Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica
Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

Evaluación hidrogeológica de las fuentes de agua subterránea y superficial para el manejo de los efluentes ácidos en la Unidad Minera Pachapaqui

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Geólogo

AUTOR

Sisley Rosario BAEZ MAURICIO

ASESOR

Jaime Cesar MAYORGA ROJAS

Lima, Perú

2024



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Baez, S. (2024). *Evaluación hidrogeológica de las fuentes de agua subterránea y superficial para el manejo de los efluentes ácidos en la Unidad Minera Pachapaqui*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Escuela Profesional de Ingeniería Geológica]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Sisley Rosario Baez Mauricio
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	71351346
URL de ORCID	-
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Jaime Cesar Mayorga Rojas
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	10369482
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-8423-3343
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Aldo Alfonso Alván De La Cruz
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	41133899
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Felix Abraham Cornelio Orbegoso
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	42652078
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Rosendo Olimpio Angeles Giron
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08490597
Datos de investigación	
Línea de investigación	C.0.1.13 Hidrogeología

Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Ancash Provincia: Bolognesi Distrito: Aquia Latitud: -10.147630° Longitud: -77.159502°
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Marzo 2022 - octubre 2023
URL de disciplinas OCDE	Ciencias de la Tierra, Ciencias ambientales **https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.00** Geoquímica, Geofísica **https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.04** Geología **https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.06**

Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA
Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica
DIRECTOR
Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓLOGO

En el salón de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, el martes 29 de octubre del año 2024 siendo las 6:15 pm, en presencia de los señores docentes designados como miembros de Jurado Calificador:

Dr. ALVÁN DE LA CRUZ ALDO ALFONSO	(Presidente de Jurado)
Mg. CORNELIO ORBEGOSO FELIX ABRAHAM	(Miembro de Jurado)
Mg. ANGELES GIRON ROSENDO OLIMPIO	(Miembro de Jurado)

Reunidos para el acto académico público a colación de la Tesis de la Bach. **BAEZ MAURICIO SISLEY ROSARIO,** quien sustentará la Tesis titulada **"EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LAS FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEA Y SUPERFICIAL PARA EL MANEJO DE LOS EFLUENTES ÁCIDOS EN LA UNIDAD MINERA PACHAPAQUI";** su asesor el docente **Dr. MAYORGA ROJAS JAIME CESAR,** para la obtención del Título Profesional de Ingeniero Geólogo.

Los miembros del Jurado, escuchada la sustentación respectiva, plantearon al graduando las observaciones pertinentes, que fueron absueltas:

A Satisfacción del jurado

El Jurado procedió a la calificación, cuyo resultado fue:

Diecisiete (17)

Habiendo sido aprobada la sustentación de Tesis por el Jurado Calificador, el Presidente recomienda que la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, proponga: Se le otorgue el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓLOGO** a la Bach. BAEZ MAURICIO SISLEY ROSARIO.

Siendo las 19:55 horas se dio por concluido el acto académico, expidiéndose dos (02) Actas originales de la Sustentación de la Tesis.

Lima, 29 de octubre del 2024

DR. ALVÁN DE LA CRUZ ALDO ALFONSO
PRESIDENTE DE JURADO

MG. CORNELIO ORBEGOSO FELIX ABRAHAM
MIEMBRO DE JURADO

MG. ANGELES GIRON ROSENDO OLIMPIO
MIEMBRO DE JURADO

DR. MAYORGA ROJAS JAIME CESAR
MIEMBRO ASESOR

Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
Vicerrectorado de Investigación y Posgrado

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo JAIME CESAR MAYORGA ROJAS en mi condición de **asesor acreditado** con la Resolución Decanal N° 359-2024-D-FIGMMG/UNMSM de la **tesis**, cuyo título es **"EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LAS FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEA Y SUPERFICIAL PARA EL MANEJO DE LOS EFLUENTES ÁCIDOS EN LA UNIDAD MINERA PACHAPAQUI**", presentado por la **bachillera SISLEY ROSARIO BAEZ MAURICIO**, para optar el título de INGENIERO GEÓLOGO CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante el software de similitud textual, el documento evaluado cuenta con el porcentaje de 18% de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar conlos trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional.**

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del grado/ título/ especialidad correspondiente.

Lima, 21 de octubre del 2024

Firma del Asesor _____
DNI: 10369482
Nombres y apellidos del asesor: Dr. Jaime César Mayorga Rojas



DEDICATORIA

A Dios, quien me ha dado la fortaleza en los momentos más oscuros de mi vida. Cuando creí que todo se desmoronaba, cuando mi corazón se rompió y mi familia enfrentaba la batalla más difícil, fue su amor el que me sostuvo y me permitió seguir adelante. Todo lo que soy y lo que seré, se lo debo a él.

A mis padres Pedro y Rosario quienes me enseñaron a ser fuerte y a distinguir siempre entre el bien y el mal. Gracias por inculcarme los valores que me guían y por sacrificar tanto para que yo pudiera cumplir mis sueños. Han sido mi mayor inspiración y ejemplo de valentía, de entrega incondicional, y de amor sin límites. Ustedes me han demostrado que la fe y la esperanza pueden superar cualquier obstáculo.

A mis hermanos, Jean Piero y Scarlett, con quienes enfrenté los momentos más duros, y a quienes amo profundamente. Aunque no somos perfectos, hemos sido un equipo que enfrentó la adversidad con amor y unidad.

A mi novio Jeanpool Repoma, por su apoyo incondicional en mis momentos más difíciles. A pesar de nuestros desafíos, te elijo para compartir mi vida, porque decidimos caminar juntos, sanar las heridas y construir un futuro mejor. Hoy formas parte no solo de mi vida, sino también de mi futuro.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, expreso mi gratitud a Dios por otorgarme la vida y la buena salud, así como a mi familia, por ser mi pilar y el motor que me ha impulsado a seguir adelante. A mis padres por enseñarme que la fe mueve montañas, y a mis hermanos, por ser mi fuerza en los momentos difíciles.

A mis tíos paternos, por su apoyo incondicional durante la recuperación de la enfermedad de mi padre, demostrando el poder de la unión familiar.

A mi novio, Jeanpool, sé que nuestro camino no ha sido fácil, pero el hecho de que hayas decidido quedarte y luchar junto a mí significa más de lo que las palabras pueden expresar.

Quiero expresar mi reconocimiento a mi asesor el Dr. Jaime Mayorga Rojas, mi mentor y amigo, quien me ha guiado no solo en lo académico, sino en la vida. Gracias por dedicar su valioso tiempo a la realización de la presente Tesis, por sus sabios consejos y por enseñarme que el aprendizaje nunca termina, que la actitud y el respeto son claves para llegar lejos.

Agradezco también al Ing. David Romero Ríos, por confiar siempre en mi talento, darme la oportunidad de crecer como Hidrogeóloga y motivarme a seguir adelante.

Agradezco a mis profesores de la escuela profesional de Ing. Geológica de mi amada casa de estudios, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, gracias por su tiempo, por su apoyo, así como por los consejos y la sabiduría que me transmiten hasta el día de hoy en el desarrollo de mi formación personal, proporcionándome sólidos conocimientos, valores y ética profesional. Extiendo mis agradecimientos también a mis alumnos de San Marcos y de diversas universidades del país, quienes confían en mí y enriquecen mi experiencia como docente en hidrogeología. Su interés y entusiasmo son una fuente constante de aprendizaje mutuo, y es mi deseo que logren la excelencia en su formación y que disfruten plenamente nuestra pasión compartida por la geología.

Agradezco al Ing. Federico Ocampo Baldoceda, y a la empresa ICM Pachapaqui por tener ese espíritu de investigación referente a los estudios de Hidrogeología y sostenibilidad ambiental. Y permitirme realizar mi tema de tesis en la Unidad Minera.

A mis amigos, Frank y Charito, gracias por comprender mi excesiva carga laboral, y estar para mí cuando más los necesito.

Finalmente, quiero dirigirme a las niñas y mujeres que alguna vez soñaron con ser parte de la industria minera o de la ingeniería geológica, pero sintieron miedo o inseguridad. Este trabajo también es para ustedes. Ser ingeniera geóloga no es solo una carrera, es un llamado a descubrir quién eres realmente y hasta dónde puedes llegar.

A todas las mujeres increíbles que conozco, a mis hermanas en la vida y en la lucha: sigan adelante, porque la verdadera fuerza nace cuando aceptamos nuestra vulnerabilidad y abrazamos nuestra autenticidad. Yo estoy aquí porque nunca me rendí, y porque creo en un futuro donde más mujeres sean referentes en la ingeniería geológica y en la industria minera del Perú. Si yo puedo, tú también puedes. Este es solo el comienzo.

INDICE

1. CAPITULO I. INTRODUCCIÓN....1
1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA....1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA....3
1.2.1. Problema General....3
1.2.2. Problemas Específicos....3
1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN....3
1.3.1 Fundamento Teórico....3
1.3.2 Fundamento Práctico....4
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN....5
1.4.1 Objetivo General....5
1.4.2 Objetivos Específicos....5
2. CAPITULO II. MARCO TEÓRICO....6
2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA....6
2.1.1. Antecedentes Internacionales....6
2.1.2. Antecedentes Nacionales....8
2.2. BASES TEÓRICAS....12
2.2.1. Hidrogeología....13
2.2.2. Aguas superficiales....13
2.2.3. Contaminación del agua....14
2.2.4. Drenaje Ácido....15
2.2.5. Mitigación de Problemas Ambientales....16
2.2.6. pH....16
2.2.7. Conductividad eléctrica (CE) y sólidos totales disueltos (TDS)....17
2.2.8. Oxígeno disuelto (OD)....18
2.2.9. Influencia Geológica en las Aguas....18
2.2.10. Evolución Geoquímica de las Aguas....19
2.2.11. Aguas ácidas....21
2.2.12. Tecnología....22
2.2.13. Medio Ambiente....22
2.2.14. Aguas Alcalina....22
2.2.15. Vertimientos....22
2.2.16. MINAM....23
2.2.17. ANA....23
2.3. MARCO CONCEPTUAL O GLOSARIO....23
3. CAPITULO III METODOLOGÍA....24
3.1. HIPÓTESIS Y VARIABLES....24

3.1.1. Hipótesis General 24
3.1.2. Hipótesis Específicas 24
3.2. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES 24
3.2.1. Variable Independiente 24
3.2.2. Variable Dependiente 24
3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN 25
3.3.1 Investigación Aplicada: 25
3.3.2 Investigación Descriptiva: 26
3.4. UNIDAD DE ANALISIS 26
3.5. POBLACIÓN DE ESTUDIO 27
3.6. MUESTRA 27
3.7. MATRIZ DE CONSISTENCIA 28
4. CAPITULO IV: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN 30
4.1 UBICACIÓN 30
4.3 ACCESIBILIDAD 30
4.2 HIDROLOGÍA 31
4.5.1. Clima 31
4.5.2. Hidrografía 31
4.4 DRENAJE 32
4.5 GEOLOGÍA REGIONAL 32
4.5.1. Formación Chimú 33
4.5.2. Formación Santa 34
4.5.3. Formación Carhuaz 34
4.5.4. Formación Pariahuanca 35
4.5.5. Formación Pariatambo 36
4.5.6 Formación Jumasha 36
4.5.7. Morrenas 36
4.5.8 Depósitos Cuaternarios 37
4.5.9. Rocas Intrusivas 38
4.6. SECCIONES GEOLÓGICAS REGIONALES 38
4.6.1. Sección Geológica Regional A-A' 43
4.6.2. Sección Geológica Regional B-B' 43
4.6.3. Sección Geológica Regional C-C' 44
4.7. GEOLOGÍA LOCAL 45
4.7.1. Formación Chimú 46
4.7.2. Formación Carhuaz 47
4.7.3. Formación Farrat 48

4.7.4. Formación Pariahuanca....49
4.7.5. Formación Chulec....50
4.7.6. Formación Pariatambo....50
4.7.7. Rocas intrusivas....50
4.7.8. Depósitos fluvioglaciares....51
4.7.9. Depósitos Aluviales....51
4.7.10. Depósitos Coluviales....51
4.8. SECCIONES GEOLÓGICAS LOCALES....51
4.8.1. Sección geológica local A-A'....52
4.8.2. Sección geológica local B-B'....52
4.8.3. Sección geológica local C-C'....52
4.8.4. Sección geológica local D-D'....53
4.8.5. Sección geológica local E-E'....53
4.8.6. Sección geológica local F-F'....53
4.8.7. Sección geológica local G-G'....54
4.9. GEOLOGÍA LOCAL PARA CADA BOCAMINA....63
4.9.1. Sector Riqueza....63
4.9.2. Sector Sinchi Roca....66
4.9.3. Sector Arabia....67
4.10. GEOMORFOLOGÍA....70
4.10.1. Montaña estructural en roca sedimentaria....70
4.10.2. Morrenas....71
4.10.3. Valle glaciar con laguna....71
4.10.4. Vertiente glaciar o de gelifracción....72
4.10.5. Montaña con cobertura glaciar....73
4.11. ENSAYOS DE CALIDAD DE AGUA....75
4.12. POST – CAMPO O GABINETE....76
4.12.1 Procesamiento de datos....76
5. CAPITULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN....78
5.1. ANÁLISIS HIDROGEOLÓGICO....78
5.2. INVENTARIOS DE FUENTES DE AGUA....78
5.3. FUENTES DE AGUAS SUPERFICIALES....78
5.4. FUENTES DE AGUAS SUBTERRÁNEAS....86
5.5. ANÁLISIS DEL ÁCUÍFERO....91
5.5.1. Geometría del reservorio acuífero....91
5.5.2. Caracterización Geológica.....91
5.5.3. Hidroestratigrafía....92

5.5.4. Unidades Hidrogeológicas 92
5.6. MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL 95
5.6.1. Recarga de la Microcuenca 95
5.6.2. Descarga de la Microcuenca 95
5.6.3. Dirección del flujo 95
5.6.4. Zona de Recarga del Acuífero 97
5.6.5. Zona de Tránsito del Acuífero 97
5.6.6. Zona de Descarga del Acuífero 97
5.6.7. Dirección de Flujo de las Bocaminas 97
Sector Sinchi Roca. 98
Sector Arabia. 100
Sector Riqueza 102
Zona Sinchi Roca 104
BOCAMINA 070 104
Zona Arabia 106
BOCAMINA 415 106
BOCAMINA 315 109
Zona Riqueza 111
BOCAMINA 455 111
BOCAMINA 460 113
BOCAMINA 465 A – B 114
5.7. SECCIONES HIDROGEOLÓGICAS 116
5.7.1. Sección Hidrogeológica A - A´ 118
5.7.2. Sección Hidrogeológica B - B´ 120
5.7.3. Sección Hidrogeológica C - C´ 122
5.7.4. Sección Hidrogeológica D - D´ 124
5.7.5. Sección Hidrogeológica E - E´ 126
5.7.6. Sección Hidrogeológica F - F´ 128
5.7.7. Sección Hidrogeológica G - G´ 130
5.8. ENSAYOS DE CALIDAD DE AGUA 132
5.8.1. Resultados de los ensayos de calidad de agua 132
5.8.2. Interpretación de los resultados 135
5.8.3. Resultados y Aplicación para el Manejo de Efluentes Ácidos 137
6. CAPITULO VI: CONCLUSIONES 138
7. CAPITULO VII: RECOMENDACIONES 140
8. CAPITULO VIII: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 142
9. CAPITULO IX: ANEXOS 145

