L2	227563	8912862	4474	8.1	150.0	60.0	12.7
(Laguna 3) L3-L3	227794	8912831	4464	7.2	80.0	30.0	12.9
(Laguna 4) L3-L4	227396	8913009	4502	7.8	80.0	30.0	18.3
(Quebrada 1) L3-Q1	227805	8912805	4458	6.6	60	20	11.8
(Quebrada 1) L3-Q2	227918	8912744	4447	6.7	70	30	12.5
(Quebrada 1) L3-Q3	228031	8912703	4434	7.1	70	30	10
(Quebrada 1) L3-Q4	228224	8912595	4392	7.5	60	20	13.5
(Quebrada 2) L3-Q5	228225	8912559	4391	7.7	80	30	14.9
(Quebrada 2) L3-Q6	228115	8912487	4412	7.8	100	40	13.8
(Quebrada 2) L3-Q7	227973	8912395	4426	7.8	80	30	14.2

(Quebrada 2) L3-Q8	227840	8912307	4459	7.9	60	20	16.5
(Quebrada 2) L3-Q9	227643	8912220	4470	7.3	50	20	8.2
(Manantial 1) L3-M1	227820	8912500	4462	8.1	190.0	90.0	20.5
(Manantial 2) L3-M2	227823	8912525	4461	8.3	210.0	100.0	22.0
(Manantial 3) L3-M3	227823	8912562	4463	8.4	200.0	90.0	19.4
(Manantial 4) L3-M4	227542	8912173	4482	7.7	40	10	10.2
(Manantial 5) L3-M5	227522	8912106	4486	7.7	60	20	12.5
(Manantial 6) L3-M6	227231	8913087	4509	7.5	80	30	19.6
(Manantial 7) L3-M7	227141	8913204	4537	7.4	100	40	13.5
(Bofedal 1) L3-B1	228030	8912470	4422	8	190	90	21.4
(Bofedal 2) L3-B2	227959	8912483	4432	8.1	230	110	18.1
(Bofedal 3) L3-B3	227678	8912779	4475	6.7	160	70	16.5
(Bofedal 4) L3-B4	227545	8912847	4477	6.6	30	10	13.1
(Bofedal 5) L3-B5	227779	8913013	4462	6.8	140	60	9.6
(Bofedal 6) L3-B6	227393	8912041	4495	6.1	40	10	13.4
(Bofedal 7) L3-B7	227571	8913128	4498	7.2	40	10	16.1
(Bofedal 8) L3-B8	227534	8913120	4500	7.3	30	10	19.4
(Bofedal 9) L3-B9	227604	8913047	4480	6.5	20	0	13.1
(Bofedal 10) L3-B10	227807	8912963	4464	4.6	250	120	17.7
(Bofedal 11) L3-B11	227989	8912894	4450	6.5	90	40	18.2
(Riachuelo 1) L3-R1	227512	8912880	4478	7.7	120	50	12.4
(Riachuelo 2) L3-R2	227469	8912881	4489	7.8	140	60	8.8
(Bocamina)L3-B1-SS	227675	8912961	4464	3.5	630	310	5.8
(Bocamina)L3-B-M1	227784	8912785	4466	2.4	3090	1620	12.8
(Bocamina)L3-B-M2	227839	8912706	4468	3.1	750	380	13
(Rajo 1) L3-R1	227499	8912907	4481	7.8	140	60	8.5
(Rajo 2) L3-R2	227541	8912934	4479	8.2	50	10	9.8
(Rajo 3) L3-R3	227700	8913015	4470	6.3	250	110	8.8
(Rajo 4) L3-R4	227763	8913029	4468	6.3	120	50	7.4
(Pozo de agua 1) L3-PA1	227732	8913009	4458	3.5	1270	630	8.5
(Pozo de agua 2) L3-PA2	227735	8913020	4464	6.8	110	50	13.3

Serie de Mapas