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Modelo de circulación de aguas 21
Figura 2 Ubicación de la zona de estudio 30
Figura 3 Columna estratigráfica regional de la zona de estudio 33
Figura 4 Formación Pariahuanca 35
Figura 5 Depósitos Fluvioglaciares 37
Figura 6 Geología Regional del área de estudio 39
Figura 7 Sección Geológica Regional A-A' 40
Figura 8 Sección Geológica Regional B-B' 41
Figura 9 Sección Geológica Regional C-C' 42
Figura 10 Columna Estratigráfica Local de la zona de estudio 45
Figura 11 Afloramiento de la formación Chimú 46
Figura 12 Afloramiento de la formación Carhuaz 47
Figura 13 Afloramiento de la formación Farrat 48
Figura 14 Afloramiento de la formación Pariahuanca en el sector Riqueza 49
Figura 15 Afloramiento de Roca Intrusiva granodiorítica en el Sector Arabia 50
Figura 16 Geología Local del área de estudio 55
Figura 17 Sección Geológica Local A-A' 56
Figura 18 Sección Geológica Local B-B' 57
Figura 19 Sección Geológica Local C-C' 58
Figura 20 Sección Geológica Local D-D' 59
Figura 21 Sección Geológica Local E-E' 60
Figura 22 Sección Geológica Local F-F' 61
Figura 23 Sección Geológica Local G-G' 62
Figura 24 Geología Local de la Bocamina 455 64
Figura 25 Geología Local de la Bocamina 460 65
Figura 26 Geología Local de la Bocamina 465 A-B 66
Figura 27 Geología Local de la Bocamina 070 67
Figura 28 Geología Local de la Bocamina 415 68
Figura 29 Geología Local de la Bocamina 315 69
Figura 30 Montañas en roca sedimentaria en el área de estudio 71
Figura 31 Valle Glaciar y la laguna "El Burrito" 72
Figura 32 Valle Glaciar y la laguna "El Burrito" 72
Figura 33 Parte del nevado "Los Burros" 73
Figura 34 Plano Geomorfológico del área de estudio 74
Figura 35 Plano de inventario de fuentes de agua superficiales 85
Figura 36 Unidades Hidrogeológicas 92
Figura 37 Plano de Hidrogeología Regional 94
Figura 38 Plano de Hidroisohipsas – Dirección de flujos 96
Figura 39 Plano de Hidroisohipsas – Dirección de flujos 97
Figura 40 Plano de Hidroisohipsas sector Sinchi Roca 99
Figura 41 Plano de Hidroisohipsas sector Sector Arabia 101
Figura 42 Plano de Hidroisohipsas sector Riqueza 103
Figura 43 Hidrogeología de la Bocamina 070 104
Figura 44 Hidrogeología de la Bocamina 070 105
Figura 45 Hidrogeología de la Bocamina 415 106
Figura 46 Hidrogeología de la Bocamina 415 107
Figura 47 Hidrogeología de la Bocamina 415 108
Figura 48 Hidrogeología de la Bocamina 315 109
Figura 49 Hidrogeología de la Bocamina 315 110

Figura 50 Hidrogeología Local de la Bocamina 455 111
Figura 51 Calizas Grises de la Formación Pariahuanca.....112
Figura 52 Vetilla con presencia de sulfuros.....112
Figura 53 Hidrogeología Local de la Bocamina 460 113
Figura 54 Hidrogeología Local de las Bocaminas 465 A-B 114
Figura 55 Calizas Grises de la Formación Pariahuanca, bocaminas 465 A-B 115
Figura 563 Vetilla de pirita en el afloramiento entrada de bocaminas 465 A-B 115
Figura 574 Plano de Secciones Hidrogeológicas.....117
Figura 58 Plano de Sección Hidrogeológica A – A´.....119
Figura 59 Plano de Sección Hidrogeológica B – B´.....121
Figura 60 Plano de Sección Hidrogeológica C – C´.....123
Figura 61 Plano de Sección Hidrogeológica D – D´.....125
Figura 62 Plano de Sección Hidrogeológica E – E´.....127
Figura 63 Plano de Sección Hidrogeológica F – F´.....129
Figura 64 Plano de Sección Hidrogeológica G – G´.....131

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Matriz de Consistencia del área de estudio.....28
Tabla 2 Ubicación de proyecto.....30
Tabla 3 Estaciones Meteorológicas más cercanos al proyecto.....31
Tabla 4 Ubicación de los puntos Monitoreados.....75
Tabla 5 Ficha de Ingreso de datos – Inventario de Fuentes de agua Superficial.....76
Tabla 6 Ficha de Ingreso de datos – Inventario de Fuentes de agua Subterránea.....76
Tabla 7 Puntos de aforo – Quebradas.....79
Tabla 8 Inventario de fuentes de Agua – Quebradas.....81
Tabla 9 Inventario de fuentes de Agua – Manantiales.....83
Tabla 10 Inventario de fuentes de Agua – Lagunas.....84
Tabla 11 Plano de inventario de fuentes de agua subterránea.....87
Tabla 12 Inventario de Bofedales.....88
Tabla 13 Unidades Hidroestratigráficas de la zona de estudio.....94

RESUMEN

La presente tesis, se basa en el estudio de las Fuentes de Agua Subterránea y Superficial para el Manejo de los Efluentes Ácidos en la Unidad Minera Pachapaqui", para demostrar lo mencionado se realizaron estudios de evaluación hidrogeológica y calidad del agua. El estudio busca entender cómo las condiciones geológicas , las actividades mineras afectan la disponibilidad y calidad del agua, centrándose en el drenaje ácido de mina (DAM) que libera acidez y metales pesados.

Asimismo, el estudio organiza en torno a tres objetivos específicos: identificar y clasificar las fuentes de agua superficiales y subterráneas, evaluar la calidad del agua mediante el análisis de parámetros físicos, químicos y biológicos en diferentes puntos de muestreo estratégicos, a fin de detectar niveles de contaminantes y evaluar la condición de los recursos hídricos; y analizar la estructura y dinámica de los acuíferos, incluyendo el Acuífero Sedimentario Calcáreo, el Acuífero Detrítico Permeable del Cuaternario y el Acuífero Fisurado Intrusivo, con el propósito de comprender las rutas de flujo de agua y las zonas de recarga y descarga en el área de estudio.

En cuanto a la metodología, consistió en muestreos específicos y análisis de parámetros como pH y metales pesados, comparados con los límites ambientales peruanos. Los resultados mostraron niveles elevados de metales y baja acidez en algunos puntos, sugiriendo efectos naturales y mineros. Además, el análisis hidrogeológico identificó la formación Pariahuanca como una zona clave para la recarga de acuíferos, debido a su estructura de rocas fracturadas que facilita la infiltración de agua. La conectividad hidrogeológica en áreas como Riqueza y Sinchi Roca contribuye al balance hídrico, pero también aumenta el riesgo de contaminación por DAM debido a la interconexión entre los flujos.

Finalmente, el estudio concluye que la estructura geológica y las características hidrogeológicas del área son determinantes en la distribución y calidad de los recursos hídricos, y sugiere que un manejo sostenible del agua en la Unidad Minera Pachapaqui requiere un plan de gestión que priorice la mitigación de efluentes ácidos, la protección de zonas de recarga, y un monitoreo continuo en puntos críticos. Estos resultados no solo ofrecen una base para mejorar la gestión hídrica, sino que también proporcionan lineamientos prácticos para la conservación del recurso hídrico en el contexto minero, fomentando así una explotación minera más sostenible y ambientalmente responsable.

ABSTRACT

The present thesis is based on the study of Groundwater and Surface Water Sources for the Management of Acid Effluents in the Pachapaqui Mining Unit. To demonstrate this, hydrogeological evaluation and water quality studies were conducted. The study seeks to understand how geological conditions and mining activities affect water availability and quality, focusing on acid mine drainage (AMD), which releases acidity and heavy metals.

The study is organized around three specific objectives: to identify and classify surface and groundwater sources, to evaluate water quality through the analysis of physical, chemical, and biological parameters at various strategic sampling points to detect contaminant levels and assess the condition of water resources, and to analyze the structure and dynamics of aquifers, including the Calcareous Sedimentary Aquifer, the Quaternary Permeable Detrital Aquifer, and the Fissured Intrusive Aquifer, with the purpose of understanding water flow paths and recharge and discharge zones in the study area.The methodology involved specific sampling and analysis of parameters such as pH and heavy metals, which were compared to Peruvian environmental standards. The results showed elevated metal levels and low acidity at some points, suggesting both natural and mining-related effects. Additionally, hydrogeological analysis identified the Pariahuanca formation as a key area for aquifer recharge, due to its fractured rock structure that facilitates water infiltration. Hydrogeological connectivity in areas like Riqueza and Sinchi Roca contributes to the water balance but also increases the risk of AMD contamination due to interconnected flow paths.Finally, the study concludes that the geological structure and hydrogeological characteristics of the area are key factors in the distribution and quality of water resources, and it suggests that sustainable water management in the Pachapaqui Mining Unit requires a management plan that prioritizes acid effluent mitigation, protection of recharge zones, and continuous monitoring at critical points. These results not only provide a foundation for improved water management but also offer practical guidelines for water conservation in the mining context, thus promoting a more sustainable and environmentally responsible mining operation.

1. CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

La minería ha sido, desde tiempos ancestrales, un componente fundamental en el desarrollo histórico, económico y social del Perú. Esta actividad no solo ha influido en el crecimiento económico del país, sino que también ha moldeado la identidad cultural de varias de sus regiones. En el contexto global, el Perú se destaca como un actor clave en la producción y exportación de minerales, ocupando posiciones de liderazgo tanto a nivel regional como mundial en la extracción de diversos metales. Los yacimientos mineros del país se extienden a lo largo de su accidentada geografía, ofreciendo recursos de alta calidad que son demandados en los mercados internacionales. Actualmente, el Perú se posiciona entre los mayores productores de cobre, zinc, plata y oro, mantiene un lugar relevante en la producción de otros metales básicos y preciosos, como el plomo y el estaño. Esta capacidad productiva no solo se debe a la abundancia de recursos naturales, sino también a la evolución tecnológica y la inversión extranjera que han contribuido a modernizar el sector, haciendo que las operaciones mineras peruanas sean cada vez más competitivas y eficientes. Sin embargo, el crecimiento de la minería también ha planteado desafíos en términos de sostenibilidad y responsabilidad social, impulsando al sector a buscar un equilibrio entre el desarrollo económico y la protección del medio ambiente, así como el bienestar de las comunidades aledañas.

La actividad minera en el Perú es una de las principales industrias que requiere el uso del agua, por lo que es necesario tener control, cuidado y mantenimiento durante la utilización de este recurso indispensable, sobre todo prevenir, mitigar la contaminación de las mismas por lo cual el constante análisis hidrogeológico e hidroquímico brinda alcances del comportamiento ambiental de los proyectos mineros (Milla, 2020, p. 2).

La presencia de efluentes de aguas ácidas en mina sin tratamiento provoca una serie de efectos sobre las aguas superficiales y subterráneas que pueden ser controladas con los manejos, monitoreos y estudios pertinentes. (Kamran et al., 2013)

La Norma Técnica para Diseño Ambiental de la Dirección General de Asuntos Ambientales, según la Guía Ambiental para el Manejo de Drenaje Ácido de Minas, resalta que el drenaje ácido de minas es uno de los mayores desafíos ambientales y económicos que enfrenta la industria minera en la actualidad. Este fenómeno, que ocurre cuando los minerales sulfurados se oxidan en presencia de agua y aire, genera la liberación de ácidos y metales tóxicos en el medio ambiente, y su impacto puede perdurar por siglos si no se

gestiona adecuadamente. El desarrollo del drenaje ácido de minas puede llevar años o incluso décadas en manifestarse, lo que subraya la necesidad de una planificación anticipada. Afortunadamente, los avances tecnológicos de los últimos 15 años han permitido identificar y mitigar este problema de manera más eficiente, integrando preventivas en las fases iniciales de diseño y desarrollo minero (Rivera Uria, MY et. al., 2020).

En este contexto, la contaminación de cuerpos de agua constituye una amenaza significativa para la salud humana, especialmente cuando estos recursos contienen concentraciones elevadas de metales pesados. Los metales, debido a su naturaleza no biodegradable, tienden a acumularse en los ecosistemas, afectando tanto a los organismos acuáticos como a los humanos que dependen de ellos. Estos metales pesados pueden alterar el crecimiento y la absorción de nutrientes, comprometiendo el sistema inmunológico de los seres vivos, lo que puede generar graves problemas de salud. Además, investigaciones han demostrado que la exposición prolongada a metales pesados a través del consumo de agua y alimentos contaminados puede resultar en efectos carcinogénicos en los organismos (Sangita & Prasad, 2010; More et al., 2003). Estos efectos resaltan la importancia de un manejo riguroso y responsable del drenaje ácido y la contaminación por metales en las operaciones mineras. Es por ello que se necesita realizar un análisis hidrogeológico y de ensayos de calidad de agua de las fuentes de agua subterránea y superficial para determinar la calidad de agua en términos de su potabilidad, seguridad y adecuación para diferentes usos, realizando un ensayo siguiendo la Norma de Calidad Ambiental (ECA) para Agua según el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Esta normativa establece los Estándares de Calidad Ambiental para diversas categorías de agua, tales como agua para consumo humano, recreación, riego, y protección de la vida acuática., relacionado esta información con la geología, hidrogeología, geomorfología y la geología estructural de la zona del proyecto minero.

La investigación de las características químicas de los diferentes puntos de muestreo es importante para conocer qué aspectos químicos está ocasionando el problema, el origen y las líneas de flujo conceptuales que se distribuyen a lo largo de las actividades mineras que ayudará a mitigar el impacto de las aguas ácidas.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema General

¿De qué manera con la Evaluación Hidrogeológica de las fuentes de agua subterránea y superficial se logrará una mejor gestión de los recursos hídricos en la unidad Minera Pachapaqui?

1.2.2. Problemas Específicos

P.E.1. ¿En qué medida la Identificación de las principales fuentes de agua en la Unidad Minera Pachapaqui permitirá disminuir el potencial de contaminación por efluentes ácidos?

P.E.2. ¿De qué manera la evaluación de la calidad del agua en términos de parámetros físicos, químicos y biológicos permitirá un mejor manejo de los efluentes ácidos?

P.E.3 ¿De qué manera la Evaluación de la hidrogeología del área de estudio, incluyendo la identificación de acuíferos, condiciones hidrogeológicas locales y la geología permitirá identificar las posibles rutas de transporte de los flujos de agua?

1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Fundamento Teórico

La investigación está basada en la Complejidad Hidrogeológica de la Unidad Minera Pachapaqui enfrenta desafíos específicos relacionados con su entorno hidrogeológico. La Evaluación detallada de las fuentes de agua subterránea es esencial para comprender la interacción entre las aguas subterráneas y los efluentes ácidos, dada la diversidad de condiciones geológicas e hidrogeológicas en la región.

Con respecto a la vulnerabilidad de los Acuíferos, la minería puede representar una amenaza para la calidad del agua subterránea debido a los efluentes ácidos generados durante las operaciones. La justificación teórica radica en la necesidad de evaluar la vulnerabilidad de los acuíferos locales y comprender cómo estos podrían ser afectados por la presencia de contaminantes ácidos.

La gestión del Impacto Ambiental y Sostenibilidad adecuada de los efluentes ácidos es crucial para mitigar el impacto de la minería y garantizar la sostenibilidad a largo plazo

de las operaciones mineras. La tesis busca aportar al conocimiento teórico sobre la hidrogeología de la unidad minera Pachapaqui y como está mediante los inventarios de fuentes de agua superficial, subterránea, ensayos de calidad de agua y evaluación hidrogeológica "identificación de las unidades Hidrogeológicas", sumado a esto la identificación de las líneas de flujo, logra tener una visión completa sobre la distribución de los recursos hídricos en la unidad minera.

1.3.2 Fundamento Práctico

La investigación en la Unidad Minera Pachapaqui enfrenta desafíos hidrogeológicos específicos, donde la interacción del agua subterránea y los efluentes ácidos es causada principalmente por la geología de la zona de estudio. La evaluación hidrogeológica es fundamental para comprender el impacto que ocasiona los efluentes ácidos en las fuentes de agua superficial y subterránea, lo que justifica la necesidad de realizar un mapeo hidrogeológico a detalle, ensayos de calidad de agua e inventarios de fuentes de agua subterránea y superficial.

La tesis busca lograr una mejora en la gestión de recursos hídricos y garantizar el cumplimiento de los estándares ambientales, contribuyendo así a la licencia social y sostenibilidad de la operación minera.

La evaluación hidrogeológica facilitará el diseño de medidas de mitigación efectivas para evitar la contaminación y proteger la disponibilidad de agua potable para las comunidades locales.

La investigación busca la reducción de riesgos ambientales, además también busca reducir los riesgos asociados con la contaminación de efluentes ácidos, tanto en términos de costos económicos asociados con la mitigación de impactos como en términos de posibles sanciones o consecuencias negativas para la reputación de la empresa minera.

Mediante la transferencia de conocimientos y mejora continua, la tesis también contribuirá en la generación de conocimientos, proporcionar datos y enfoques prácticos para la evaluación hidrogeológica y el manejo de efluentes ácidos. Esto puede impulsar la mejora continua de las prácticas en otras operaciones mineras.

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Objetivo General

El objetivo de la presente tesis es la evaluación Hidrogeológica de las fuentes de agua subterránea y superficial para lograr una eficiente gestión de los recursos hídricos en la unidad minera Pachapaqui.

1.4.2 Objetivos Específicos

O.E.1. La identificación de las principales fuentes de agua en la Unidad Minera Pachapaqui que permitirá disminuir el potencial de contaminación por efluentes ácidos.

O.E.2 La evaluación de la calidad del agua en términos de parámetros físicos, químicos y biológicos permitirá un mejor manejo de los efluentes ácidos.

O.E.3 Evaluar geológica e hidrogeológicamente el área de estudio, identificar acuíferos y las condiciones hidrogeológicas locales, así como identificar las posibles rutas de transportes de flujos de agua.

2. CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Alessia Kachadourian Marras (2023) en su tesis titulada "Contexto Hidrogeológico regional preliminar de la zona metropolitana de Guadalajara, Jalisco, México."

La tesis tiene como objetivo evaluar los sistemas de flujo subterráneo en la Zona Metropolitana de Guadalajara, abarcando flujos regionales, intermedios y locales, mediante el análisis de la estructura geológica volcánica y la hidroquímica del agua. La metodología incluyó la recolección y análisis de muestras de agua para determinar la composición química y las relaciones isotópicas, y la evaluación de la geología volcánica y profundidades de flujo. Se utilizaron indicadores hidrogeológicos en superficie para identificar zonas de recarga, tránsito y descarga. Las conclusiones revelan que los flujos subterráneos presentan características distintivas en temperatura y composición química, con profundidades de hasta 2.4 km. El 26% del área se asocia con zonas de descarga y el 32% con tránsito-recarga, confirmando que las muestras de Temacapulín y el río Verde reflejan zonas de descarga regional. Este estudio pionero proporciona una visión integral de la dinámica hidrológica y sirve como base para estudios futuros y políticas públicas sobre la gestión del agua.

Mare Martínez Parra (2013) en su tesis titulada "Hidrogeología de la serranía de cuenca", tiene como objetivo evaluar los acuíferos de la Cuenca del Júcar en la Serranía de Cuenca y comprender su funcionamiento hidrogeológico complejo. Ubicada al este de la provincia de Cuenca, la Serranía alberga importantes ríos como el Júcar y el Tajo, y está estructurada como un gran anticlinorio con un núcleo triásico rodeado de afloramientos jurásicos, cretácicos y terciarios. Se realizó un estudio detallado de 54 acuíferos, definieron acuíferos carbonatados triásicos, jurásicos y cretácicos, y detríticos cretácicos y terciarios. La metodología incluyó trabajo de campo, gabinete y laboratorio, análisis cartográficos y físico-químicos, y el uso de tres métodos para estimar la recarga: balance hídrico, concentración de Cl- y método APLIS. Se evaluaron las características geográficas, geológicas, geomorfológicas, hidrogeológicas e hidroquímicas de los acuíferos, utilizando datos piezométricos, hidrométricos e isotópicos. El análisis permitió una nueva interpretación del grado de confinamiento y funcionamiento hidrodinámico de los acuíferos carbonaticos. Las conclusiones revelan que los acuíferos kársticos permiten comparar diferencias en geomorfología, recarga y características hidrogeológicas entre

formaciones de distintas litologías y periodos geológicos. Este estudio pionero ofrece una visión integral del funcionamiento de los acuíferos de la Serranía de Cuenca, proporcionando una base sólida para futuros estudios hidrológicos y la gestión de los recursos hídricos en la región.

Jorge Montaño Xavier (1999) con la tesis titulada "Caracterización y vulnerabilidad de sistemas Hidrogeológicos discontinuos. Cuenca del arroyo Carrasco – Montevideo - Uruguay". El objetivo central de este estudio es realizar una caracterización hidrogeológica de medios discontinuos y desarrollar una metodología específica para cuantificar la vulnerabilidad de los acuíferos fisurados. Para ello, se realizó un análisis detallado de las rocas metamórficas del subsuelo, caracterizadas por una alta densidad de fracturas. Entre las principales direcciones de fracturación destacan los alineamientos N 40-50 E y sus conjugadas, lo que indica un patrón geoestructural clave para la dinámica de las aguas subterráneas. En cuanto a los caudales de los pozos evaluados, estos suelen oscilar entre 1 y 5 m^3/h, lo que refleja la capacidad limitada de los acuíferos fisurados en áreas metamórficas. Respecto a la calidad del agua subterránea, se controle una predominancia de aguas bicarbonatadas sódicas, complementadas por una composición clorurada cálcica. La salinidad media, de 480 mg/l, indica que estas aguas son aptas tanto para consumo humano como para riego, aunque su dureza puede limitar su uso en procesos industriales, especialmente en sistemas de enfriamiento. Se identificaron también anomalías en los niveles de nitratos, superando en algunos casos las 30 ppm, lo cual se atribuye a la influencia de prácticas agrícolas intensivas y deficiencias en el saneamiento de las áreas evaluadas. Para abordar la vulnerabilidad de los acuíferos frente a la contaminación, se emplearon como parámetros clave la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y el tiempo de transferencia en la zona no saturada. Estos factores permiten definir amortiguadores edafológicos y geológicos, que son cruciales para la protección de los recursos hídricos. En este sentido, el estudio identificó áreas de baja vulnerabilidad, principalmente en suelos como los brunosoles o planosoles que se desarrollan sobre las formaciones Libertad y Fray Bentos, cubriendo aproximadamente el 54% de la cuenca. Por otro lado, las áreas con alta vulnerabilidad se localizan en zonas donde aflora el basamento cristalino o donde se presentan suelos arenosos como los arenosoles. En conclusión, la metodología desarrollada en este estudio permite una evaluación integral y detallada de la vulnerabilidad de los acuíferos fisurados, subrayando la relevancia de las características geológicas y edafológicas en la protección y gestión de

estos recursos hídricos frente a posibles fuentes de contaminación. Esta evaluación es fundamental para la planificación del uso de los acuíferos y la implementación de medidas de protección adecuadas, garantizando la sostenibilidad de los recursos hídricos en áreas de alta presión antropogénica.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Harly Tucto Huerta (2019) en su tesis titulada Las Características Hidrogeológicas que influyen en la zona de Catuva Mina Raura.

El objetivo principal de esta investigación es determinar las características hidrogeológicas que influyen en la Zona Catuva de la Mina Raura, centrándose en la caracterización geológica e hidrogeológica del yacimiento y en la identificación de los controles estructurales que afectan la permeabilidad en dicha área. Para alcanzar este propósito, la metodología empleada se basó en un exhaustivo inventario hidrogeológico realizado a lo largo de los distintos niveles de la mina, incluyendo galerías, cruceros, By-Pass y tajos. Este inventario permitió identificar las principales fuentes de surgencia de agua en las operaciones subterráneas, así como su distribución y derivación final dentro de las labores mineras.

El aforo de los caudales se llevó a cabo utilizando un correntómetro digital y el método volumétrico, lo que permitió obtener datos precisos sobre la cantidad de agua que fluye en los distintos sectores de la mina. Además, se revisó e interpretó toda la información obtenida en campo, lo que facilitó la elaboración de planos hidrogeológicos detallados que reflejan el comportamiento del agua en la zona de estudio.

La investigación también destacó una evaluación entre los trabajos de exploración y los estudios hidrogeológicos, proporcionando una comprensión descriptiva y explicativa de la permeabilidad del macizo rocoso en la Zona Catuva. Se identifican las características hidrogeológicas del macizo, con especial énfasis en la permeabilidad primaria de la roca, en particular en las calizas Jumasha, que constituyen una unidad clave en el comportamiento hidrogeológico de la zona. Además, se determinará que la recarga hídrica proviene principalmente de la infiltración de las precipitaciones pluviales a través de los sistemas de fracturas que atraviesan la zona, lo que resalta la importancia de la estructura geológica en la dinámica del agua subterránea.

En conclusión, la investigación permitió caracterizar de manera detallada las unidades hidrogeológicas de la Mina Raura, destacando la relación entre la estructura geológica y

el comportamiento del agua subterránea. Estos hallazgos son fundamentales para la planificación y gestión de los recursos hídricos dentro de la mina, asegurando un manejo eficiente y sostenible del agua en las operaciones mineras.

Hernán Canales (2007) en su tesis titulada "La mitigación de aguas ácidas provenientes de las minas subterráneas –Compañía minera Huarón", investiga mediante la metodología cualitativa y cuantitativa,

Al igual que muchas otras unidades mineras polimetálicas, la contaminación de las aguas neutras en la Mina Huarón se ha visto afectada principalmente por la presencia de sulfuros en las labores subterráneas, la concentración de minerales y los depósitos de relaves y desmontes. Antes de la implementación de la resolución N.º 011-96 EM/VMM, que establecieron los límites máximos permisibles para los efluentes líquidos minero-metalúrgicos, las aguas ácidas fluían sin control, provocando daños considerables a los ecosistemas acuáticos ya la biota circundante. En esa etapa, el monitoreo ambiental en los puntos indicados y aprobados por el Ministerio de Energía y Minas (MEM) mostró resultados que excedían significativamente los límites permitidos, lo que evidenciaba un grave problema de contaminación.

El objetivo de este estudio fue analizar el grado de contaminación generada por las actividades mineras y, posteriormente, aplicar una tecnología adecuada para mitigar los efectos de las aguas ácidas. Asimismo, se buscó identificar las principales causas del impacto ambiental y proponer una tecnología de tratamiento que cumpla con los estándares de calidad del agua antes de su vertido en cuerpos receptores, como los ríos.

La metodología empleada se centró en la identificación y desarrollo de estrategias para mitigar los efectos del drenaje ácido de minas subterráneas en la zona de Huarón. El estudio también exploró tecnologías o prácticas de tratamiento de aguas residuales minerales, enfocándose en reducir la acidez del agua y minimizar el impacto ambiental asociado. Una de las medidas implementadas fue el transvase de drenajes desde varias áreas hacia un canal principal mediante la perforación diamantina y la instalación de tuberías, lo que resultó en una reducción del 60% en los costos operativos y en una mejora notable en la mitigación de las aguas ácidas, reduciendo también la cantidad de puntos de monitoreo necesarios.

Posteriormente, se aplicó el tratamiento de aguas ácidas utilizando el método de Neutralización, Floculación y Sedimentación (NFS) con cal. Los resultados demostraron

que el tratamiento fue exitoso, ya que se lograron cumplir los Límites Máximos Permisibles establecidos por la normativa vigente, como la Resolución Ministerial N.º 011-96 EM/VMM y la Ley General de Aguas Clase III. Este enfoque no solo permitió el control efectivo de la contaminación, sino que también contribuyó a la mejora de la calidad del agua en la zona, mitigando el impacto ambiental y asegurando un manejo más sostenible de los recursos hídricos.

Piero Huarcaya, Jimmi Villalba (2016) en su tesis titulada "Determinación de los aspectos hidrológicos e hidrogeológicos de la Cuenca del Rio Ccochapunqo en la provincia de Anta" analizó las características geomorfológicas, hidrológicas e hidrogeológicas de la microcuenca, incluyendo la longitud axial, extensión de la cuenca, factor de forma, coeficiente de escorrentía, precipitación media, permeabilidad y porosidad.

El estudio se enfoca en el desarrollo económico, social y ambiental de los habitantes del Distrito de Pucyura - Anta, incluyendo la comunidad Juan Velasco Alvarado. Se destaca la importancia del recurso hídrico en la zona, especialmente debido a la escasez de precipitaciones en años recientes, lo que ha afectado negativamente las actividades económicas de los beneficiarios y ha provocado cambios drásticos en el caudal del río Ccochapunqo-Cullomayo y las surgencias durante la época seca.

El análisis se centra en las características geomorfológicas, hidrológicas e hidrogeológicas de la microcuenca, incluyendo la longitud axial, extensión de la cuenca, factor de forma, coeficiente de escorrentía, precipitación media, permeabilidad y porosidad.

El objetivo de la investigación es determinar los factores climáticos, tipo de clima y zona de vida para la microcuenca Ccochapunqo, estimar recursos hídricos de las zonas, mapeo geológico, hidrogeológico y geodinámico. Además, la investigación utilizó las características catiónicas e iónicas del agua en diferentes partes del río para establecer una correlación entre los cuerpos subterráneos de agua y el material litológico. Se realizan análisis pluviométricos y geohidráulicos con el objetivo de comprender los aspectos hidrológicos e hidrogeológicos de la zona y establecer una línea de base ambiental sólida para futuras intervenciones humanas.

La investigación de **Ery Ortiz, Michael Contreras (2011)** tuvo por objetivo describir la zona de estudio, incluyendo su ubicación geográfica, características geomorfológicas,

geológicas y climáticas. Así mismo evaluar el balance hídrico de la microcuenca de Cachimayo, considerando datos de precipitación, evaporación, escorrentía e infiltración. Analizar la calidad del agua en la microcuenca, especialmente en cuanto a su potabilidad para consumo humano y uso agrícola. Identificar y evaluar los riesgos naturales y antropogénicos presentes en la microcuenca, incluyendo el peligro sísmico, los procesos de geodinámica externa y la contaminación. Proporcionar recomendaciones para la mitigación de riesgos y la mejora de la calidad ambiental en la microcuenca

Como parte del análisis se concluyó que el estudio proporciona una comprensión detallada de la microcuenca de Cachimayo, destacando sus características geográficas, climáticas, hidrológicas y geológicas. Se identifican riesgos significativos, tanto naturales como causados por actividades humanas, que pueden afectar la calidad ambiental y la seguridad de la zona. La evaluación de la calidad del agua revela preocupaciones sobre su potabilidad y su uso para riego y consumo animal, especialmente debido a la contaminación bacteriológica. Las recomendaciones derivadas del estudio pueden contribuir a la implementación de medidas de mitigación de riesgos y la mejora de la gestión ambiental en la microcuenca de Cachimayo.

En este estudio toma relevancia la naturaleza exploratoria y descriptiva, los cuales estuvieron a cargo del autor del estudio, el cual realizó la Recopilación de datos geográficos, climáticos, geomorfológicos y geológicos de la zona de estudio. Análisis de datos climáticos y cálculo del balance hídrico. Muestreo y análisis de muestras de agua de la microcuenca para evaluar su calidad Identificación de fuentes de riesgo y evaluación mediante métodos como la matriz de peligro y vulnerabilidad. Aplicación del modelo descriptivo de Batelle para evaluar la calidad ambiental con y sin la implementación de proyectos de prevención.

De acuerdo a **Jhordy Ponce (2020)**, en su tesis “Características Hidrogeológicas del manantial Moyococha”, su investigación busca caracterizar el manantial ubicado en el sector de La Molina, Distrito de Baños del Inca, Provincia de Cajamarca, Departamento de Cajamarca.

Dentro de los objetivos específicos es caracterizar el manantial Moyococha desde un punto de vista hidrogeológico. Realizar análisis físico-químicos y microbiológicos del agua del manantial. Estudiar parámetros no específicos como caudal, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos, pH y temperatura del agua. Identificar las unidades lito

morfoestructurales y su influencia en la formación y comportamiento del manantial. Determinar la zona de recarga del manantial y su relación con el río Mashcon como afluente.

El método utilizado consideró la búsqueda sistemática de información y antecedentes locales. Georreferenciación de la zona de estudio y unidades lito morfoestructurales. Muestreo en campo para la recolección de muestras de agua. Análisis físico-químico y microbiológico en laboratorio. Medición de parámetros no específicos en las zonas de estudio. Elaboración de formatos para la caracterización hidrogeológica. Utilización de software como QGIS para el procesamiento de datos y visualización de resultados. Comparativa entre los puntos de muestreo para comprender la variabilidad de las aguas obtenidas.

Los resultados obtenidos mediante el estudio muestran que la investigación hidrogeológica del manantial Moyococha en el sector de La Molina ha proporcionado una caracterización detallada de este recurso hídrico. Se ha logrado comprender la influencia de las unidades lito morfoestructurales en la formación y comportamiento del manantial, así como su relación con la zona de recarga y el río Mashcon. Los análisis fisicoquímicos y microbiológicos realizados permiten entender la calidad del agua y su idoneidad para diversos usos. Este estudio proporciona información valiosa para la gestión sostenible de los recursos hídricos en la región de Cajamarca.

2.2. BASES TEÓRICAS

La contaminación del agua es un desafío global que impacta a todas las comunidades del planeta, sin distinción de fronteras o regiones. Este vital no solo es recurso esencial para la supervivencia humana, sino que también desempeña un papel crucial en numerosas actividades cotidianas y económicas, como la agricultura, la industria y el suministro de agua potable. Debido a su importancia, la protección y preservación del agua no puede recaer únicamente en algunos sectores o gobiernos, sino que debe ser una responsabilidad compartida por todos. Cada acción que tomamos, desde el uso consciente del agua hasta la gestión adecuada de los desechos, contribuye a la conservación de este recurso fundamental. Tal como señala Guadarrama (2016), el agua es esencial no solo para nuestra existencia, sino también para la realización de una amplia gama de actividades

diarias, y su deterioro afecta de manera directa la calidad de vida de las personas y los ecosistemas. Por ello, es imperativo adoptar que reduzcan la contaminación y fomenten un uso más sostenible y equitativo del agua, asegurando que las medidas futuras generaciones puedan contar con este recurso en cantidad y calidad suficientes para satisfacer sus necesidades.

2.2.1. Hidrogeología

La hidrogeología es la rama de la geología que estudia la distribución y el movimiento del agua subterránea en el suelo y las rocas de la corteza terrestre, centrando su análisis en los acuíferos y su interacción con el medio ambiente. Doménico, P. A., & Schwartz, F. W. (1998)

Alcance de la Hidrogeología comprende los sistemas de flujo subterráneos, la recarga y descarga de acuíferos, y su papel en el ciclo hidrológico. Además, integra principios de hidráulica, geología y química para evaluar la disponibilidad y calidad del agua. Hancock, K. M. (2005)Se encuentra en la intersección de varias disciplinas, incluyendo la geología, ingeniería, ciencias ambientales y geofísica, lo que permite un análisis integral de los sistemas acuíferos. Fitts, C. R. (2012)

Desde su origen, la hidrogeología ha evolucionado para convertirse en una ciencia clave en la gestión de recursos hídricos, especialmente en regiones donde el agua subterránea es la principal fuente de abastecimiento. Sophocleous, M. (2004).

2.2.2. Aguas superficiales

El agua superficial incluye todos los cuerpos de agua que se encuentran en la superficie terrestre, tales como ríos, lagos, lagunas y arroyos. Este tipo de agua es crucial para la vida, los ecosistemas y la actividad humana, siendo una de las principales fuentes de agua para el consumo y la agricultura. Fetter, C. W. (2001).

El agua superficial es una parte integral del ciclo hidrológico. Este proceso natural describe la circulación continua del agua en el planeta, desde la precipitación hasta el escurrimiento, recarga de acuíferos y retorno a la atmósfera mediante la evaporación. Maidment, D. R. (1993).

Las aguas superficiales se pueden clasificar en cuerpos lénticos (aguas estacionarias, como lagos y lagunas) y cuerpos lóticos (aguas en movimiento, como ríos y arroyos).

Cada tipo tiene características físicas y dinámicas distintas que afectan su comportamiento y calidad. Wetzel, R. G. (2001).

2.2.3. Contaminación del agua

La contaminación hídrica se define como la introducción de sustancias o materiales en el agua que alteran su calidad y composición química, afectando su capacidad para ser utilizado de manera segura. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el agua está contaminada cuando su composición ha sido modificada al punto de que ya no cumple con las condiciones necesarias para el uso que originalmente se le destinaba en su estado natural. Esto resulta alarmante, considerando que el agua es una fuente esencial de vida y bienestar, imprescindible no solo para nuestras actividades diarias, sino también para la constitución del ser humano, dado que el agua representa tres cuartas partes de nuestro organismo. A pesar de que el planeta está cubierto en un 70% de agua, solo el 1% es apto para el consumo humano, lo que agrava la crisis de escasez hídrica que afecta a nivel mundial (Rojas, 2015).

En particular, la contaminación provocada por la minería tiene consecuencias devastadoras para la calidad del agua, impactando tanto al ser humano como al medio ambiente. Según Galván y Reyes (2009), en los últimos cinco años se ha incrementado la preocupación sobre los efectos nocivos que estas actividades generan, debido al uso intensivo de sustancias peligrosas, especialmente desde los inicios de la revolución industrial. Durante este período, no se consideraron adecuadamente los impactos sobre la salud humana y los ecosistemas. Hoy, la humanidad se ve obligada a estudiar los efectos ambientales de sus actividades de producción en distintos niveles (local, nacional y global) ya plantear estrategias para prevenir, controlar y mitigar los daños generados por la actividad industrial.

En cuanto a los procedimientos medioambientales, existen serios desafíos en la gestión de la contaminación del agua ocasionada por la minería. Astorga (2016) señala que tanto los consultores ambientales como la Secretaría Técnica Nacional Ambiental (SETENA) enfrentan dificultades en la correcta aplicación de los instrumentos técnicos vigentes, lo que ha contribuido al desarrollo insostenible del país. Es fundamental que los profesionales involucrados comprendan las consecuencias graves que esto implica. Además, se proponen cinco soluciones clave para corregir y mejorar la eficiencia del

sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), con el objetivo de revertir esta problemática.

En consecuencia, la contaminación del agua privada a la humanidad de recursos alimentarios como la pesca y la agricultura, facilita la propagación de enfermedades, daña gravemente ecosistemas vitales al provocar fenómenos como la lluvia ácida y la pérdida de biodiversidad, y empeora las condiciones socioeconómicas en todo el mundo (Roldán, 2012). La gestión y conservación del agua son, por tanto, cuestiones urgentes que requieren atención y acción a nivel global.

2.2.4. Drenaje Ácido

Al respecto el Ministerio de Energía y Minas (MINEM, 2004) Guevara J. (2015), establece que el drenaje ácido es:

El drenaje ácido de minerales sulfurosos es un fenómeno natural que ha sido observado desde hace cientos de años. Muchos yacimientos minerales fueron descubiertos por la presencia de aguas de drenaje con tonalidades rojizas, las cuales indicaban la existencia de minerales sulfurosos en el entorno. Sin embargo, fue solo hace aproximadamente 20 años cuando se comenzó a prestar mayor atención a los efectos ambientales de este proceso, debido a la presencia de agua ácida con alta concentración de metales disueltos, lo que dio origen al término "drenaje ácido de mina" (PRESA). A pesar de ello, es importante señalar que el drenaje ácido no es exclusivo de las minas, razón por la cual también se utiliza el término "drenaje ácido de roca" (DAR). Ambos términos hacen referencia a un drenaje contaminado que se genera a partir de la oxidación de minerales sulfurados y la lixiviación de los metales asociados cuando las rocas sulfurosas se exponen al aire y al agua.

El desarrollo del DAR es un proceso complejo y dependiente del tiempo, en el cual intervienen tanto reacciones de oxidación química como biológica, así como fenómenos físico-químicos como la precipitación y el encapsulamiento. Es crucial entender que este tipo de drenaje contaminado no se limita únicamente a los ambientes mineros, sino que puede ocurrir en cualquier contexto donde existan minerales sulfurados expuestos. A lo largo del tiempo, la composición química del agua de drenaje se va alterando, incrementando gradualmente su acidez y elevando las concentraciones de metales disueltos. Inicialmente, el drenaje puede tener un pH ligeramente alcalino o neutro, pero con el tiempo, ya medida que avanzan los procesos de oxidación y lixiviación, se vuelve cada vez más ácido.

2.2.5. Mitigación de Problemas Ambientales

La minería moderna ha incorporado el cuidado del medio ambiente como un valor fundamental, destacándose por implementar medidas destinadas a mitigar los problemas ambientales que puedan derivarse de sus actividades, tales como la exploración, explotación y extracción de recursos. Este enfoque ambiental se ha consolidado a través de estudios estructurados e investigaciones que buscan identificar estrategias efectivas para remediar las áreas afectadas por las diversas fases de la actividad minera, donde se han producido alteraciones significativas (Meseldzic, 1994, como se citó en López J., 2013).

En este sentido, la industria minera ha adoptado, y continúa fortaleciendo, técnicas de control ambiental con el objetivo de minimizar el impacto de sus operaciones sobre el agua, el aire, el suelo, la flora y la fauna, evitando así la contaminación y las alteraciones de los ecosistemas locales. Estas técnicas no solo contribuyen a preservar el entorno natural, sino que también buscan alinearse con las exigencias establecidas por la legislación vigente en materia de protección ambiental. Tanto en los sectores gubernamentales como en los públicos y privados, se han implementado normas y reglamentos estrictos que obligan a las empresas mineras a cumplir con altos estándares ambientales, garantizando que sus actividades se desarrollen de manera sostenible y respetuosa con el medio ambiente (Lagrea, 1996; Ministerio de Agricultura, 1994, como se citó en López J., 2013). De esta manera, la minería actual no solo se preocupa por la extracción de recursos, sino también por el equilibrio entre el desarrollo económico y la conservación ambiental, promoviendo una gestión más responsable y sostenible de los recursos naturales.

Parámetros físico – químicos

2.2.6. pH

El pH se define como el logaritmo negativo de la actividad de los iones hidrógeno (-log aH+), lo que lo convierte en un parámetro crucial para medir la acidez o alcalinidad de una solución. Este valor depende de la actividad química del ion H+ (aH+), y para el agua pura, se considera que el pH es igual a 7.0 a una temperatura de 25°C, lo que indica una condición neutra. Sin embargo, a una temperatura de 18°C, el pH neutro es ligeramente superior, alcanzando un valor de 7,08 (Schoeller, 1962). La adición de compuestos como

HCl (ácido clorhídrico) o NaOH (hidróxido de sodio) en el agua provoca alteraciones significativas en el pH debido al aumento de iones H+ o OH-, lo que resulta en la acidificación (pH<7) o alcal.

Cuando sustancias neutras se disuelven en el agua, pueden reaccionar con ella y alterar su equilibrio, ya sea aumentando o disminuyendo el pH, lo que demuestra la sensibilidad de este parámetro ante cualquier cambio químico en el medio acuoso. En general, las aguas subterráneas presentan un rango de pH que oscila entre 6,5 y 8, aunque en algunos casos pueden situarse entre 5,5 y 8,5. Por su parte, el agua de mar tiene un pH cercano a 8, lo que refleja su ligera alcalinidad. Las aguas con un pH inferior a 7, conocidas como aguas ácidas, tienden a ser corrosivas, lo que puede provocar problemas en infraestructuras y ecosistemas. Por otro lado, un pH muy alcalino, superior a 9, puede generar complicaciones en las plantas y organismos vivos. El intervalo de pH óptimo para la vida, especialmente en ambientes acuáticos, se sitúa entre 6.5 y 8.5, donde la mayoría de los organismos pueden desarrollarse adecuadamente sin riesgos de estrés químico.

2.2.7. Conductividad eléctrica (CE) y sólidos totales disueltos (TDS)

Cuando una sustancia tiene la capacidad de conducir corriente eléctrica, esto implica que es capaz de transportar electrones a través de un medio conductor. En términos generales, existen dos tipos principales de conductores eléctricos: los conductores metálicos, también conocidos como conductores electrónicos, y los electrolitos, que son conductores iónicos. En el caso de los electrolitos, la corriente eléctrica fluye debido a la presencia de iones disueltos, que actúan como portadores de carga. Estos iones son los responsables de transportar los electrones desde un electrodo hacia otro, permitiendo así la conducción.

La conductividad eléctrica de un electrolito se refiere a su capacidad para transmitir corriente eléctrica. Esta conductividad depende de varios factores, incluyendo la concentración de iones disueltos, la carga y la movilidad de esos iones, y la viscosidad del medio en el que se encuentran disueltos. Si el solvente es agua, es importante destacar que la viscosidad del agua disminuye a medida que la temperatura aumenta, lo que provoca un aumento en la conductividad eléctrica del electrolito. Por tanto, en soluciones acuosas, la conductividad eléctrica tiende a ser mayor a temperaturas más altas, debido a que los iones pueden

El oxígeno disuelto (O2) es otra propiedad importante del agua, que mide la cantidad de oxígeno presente en la solución. Este parámetro es un indicador clave de la calidad del agua y su capacidad para sustentar la vida vegetal y animal. En general, un nivel elevado

de oxígeno disuelto indica que el agua tiene buena calidad, lo que es favorable para el desarrollo de diversas formas de vida acuática. Sin embargo, si los niveles de oxígeno disuelto son demasiado bajos, los peces y otros organismos acuáticos pueden enfrentar dificultades para sobrevivir y prosperar. Esto subraya la importancia de mantener un adecuado equilibrio de oxígeno disuelto en los ecosistemas acuáticos.

2.2.8. Oxígeno disuelto (OD)

El oxígeno disuelto (OD) en el agua proviene principalmente del oxígeno atmosférico que se difunde en la superficie del agua y se disuelve, un proceso que está significativamente influenciado por las condiciones físicas del cuerpo de agua. Las turbulencias, como las que se observan en ríos rápidos, tienden a aumentar la cantidad de oxígeno disuelto, ya que favorecen la mezcla del agua con el aire. En contraste, los ríos de corriente lenta o estancada presentan niveles más bajos de oxígeno disuelto debido a la menor interacción con el aire. Además, el OD también proviene de la fotosíntesis de las plantas acuáticas, lo que puede llevar a niveles de sobresaturación en ríos con abundante vegetación durante los días soleados.

Otros factores que influyen en los niveles de oxígeno disuelto incluyen la salinidad y la altitud. A mayor salinidad, la capacidad del agua para disolver oxígeno disminuye. Asimismo, la altitud también tiene un efecto importante, ya que a mayor altitud la presión atmosférica disminuye, reduciendo la cantidad de oxígeno que puede disolverse en el agua.

La temperatura es otro factor crucial. El agua fría tiene una mayor capacidad para disolver oxígeno en comparación con el agua caliente. Esto significa que en zonas con climas fríos o en cuerpos de agua fría, los niveles de oxígeno disuelto tienden a ser más altos que en ambientes más cálidos. En términos generales, los niveles de oxígeno disuelto en cuerpos de agua suelen variar entre 7 y 12 mg/L, lo que proporciona un indicador importante de la calidad del agua y su capacidad para sostener la vida acuática.

2.2.9. Influencia Geológica en las Aguas

Las unidades geológicas con las que interactúan las aguas superficiales y subterráneas influyen considerablemente en su composición química. Esta interacción depende de varios factores, como la composición mineral de la roca, su grado de fracturamiento, la acidez del agua, el tiempo de contacto y la permeabilidad del medio. Cada tipo de roca

puede aportar diferentes elementos químicos al agua, lo que afecta su calidad y características físico-químicas. A continuación, se describen las características generales de las aguas en función del tipo de roca con el que entra en contacto, según Custodio y Llamas (1976):

Rocas Ígneas: Las aguas que interactúan con granitos suelen ser poco salinas, con el anión bicarbonato (HCO3-) predominante y cationes como sodio (Na+) y calcio (Ca2+). Aunque se pueden liberar cantidades significativas de potasio (K) y hierro (Fe), el potasio es retenido por las arcillas presentes, mientras que el hierro se precipita en forma de hidróxido de hierro o ferrihidrita (Fe (OH)3). En general, los niveles de cloruros (Cl-) y sulfatos (SO42-) son bajos en aguas provenientes de granitos, salvo que haya presencia significativa de pirita (FeS2), la cual, al oxidarse, puede aumentar la concentración de sulfato. Para que se produzca esta oxidación, es esencial un suministro adecuado de oxígeno. Si el terreno es basáltico en lugar de granítico, las aguas suelen ser más salinas debido a la mayor facilidad de alteración de los componentes de las rocas basálticas.

Rocas Sedimentarias: Este tipo de rocas, debido a su abundancia y porosidad, tiende a aportar más ventas a las aguas que las rocas ígneas. La composición del agua variará considerablemente según el tipo de roca sedimentaria, ya que estas son más permeables y permiten una mayor disolución de minerales en un tiempo más corto. Las aguas en contacto con rocas sedimentarias, como las calizas o areniscas, pueden tener altos contenidos de calcio, magnesio y bicarbonatos, lo que las hace más duras.

Rocas Metamórficas: Estas rocas, al ser una transición entre rocas ígneas y sedimentarias, aportan características intermedias a las aguas. El tipo de agua resultante dependerá del grado de metamorfismo de la roca. En general, las aguas que entran en contacto con rocas metamórficas pueden mostrar propiedades más cercanas a las de las rocas ígneas o sedimentarias, dependiendo del tipo de minerales presentes y del grado de alteración metamórfica.

2.2.10. Evolución Geoquímica de las Aguas

El origen y la composición química primaria de las aguas se encuentra mayoritariamente en el agua de lluvia, cuyo contenido iónico varía considerablemente dependiendo de la ubicación geográfica. Según Matveyev y Bashmakova (1967), En áreas costeras, los iones principales en el agua de lluvia son cloruro (Cl-), sodio (Na+), y potasio (K+), mientras que en regiones continentales predominan sulfato ($SO4^{2}$-), bicarbonato (HCO3-), y calcio (Ca^{2}+). Esto se debe a que la concentración de NaCl disminuye a medida que la distancia

de la costa aumenta, un efecto más pronunciado al cruzar barreras montañosas (Kolodiajnaia, 1962).

Cuando el agua de lluvia se infiltra en suelos ricos en dióxido de carbono (CO_2), como aquellos con vegetación densa, reacciona con el gas y forma ácido carbónico, que se disocia en bicarbonato y protones, incrementando la acidez natural del agua (Custodio y Llamas, 1976). Al ingresar al subsuelo y transformarse en agua subterránea, la composición química del agua varía según los minerales con los que interactúa en el acuífero y el tiempo que pasa en contacto con ellos.

Aguas con menor permanencia tienden a ser ricas en bicarbonato y calcio; a medida que el tiempo de interacción aumenta, la composición se transforma, volviéndose primero sulfatada y cálcica, luego clorurada y sódica. Este ciclo químico refleja la progresiva evolución de las aguas subterráneas en función de su interacción prolongada con el entorno geológico.

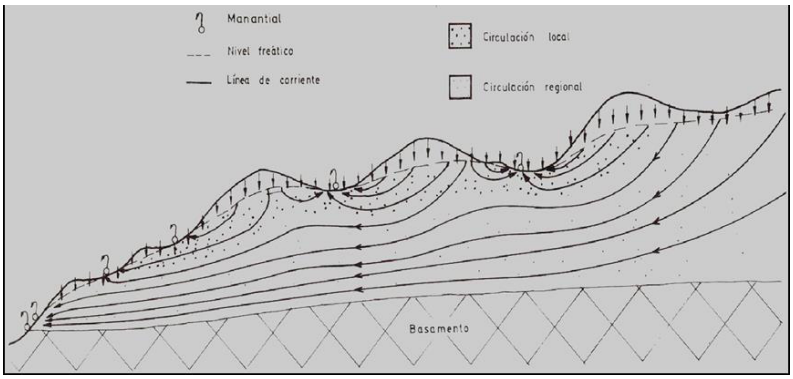
$$HCO_3^- \longrightarrow SO_4^{2-} \longrightarrow Cl^-$$
$$Ca^{2+} \longrightarrow Mg^{2+} \longrightarrow Na^+$$

La secuencia de evolución química descrita es aplicable en condiciones de flujo lineal ideal. Sin embargo, en la realidad, las aguas subterráneas al infiltrarse y circular por el subsuelo pueden seguir trayectorias muy diversas. Dependiendo de las características del terreno y las condiciones geológicas, el agua puede tomar rutas de circulación locales, con trayectos relativamente cortos, o bien seguir un camino de flujo regional, que puede extenderse por cientos de kilómetros. También existe la posibilidad de que el agua siga rutas intermedias entre estos dos extremos, dependiendo de factores como la permeabilidad y el gradiente hidráulico del acuífero (Custodio y Llamas, 1976).

En este contexto, las aguas más profundas suelen tener una mayor salinidad en comparación con las aguas cercanas a la superficie. Esto se debe a que, a mayor profundidad, el agua tiene más tiempo y oportunidades para interactuar con los minerales presentes en las rocas, lo que resulta en una mayor disolución de ventas. Cuanto más largo sea el recorrido del agua y más tiempo permanezca en contacto con los materiales del acuífero, mayor será la concentración de minerales disueltos, lo que explica la mayor salinidad en las aguas profundas. Esta variabilidad en los trayectos de flujo también influye en la composición química del agua, generando un gradiente de salinidad y otros parámetros químicos a lo largo del sistema de flujo subterráneo. Por lo tanto, el

conocimiento de los patrones de flujo es crucial para comprender la calidad y la composición del agua en diferentes puntos de un acuífero.

Figura 1 Modelo de circulación de aguas



Fuente: Custodio Llama 1976

2.2.11. Aguas ácidas

La explotación de yacimientos de carbón, sulfuros metálicos o uranio exponen grandes volúmenes de materiales sulfurosos a la meteorización, lo que constituye una de las principales fuentes de contaminación de aguas en la actividad minera. Estos materiales, al ser expuestos al aire y al agua, pueden generar drenaje, un proceso que se ve intensificado por la acción de bacterias, especialmente en condiciones de aerobiosis. Estas bacterias, como Acidithiobacillus ferrooxidans, juegan un papel clave en la oxidación de los minerales sulfurados, acelerando la producción de ácido sulfúrico y liberando metales pesados al ambiente, lo que incrementa la acidez y toxicidad del agua afectada.

La formación del ácido de drenaje no depende únicamente de la actividad bacteriana, sino también de diversos factores como el pH, la disponibilidad de oxígeno, la concentración de dióxido de carbono (CO2), la temperatura, la humedad y las características cinéticas del proceso. En ambientes con bajo pH, las reacciones químicas son más rápidas y la solubilidad de metales tóxicos aumenta, agravando el impacto ambiental. Además, la capacidad de neutralización del entorno juega un papel determinante: en regiones con rocas carbonatadas, por ejemplo, el proceso de neutralización puede reducir los efectos del drenaje ácido, mientras que, en entornos con baja capacidad de neutralización, el impacto es mucho mayor.

La temperatura y la humedad también afectan la velocidad de oxidación y la actividad bacteriana, influyendo directamente en la generación de ácido. En resumen, la

combinación de estos factores determina la gravedad de la contaminación hídrica derivada de la minería, y subraya la importancia de monitorear y controlar las condiciones ambientales en áreas mineras para mitigar los efectos del drenaje ácido y proteger los recursos hídricos.

2.2.12. Tecnología

Es el conjunto de conocimientos y técnicas que se aplican de manera ordenada para alcanzar un determinado objetivo o para resolver un problema

2.2.13. Medio Ambiente

Es el espacio donde se desarrolla la vida de los seres vivos y que permite su interacción. Este sistema está compuesto tanto por seres vivos como por elementos abióticos (sin vida) y artificiales, que influyen en las dinámicas naturales y sociales.

2.2.14. Aguas Alcalina

Son aguas de bajo poder de solubilización que provienen de la circulación de aguas subterráneas o superficiales a través de materiales calizos o dolomíticos. En este proceso, la disolución del carbonato cálcico ocurre debido a la presencia de dióxido de carbono (CO2) en el agua, lo que genera la reacción:

$CaCO3 + CO2 + H2O \rightarrow Ca^{2+} + 2HCO_3^-$

A pesar de que se consideran menos agresivos que las aguas ácidas, las aguas alcalinas pueden lixiviar materiales peligrosos, lo que resulta en un aporte significativo de contaminantes. Este tipo de aguas es más común en la minería subterránea que en la minería a cielo abierto.

2.2.15. Vertimientos

Son descargas de cualquier tipo que van a parar a un acuífero o cuerpo de agua, y que contribuyen a la contaminación. En el contexto minero, los vertimientos se generan a partir de los desechos derivados del proceso de producción minera y la concentración de minerales valiosos. Estos desechos, conocidos como relaves, resultan del proceso de chancado, molienda y flotación, que separa el mineral valioso de los desechos. El producto final, el concentrado, es enviado a la fundición.

2.2.16. MINAM

El Ministerio del Ambiente (MINAM) de Perú es la entidad encargada de la conservación y el uso sostenible de los recursos naturales, la valorización de la biodiversidad y la promoción de la calidad ambiental. Su misión es garantizar el bienestar de las personas y el entorno, actuando de manera descentralizada y en colaboración con organismos públicos, privados y la sociedad civil, en el marco del crecimiento verde y la gobernanza ambiental.

2.2.17. ANA

La Autoridad Nacional del Agua (ANA) es el ente encargado de gestionar los recursos hídricos en el Perú. La minería moderna, en su afán de minimizar los impactos ambientales, ha adoptado como principio fundamental el cuidado del medio ambiente. Esto ha llevado a la implementación de estudios y técnicas orientadas a la remediación de las áreas afectadas durante las fases de exploración, explotación y extracción. Estas acciones buscan cumplir con la legislación vigente en materia ambiental, con el fin de evitar la contaminación de recursos como el agua, el aire, el suelo y la fauna, contribuyendo a un desarrollo más sostenible (Meseldzic, 1994, citado en López J., 2013).

2.3. MARCO CONCEPTUAL O GLOSARIO

Acuífero: Es una estructura geológica que facilita el almacenamiento y la circulación de las aguas subterráneas a través de sus poros o grietas, caracterizándose por su permeabilidad.

Acuitardo: Es una formación geológica que permite almacenar aguas subterráneas, pero su circulación es casi imperceptible debido a su semipermeabilidad.

Agua subterránea: Es el agua que se encuentra en el subsuelo, llenando los espacios porosos o fracturas en las rocas.

Agua superficial: Es el agua que se encuentra o circula en la superficie del terreno.

Fuente de agua: Es el lugar donde emergen las aguas subterráneas, también conocido como manantial o puquio.

Piezómetro: Los piezómetros son instrumentos utilizados en el monitoreo geotécnico para medir y controlar la presión del agua de poros en el interior de formaciones de suelo o roca.

Bofedal: Los bofedales son áreas de vegetación acuática y herbácea que se forman en zonas montañosas y altiplánicas, generalmente a altitudes superiores a los 3,800 metros sobre el nivel del mar.

Nevado: Masas de hielo, nieve y rocas acumuladas en las partes altas de las montañas de mayor elevación del territorio nacional.

3. CAPITULO III METODOLOGÍA

3.1. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1.1. Hipótesis General

Mediante la Evaluación Hidrogeológica de las fuentes de agua subterránea y superficial se logrará una mejor gestión de los recursos hídricos en la unidad Minera Pachapaqui.

3.1.2. Hipótesis Específicas

H.E.1: La identificación de las principales fuentes de agua en la Unidad Minera Pachapaqui permitirá disminuir el potencial de contaminación por efluentes ácidos.

H.E.2: La evaluación de la calidad del agua en términos de parámetros físicos, químicos y biológicos permitirá un mejor manejo de los efluentes ácidos.

H.3.3: La evaluación de la hidrogeología del área de estudio, incluyendo la identificación de acuíferos, condiciones hidrogeológicas locales, la geología y geomorfología permitirá identificar las posibles rutas de transporte de los flujos de agua.

3.2. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

3.2.1. Variable Independiente

- Evaluación Hidrogeológica de las fuentes de agua subterránea y superficial.

3.2.2. Variable Dependiente

- Manejo de los efluentes ácidos en la Unidad Minera Pachapaqui.

3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación propuesta en esta tesis se enmarca en el tipo de investigación aplicada y descriptiva. A continuación, se detalla la justificación y características de este enfoque:

3.3.1 Investigación Aplicada:

Evaluación

La investigación aplicada en esta tesis se enfoca en identificar y caracterizar los efluentes ácidos en las fuentes de agua subterránea y superficial de la Unidad Minera Pachapaqui para su manejo adecuado. La evaluación busca producir conocimientos prácticos que permitan identificar las zonas más afectadas y los niveles de contaminación, los cuales serán utilizados para proponer medidas de mitigación específicas para los efluentes ácidos. Este enfoque aplicado tiene el objetivo de que los resultados sean utilizados directamente para mejorar la gestión de los recursos hídricos en la mina.

Metodología

- **Recolección de Muestras**: Se tomarán muestras de agua de puntos estratégicos, incluyendo zonas de surgencia, recarga y descarga, tanto de aguas subterráneas como superficiales.
- **Análisis de Calidad de Agua**: Las muestras se analizarán en laboratorio para medir parámetros físico-químicos y biológicos (pH, sulfatos, metales pesados, conductividad, coliformes).
- **Identificación y Análisis de Fuentes**: Se identificarán las principales fuentes de agua y se evaluará su vulnerabilidad frente a los efluentes ácidos.
- **Identificación de las líneas de flujo:** Utilizando mapas hidrogeológicos y análisis de la topografía de la zona de estudio, se identificarán las líneas de flujo e Hidroisohipsas.

3.3.2 Investigación Descriptiva:

Evaluación

En el enfoque descriptivo, la evaluación se centra en observar y registrar las condiciones actuales de las fuentes de agua en términos de sus características hidrogeológicas y calidad. El objetivo es describir el estado de las aguas subterráneas y superficiales sin intervenir en el entorno, proporcionando una visión detallada de cómo los efluentes ácidos impactan en estos cuerpos de agua. La evaluación descriptiva permite documentar la acidez, composición química y comportamiento hidrogeológico del agua en la zona de estudio.

Metodología

- **Caracterización Hidrogeológica**: Se describirán las características del área de estudio, incluyendo la geología, geomorfología, y las unidades hidrogeológicas.
- **Observación de Parámetros In Situ**: Se realizarán mediciones en campo, como pH, conductividad y temperatura, para registrar las condiciones actuales de los cuerpos de agua.
- **Inventario de Fuentes Hídricas**: Se elaborará un inventario de las fuentes de agua subterráneas y superficiales, especificando su ubicación y características principales.
- **Zonas de Flujo y Recarga**: A partir de los datos recolectados, se elaborarán mapas descriptivos de las zonas de flujo, recarga y descarga de agua.

3.4. UNIDAD DE ANALISIS

Corresponde al inventario de las Fuentes de Agua subterránea y superficial de la Unidad Minera Pachapaqui, estas diversas fuentes de agua, tanto superficiales como subterráneas, presentes en el área de estudio. Se procede a monitorear y mapear las fuentes de agua para entender la distribución, caudal y calidad del agua con el fin de caracterizar adecuadamente el sistema hídrico en la región.

Así mismo, Los datos hidrogeológicos recolectados en campo incluyen información clave sobre las características hidrogeológicas del área, como la distribución de acuíferos, patrones de flujo subterráneo, zonas de recarga y descarga, y curvas de nivel (Hidroisohipsas). Esta información es esencial para entender cómo se comporta el flujo de agua subterránea en el área de estudio.

Por otro lado, los datos de calidad del agua comprenden los resultados de los análisis químicos realizados en las muestras de aguas subterráneas y superficiales. Estos análisis permiten medir las concentraciones de contaminantes y evaluar la calidad del agua, comparándola con los estándares ambientales establecidos.

3.5. POBLACIÓN DE ESTUDIO

La población por estudiar consta de un total de: 26 quebradas, 16 manantiales, 2 lagunas, 13 piezómetros y 13 bofedales.

3.6. MUESTRA

Las muestras se obtendrán de datos de los inventarios de fuentes de agua subterráneo y superficial, se empleó el multiparámetro y el correntómetro. La información es posteriormente ingresada en una base de datos del proyecto como posteriormente las muestras de agua son enviadas al laboratorio para determinar la calidad del agua.

3.7. MATRIZ DE CONSISTENCIA

Tabla 1 Matriz de Consistencia del área de estudio

Título: **"Evaluación Hidrogeológica de las fuentes de Agua Subterránea y Superficial para el manejo de los efluentes ácidos en la Unidad Minera Pachapaqui."**			
PROBLEMA	**OBJETIVO**	**HIPOTESIS**	**VARIABLES**
General:	**General:**	**General:**	**Independientes:**
¿De qué manera con la Evaluación Hidrogeológica de las fuentes de agua subterránea y superficial se logrará una mejor gestión de los recursos hídricos en la unidad Minera Pachapaqui?	Evaluar Hidrogeológicamente las fuentes de agua subterránea y superficial para lograr una mejor gestión de los recursos hídricos en la unidad minera Pachapaqui.	Mediante la evaluación Hidrogeológica de las fuentes de agua subterránea y superficial se logrará una mejor gestión de los recursos hídricos en la unidad Minera Pachapaqui.	Evaluación Hidrogeológica de las fuentes de agua subterránea y superficial.
Específicos:	**Específicos:**	**Específicos:**	**Dependientes:**
¿En qué medida la Identificación de las principales fuentes de agua en la Unidad Minera Pachapaqui permitirá disminuir el potencial de contaminación por efluentes ácidos?	Identificar las principales fuentes de agua en la Unidad Minera Pachapaqui que permitirá disminuir el potencial de contaminación por efluentes ácidos	La identificación de las principales fuentes de agua en la Unidad Minera Pachapaqui permitirá disminuir el potencial de contaminación por efluentes ácidos.	Manejo de los efluentes ácidos en la Unidad Minera Pachapaqui.

¿De qué manera la evaluación de la calidad del agua en términos de parámetros físicos, químicos y biológicos permitirá un mejor manejo de los efluentes ácidos?	Evaluar la calidad del agua en términos de parámetros físicos, químicos y biológicos permitirá un mejor manejo de los efluentes ácidos.	La evaluación de la calidad del agua en términos de parámetros físicos, químicos y biológicos permitirá un mejor manejo de los efluentes ácidos.	
¿De qué manera la evaluación de la hidrogeología del área de estudio, incluyendo la identificación de acuíferos, condiciones hidrogeológicas locales y la geología permitirá identificar las posibles rutas de transporte de los flujos de agua?	Evaluar geológica e hidrogeológicamente el área de estudio, identificar acuíferos y las condiciones hidrogeológicas locales, así como identificar las posibles rutas de transportes de flujos de agua.	La Evaluación de la hidrogeología del área de estudio, incluyendo la identificación de acuíferos, condiciones hidrogeológicas locales, la geología y geomorfología permitirá identificar las posibles rutas de transporte de los flujos de agua.	

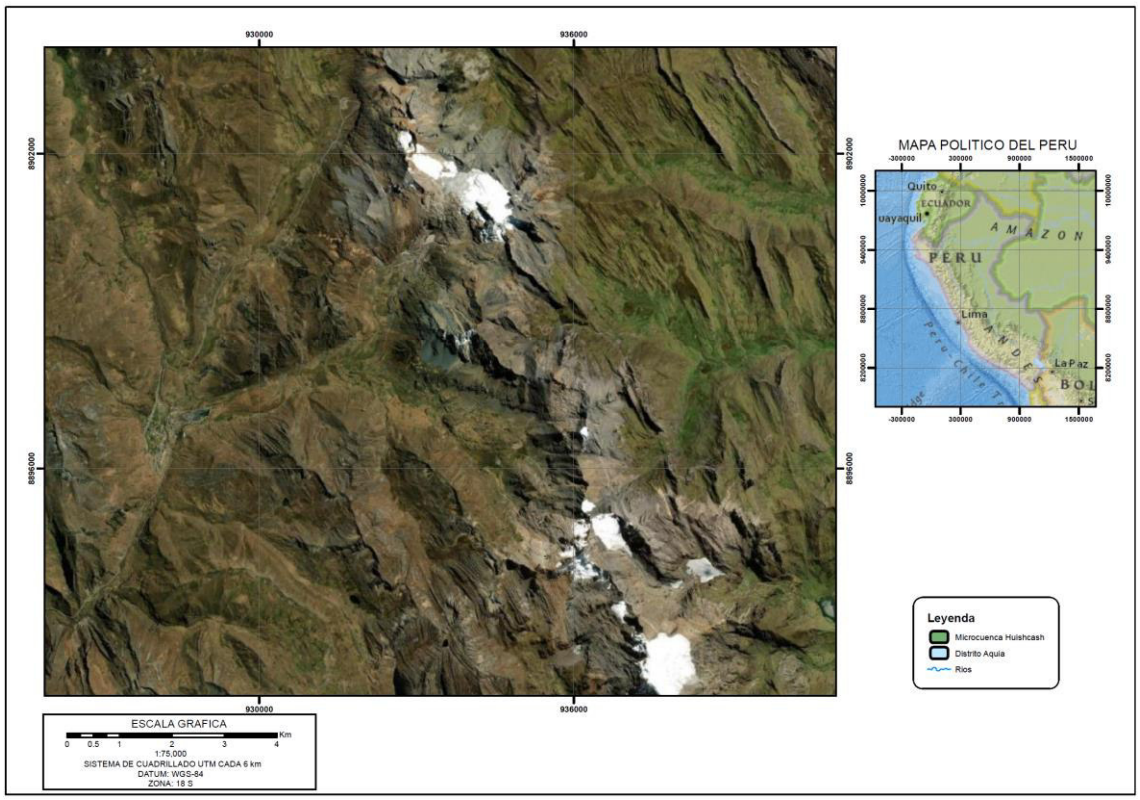
Fuente: Elaboración Propia.

4. CAPITULO IV: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 UBICACIÓN

El Proyecto Minero ICM Pachapaqui se encuentra ubicada en el Distrito: Aquia, Provincia: Bolognesi y Departamento: Ancash., a una altitud aproximada de 4200 y 5020 m.s.n.m.

Figura 2 Ubicación de la zona de estudio



Fuente: Elaboración Propia

4.3 ACCESIBILIDAD

La siguiente tabla muestra la accesibilidad del área de estudio.

Tabla 2 Ubicación de proyecto

Tramo	Distancia (Km.)	Tipo de Vía	Tiempo (h.)
Lima – Conococha	338	Carretera Asfaltada	06 horas 30 minutos
Conococha - Pachapaqui	41.7	Carretera Asfaltado / Afirmado	48 minutos

Pachapaqui – U.M Pachapaqui	0.5	Carretera Afirmado	10 minutos

Fuente: Elaboración Propia.

4.2 HIDROLOGÍA

El estudio hidrológico tuvo por objeto determinar el régimen pluvial de la unidad Minera. En la siguiente tabla se muestran los datos de ubicaciones de las estaciones meteorológicas más cercanas a la zona del proyecto.

Tabla 3 Estaciones Meteorológicas más cercanos al proyecto

Estación	Este	Norte	Altitud (msnm)
Chiquian	*263383.8*	*8877479*	*3414*
Chavín	*261251*	*8939607.1*	*3140*
Nuevo Pachocoto	*236113.7*	*8909955.3*	*3723*
Dos de Mayo	*305410.9*	*8925357.2*	*3414*

Fuente: Elaboración Propia.

4.5.1. Clima

La unidad Minera Pachapaqui se encuentran clasificadas en zonas climáticas, lluvioso con otoño e invierno seco. Climatológicamente presenta abundante humedad en todas las estaciones. La temperatura media anual es de 11.6°C, Normalmente, la época de lluvias ocurre entre diciembre y abril. La precipitación media anual se estima en 601.54 mm. Referente a la distribución anual de las precipitaciones pluviales se aprecia la falta de regularidades en la ocurrencia de precipitaciones anuales muy bajas o muy altas pudiendo esto ocurrir indistintamente en cualquier año.

4.5.2. Hidrografía

La quebrada Minapata tiene su naciente en el denominado Nevado del Burro, siendo es el principal sistema de drenaje superficial natural en la zona de estudio.

La quebrada Minapata es un afluente de la quebrada Huishcash. La parte más alta de su línea divisoria de aguas se ubica a una altitud de 5200 msnm, esta quebrada es de naturaleza constante y discurre su flujo de aguas de NE a SW.

La microcuenca de la quebrada Minapata pertenece a la subcuenca de la quebrada Huishcash, que forma parte de la cuenca del río Pativilca para finalmente pertenecer a la cuenca del Pacifico. El río Pativilca se caracteriza por tener agua de manera permanente, incrementándose su caudal en los meses de noviembre a abril.

4.4 DRENAJE

La Unidad Minera Pachapaqui con respecto a la unidad hidrográfica mayor, las quebradas de estudio se ubican en la Cuenca Pativilca.

La cuenca Pativilca corresponde al ámbito regional, los cuales han sido subdividido para abarcar el ámbito de estudio, la microcuenca de la quebrada Minapata , conformada por una extensión hidrográfica de 10.08 Km2, contando con un perímetro de 12.94 Km y tiene una variación altitudinal que va desde los 4050 msnm – 4800 msnm y la microcuenca de la quebrada Shicra Shicra , conformada por una extensión hidrográfica de 19.07 Km2, contando con un perímetro de 18.19 Km y tiene una variación altitudinal que va desde los 4050msnm – 4950 msnm .Ambas incluidas en una subcuenca Huishcash (Esta más local según la zona del trabajo).

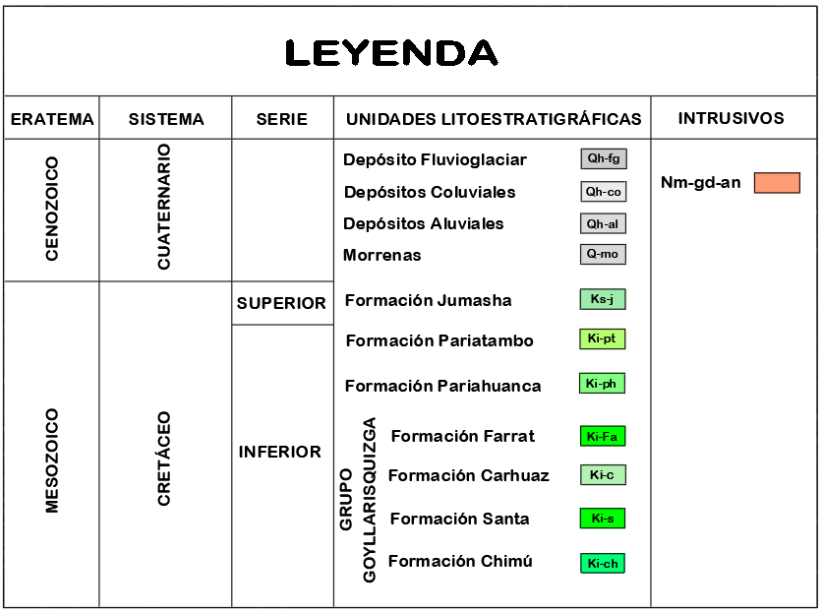
Hidrográficamente el rio Pativilca recibe aportaciones del rio Tunacancha, Huanchay, Rapay y del rio Llamac aguas arribas y por la sur descarga en el océano Pacifico, siendo este tipo de distribución normal en las cuencas pertenecientes a la Unidad Hidrográfico del Pacifico.

4.5 GEOLOGÍA REGIONAL

La geología regional de la zona de estudio se correlacionó con el mapa geológico de los cuadrángulos de Huaraz, Recuay, La Unión, Chiquián y Yanahuanca" (Boletín N° 76) Escala 1:100,000 (INGEMMET). Las unidades estratigráficas aflorantes son principalmente, secuencias sedimentarias cretáceas, las cuales se encuentran alineadas al rumbo andino (NO-SE). Entre estas, se tiene la secuencia siliciclástica del grupo Goyllarisquizga, cuyas formaciones aflorantes en el área de estudio son la Formación Chimú, Formación Santa y Formación Carhuaz. Así mismo, afloran las secuencias

carbonatadas pertenecientes a la Formación Pariahuanca, Formación Pariatambo, Formación Chulec y Formación Jumasha. Por otro lado, también se tienen grandes extensiones de depósitos cuaternarios, donde destacan los depósitos de morrenas y depósitos fluvioglaciares.

Figura 3 Columna estratigráfica regional de la zona de estudio



Fuente: Ingemmet y propia.

4.5.1. Formación Chimú

La formación Chimú aflora siguiendo el rumbo andino (NO-SE) en gran parte del mapa geológico regional (anexo 1). Los afloramientos constituyen núcleos de anticlinales que siguen esta dirección, y también es notoria la presencia de sinclinales. Su contacto en el sector oriental es concordante sobre la Formación Oyón (Chicama) e infrayace a la Formación Santa en contacto similar al anterior. También se puede observar a la Formación Chimú en contacto con las formaciones Carhuaz y Pariahuanca debido a la presencia de fallas inversas. La formación Chimú, se destaca por presentar una morfología conspicua y una coloración de blanquecina a blanco rojiza, que, en conjunto, toma una coloración rojiza clara destacando las capas de areniscas resistentes a la erosión.

Esta formación está conformada principalmente por estratos de areniscas blancas y macizas con espesores de 1 a 3 m y con una potencia de la secuencia completa que varía desde 100 m en la parte norte a 600 m en la parte sur.

La Formación Chimú no contiene fósiles marinos confiables, pero sobreyace a la Formación Oyón del Neocomiano; infrayace a las calizas Santa de edad Valanginiano superior. De acuerdo con ello se considera que la Formación Chimú es de edad Valanginiano inferior a medio.

4.5.2. Formación Santa

Esta formación yace concordante sobre la Formación Chimú, e infrayace a la Formación Carhuaz. La formación Santa está conformada por calizas de color azul grisáceo, con meteorización característica de corteza azulina. También se pueden observar concreciones de chert de coloración gris oscuro a blanco. Presenta estratos con espesores de 10 cm a 1 m, alcanzando una potencia aproximada entre 100 y 150 m.

La edad de esta formación se correlaciona con la presencia de fósiles. Los fósiles observados en las calizas Santa no son estratigráficamente característicos (WILSON, 1967); no obstante, no hay duda de que sean de la edad Valanginiano superior, debido a que fósiles similares han sido encontrados en la parte inferior de las lutitas Carhuaz, las cuales sobreyacen a estas calizas.

4.5.3. Formación Carhuaz

Esta formación, se encuentra en las cuencas Chapín, Santa y parte de la cuenca Huarmey. Los afloramientos más notorios, se encuentran al norte del mapa regional (Anexo 1), donde se presentan formando núcleos de sinclinales de gran extensión. Esta formación se caracteriza por presentar una morfología bastante suave, en comparación con las unidades adyacentes. La Formación sobreyace concordante sobre la formación Santa, y es seguida en igual relación por la Formación Pariahuanca.

Está conformada principalmente por limoarcillitas, encontrándose en ocasiones capas de arenisca cuarcífera, en la parte central de la unidad. Las limoarcillitas son principalmente de color gris a gris-verde; también pueden encontrarse intercaladas en la parte inferior de la formación, con delgadas capas de yeso. La parte superior está conformada por limoarcillitas rojas y limonitas gris-pardosas y en la parte central de la formación, presentan capas de arenisca cuarcífera. En algunas zonas presenta calizas y areniscas ferruginosas. La formación Carhuaz, normalmente presenta una potencia de 600 m, pero hacia el oeste del Callejón de Huaylas la potencia aumenta, llegando hasta los 1 500 m

(WILSON, J., 1967). La formación fue considerada por BENAVIDES (1956) de edad Aptiano a Albiano inferior.

4.5.4. Formación Pariahuanca

Las calizas Pariahuanca descansan concordantes sobre la Formación Carhuaz (la Formación Farrat está ausente en el área de estudio); la formación Pariahuanca infrayace en relación concordante a la Formación Chulec.

Esta formación está conformada típicamente por calizas macizas de color gris azulado, presentando estrados entre 1 y 2 m de potencia; algunas veces presenta una ligera apariencia lajosa, asemejándose a las calizas Santa. Según DUNIN BORKOWSKI (1975), esta formación alcanza una potencia de 400 m en la zona de la cordillera Huayhuash. La formación fue considerada por BENAVIDES (1956) de edad Aptiano a Albiano inferior.

Figura 4 Formación Pariahuanca



Fuente: Elaboración propia.

Se observan las calizas de la formación Pariahuanca, con potencias que van desde 30cm a 2 m. Sobre esta formación, se visualizan depósitos fluvioglaciares con una pendiente baja-media y cobertura vegetal. Esta formación se encuentra presente en gran parte en el sector Riqueza dentro del área de estudio.

4.5.5. Formación Pariatambo

Esta formación descansa concordante sobre la Formación Chulec (Debido a su reducido grosor, no ha sido posible la representación de la formación Chulec en el plano de geología regional. Por tal motivo, se le ha registrado conjuntamente con la Formación Pariatambo). Aflora dentro de la cuenca Chavín y sobre el Bloque Marañón; es sobreyacida concordantemente por la Formación Jumasha; presenta una potencia de 100 m, la cual se mantiene regularmente constante; el mayor espesor lo presenta en la cordillera de Huayhuash, en donde alcanza una potencia de 500 m.

Esta formación está conformada principalmente por margas marrón oscuras que tienen un olor fétido en fractura fresca, caliza marrón oscuro en lajas delgadas que sobresalen como miembros resistentes; se encuentra interestratificadas con bancos de margas de 10 m de potencia y con intercalaciones con limoarcillitas calcáreas gris oscuras.

Esta formación tiene abundantes fósiles marinos (principalmente ammonites), por lo que ha sido descrita como del Albiano medio.

4.5.6 Formación Jumasha

Esta formación geológica aflora en el sector oriental del mapa geológico regional Sobreyace concordante a la Formación Pariatambo y subyace concordante a la Formación Celendín, la cual no aflora en el área de estudio.

Esta formación, presenta una litología de estratificación maciza de calizas grises, en estratos de 1 a 2 m. Estos en algunos lugares hacia la base, pueden presentarse como una secuencia de lajas de calizas oscuras. Las calizas de la Formación Jumasha constituyen una de las unidades más importantes y características de los Andes Centrales y en la zona de la cuenca occidental peruana; estas se conservan en los núcleos de los sinclinales, formando cadenas de elevaciones muy conspicuas, tal como la cordillera Huayhuash. Las calizas de esta unidad se describen como micritas y biomicritas con un buen porcentaje de material limo-arcilloso. La formación Jumasha, es pobremente fosilífera, según BENAVIDES (1856) y WILSON (1963), esta se encuentra en un rango de edad entre el Albiano superior y el Turoniano.

4.5.7. Morrenas

Depósitos formados por el arrastre de sedimentos producido por las masas de hielo que cubrieron gran parte del área en algunos períodos del Cuaternario. Se encuentran

distribuidos entre el río Santa y la Cordillera Blanca. Los depósitos antiguos, se consideran el resultado de la glaciación pleistocénica y se diferencian de los recientes, los cuales presentan formas de crestas o de colinas alargadas de depósitos inconsolidados, de extensión más reducida y localizados en las cercanías a los comparativamente pequeños glaciares actuales.

4.5.8 Depósitos Cuaternarios

- **Depósitos fluvioglaciares**

Estos depósitos tienen una amplia extensión y se encuentran cortados por cursos de drenaje actual, se encuentran en el fondo del valle en forma de U y quebradas adyacentes a estos. Algunos depósitos se presentan formando terrazas, con cárcavas debido a la erosión producida por el flujo de agua producto del derretimiento del nevado. Litológicamente se componen de conglomerados y fanglomerados con clastos subredondeados y angulosos de naturaleza heterogénea, englobados en una matriz areno limo-arcillosa. Así mismo, en gran parte del área de estudio, estos depósitos se encuentran cubiertos por cobertura vegetal.

Figura 5 Depósitos Fluvioglaciares



Fuente: Elaboración propia.

Se observan los depósitos fluvioglaciares cubriendo las calizas de la formación Pariahuanca. Estos depósitos se extienden en gran parte del área de estudio cubriendo el macizo rocoso. Están conformados por clastos heterogéneos redondeados y subredondeados provenientes de las partes altas, con una matriz limo-arenosa. Sobre estos depósitos se observa cobertura vegetal.

- **Depósitos Coluviales**

Estos depósitos se encuentran en la parte baja de las laderas de las montañas, conformados por clastos heterogéneos angulosos a subangulosos provenientes de las partes más altas de las formaciones rocosas.

- **Depósitos Aluviales**

Estos depósitos se encuentran en la parte baja de los valles, e incluyen los depósitos acumulados por los cursos de agua a lo largo de los lechos por donde discurren. Los depósitos aluviales tienen una notable variación en tamaño y en mezcla de fracciones elásticas que dependen de la roca madre, de la pendiente y la intensidad del medio energético que interviene en su acumulación y obviamente de las características de la meteorización.

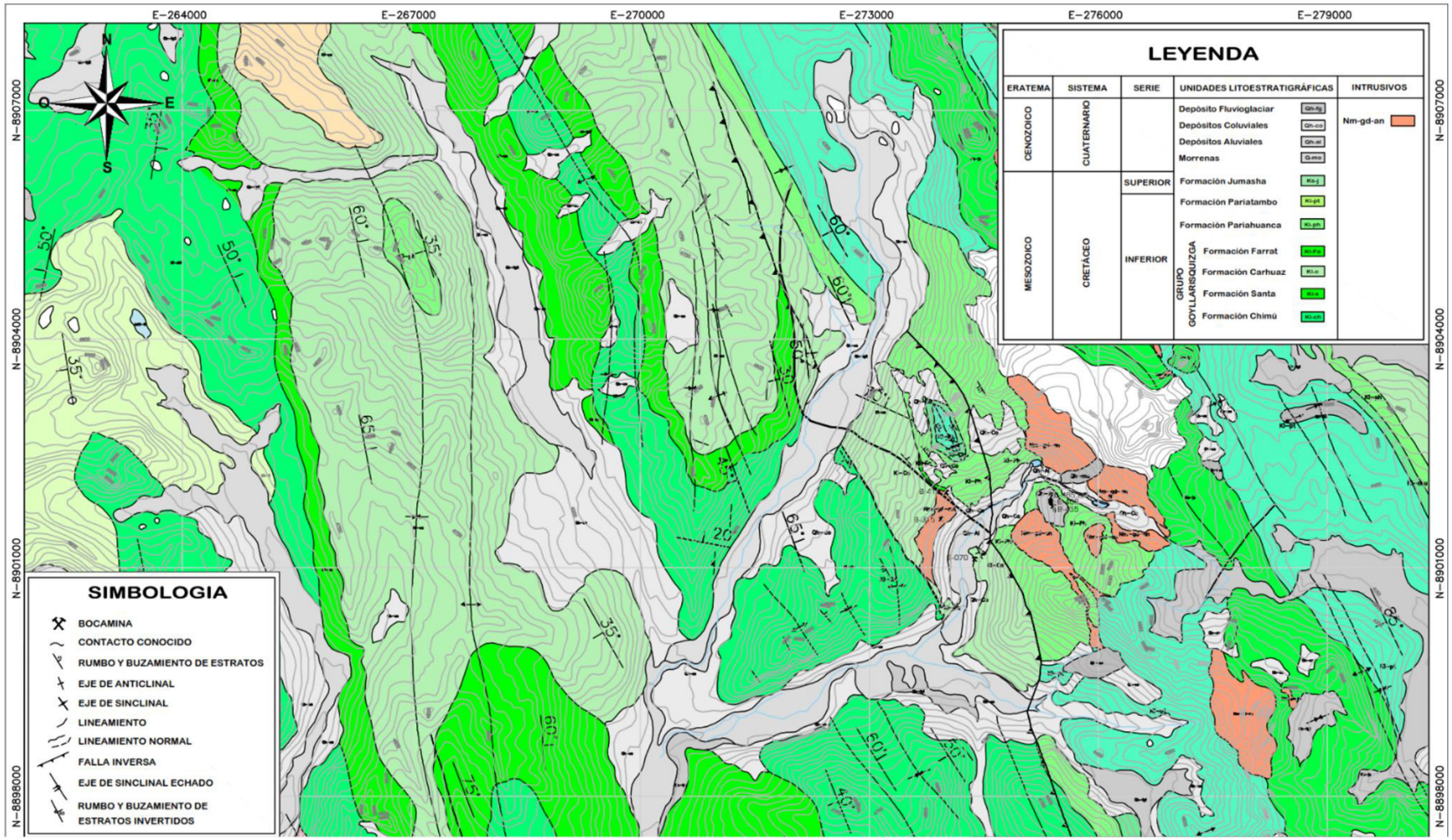
4.5.9. Rocas Intrusivas

Estos afloramientos intrusivos se extienden en la zona sureste del plano geológico regional (plano EGL-P01). Pertenecen a la Super Unidad Antamina (INGEMMET, Mapa Geológico de Recuay 20-i2, escala 1:50 000). La litología consiste en rocas félsicas granodioríticas y andesíticas, y se encuentran cortando las formaciones sedimentarias cretácicas aflorantes.

4.6. SECCIONES GEOLÓGICAS REGIONALES

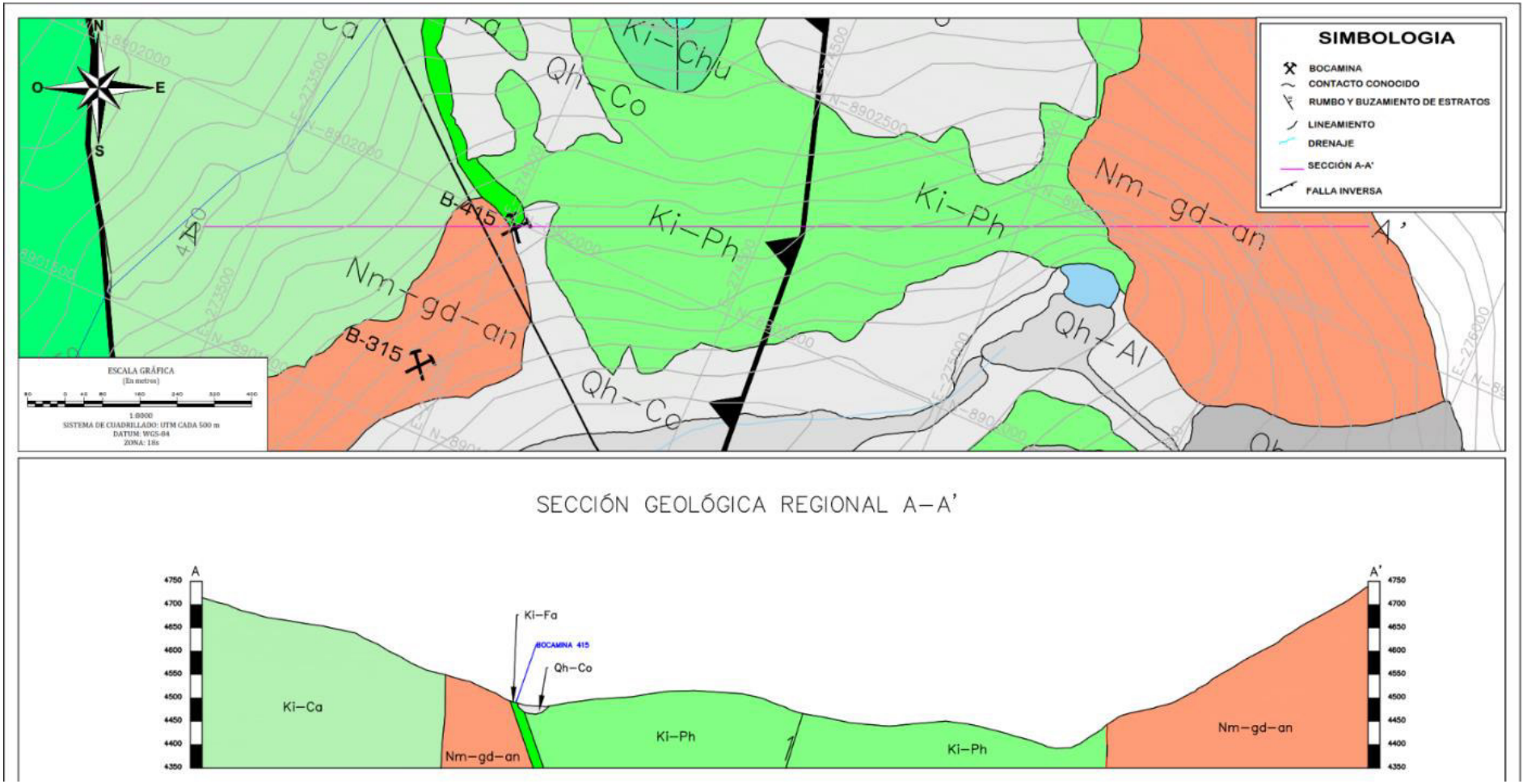
Se realizaron 3 secciones geológicas regionales en base al plano geológico regional realizado. Estas secciones fueron trazadas estratégicamente para poder observar las formaciones y estructuras presentes en el área de estudio, y a su vez, visualizar la ubicación de las bocaminas en la misma sección (bocaminas 415, 315, 460 y 070).

Figura 6 Geología Regional del área de estudio



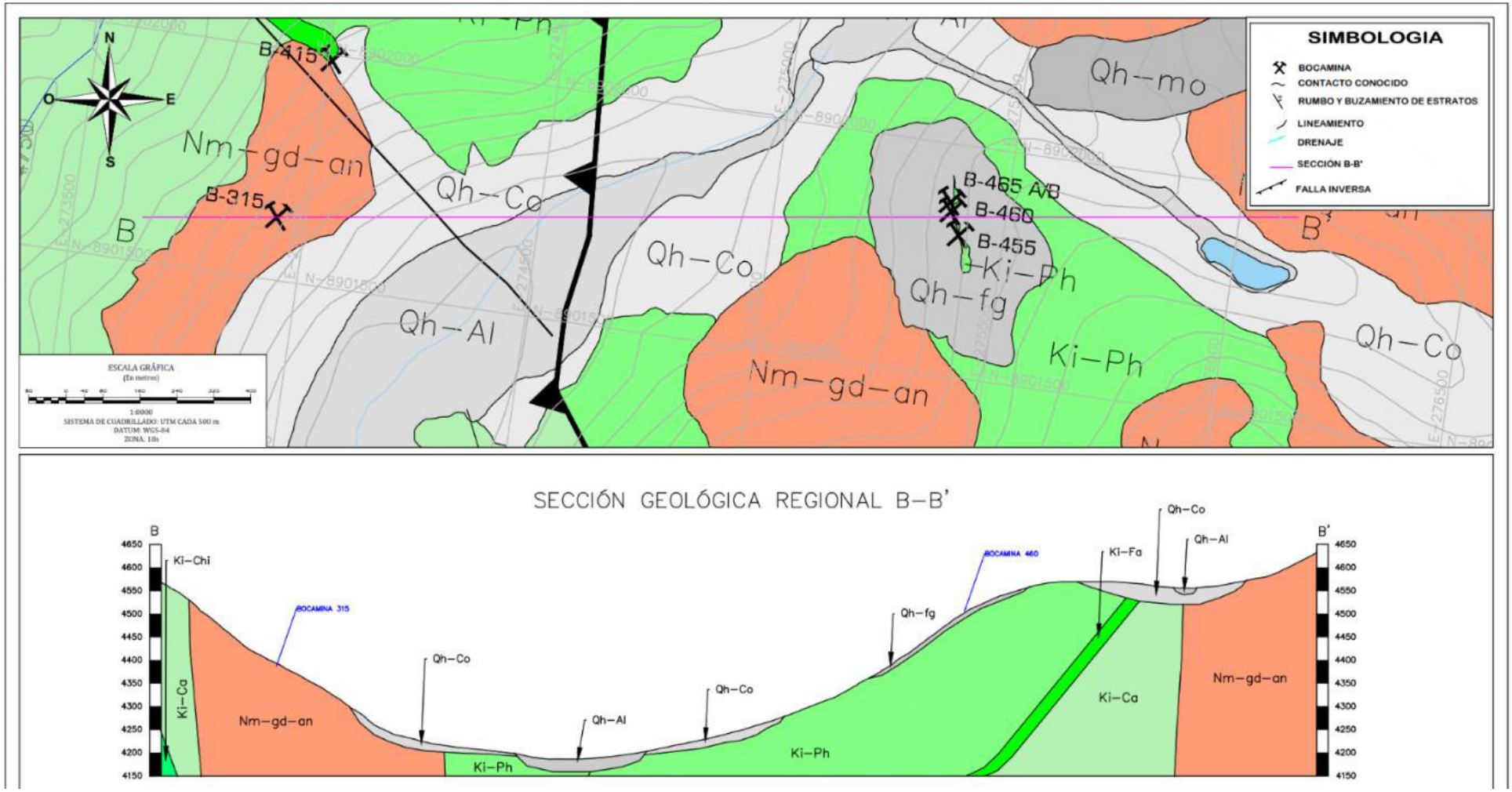
Fuente: Ingemmet y propia.

Figura 7 Sección Geológica Regional A-A'



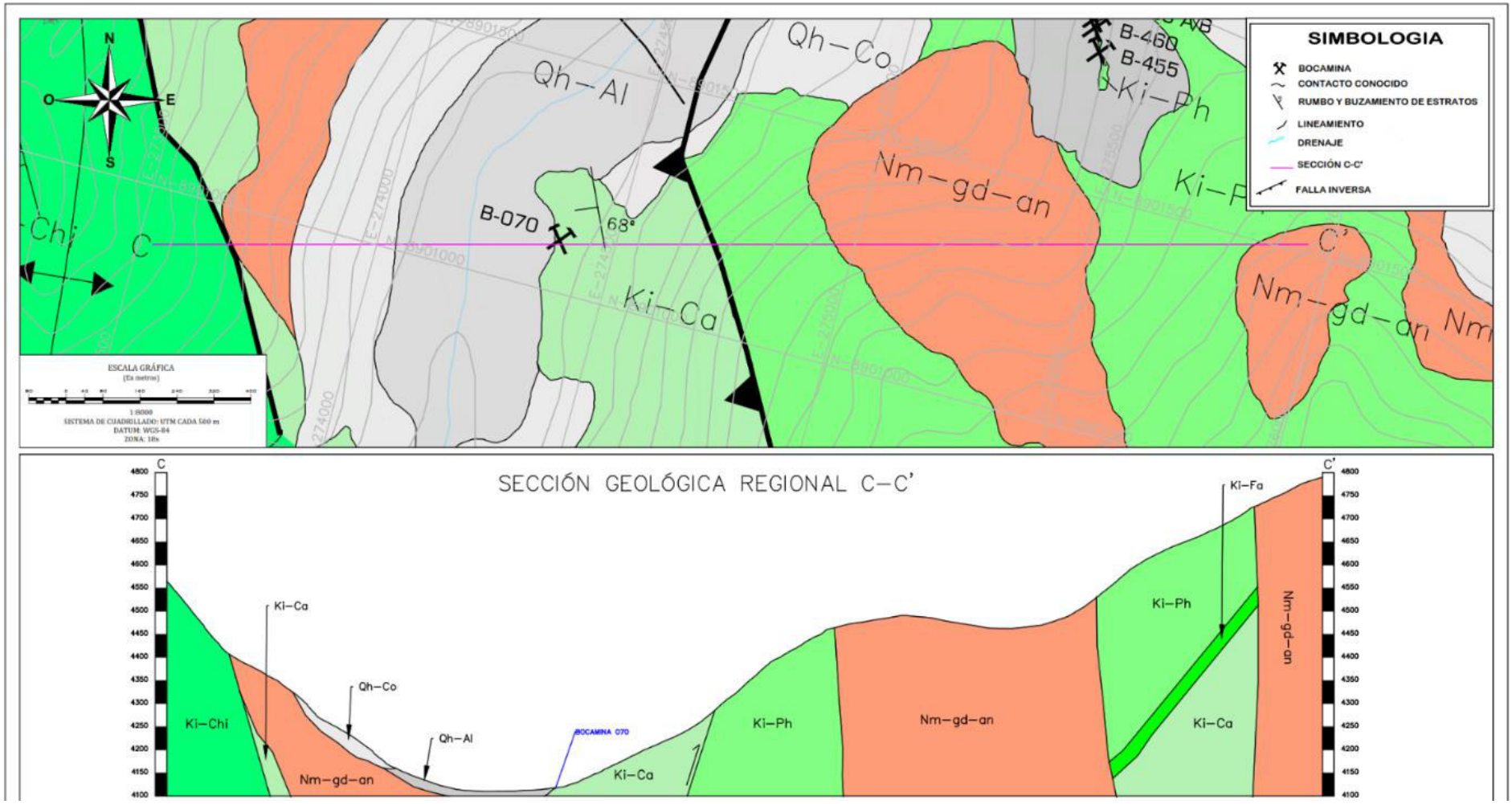
Fuente: Elaboración propia

Figura 8 Sección Geológica Regional B-B'



Fuente: Elaboración propia.

Figura 9 Sección Geológica Regional C-C'



Fuente: Elaboración propia.

4.6.1. Sección Geológica Regional A-A’

En la sección geológica A-A’ se delimitan 3 formaciones geológicas, las cuales son la formación Carhuaz, formación Farrat y formación Pariahuanca. Esta sección tiene una orientación de SW-NE.

En el sector SW de la sección se encuentra la formación Carhuaz, con un buzamiento aproximado de 70°. Luego se observa que parte de esta formación hasta el contacto con la formación Farrat es cortada por la presencia de un intrusivo (Nm-gd-an), el cual pertenece a la superunidad Antamina (Mapa geológico 1:50 000, INGEMMET). En este sector, el intrusivo se compone de rocas granodioríticas. Luego se puede observar el contacto de la formación Farrat con la formación Pariahuanca. Esta zona de contacto se encuentra cubierta por depósitos cuaternarios coluviales de corta extensión. La formación Pariahuanca se encuentra afectada por una falla inversa, lo que permite que aflore en una gran extensión. Finalmente, en el sector NE se observa nuevamente la presencia del intrusivo (Nm-gd-an) intruyendo la formación Pariahuanca.

4.6.2. Sección Geológica Regional B-B’

En la sección geológica B-B’ se delimitan 4 formaciones geológicas, las cuales son la formación Chimú, formación Carhuaz, formación Farrat y formación Pariahuanca. Esta sección tiene una orientación SW-NE.

En el sector SW de la sección se encuentra la formación Chimú (no aflorante) en contacto con la formación Carhuaz debido a la presencia de una falla inferida. La formación Carhuaz aflora y es instruida por un intrusivo (Nm-gd-an). A su vez este intrusivo también afecta parte de la formación Pariahuanca. En la parte baja de la sección, la formación es afectada por una falla inversa. En esta zona se encuentra la presencia de depósitos coluviales al pie de las laderas, y depósitos aluviales en la parte más baja. Hacia el sector NE se observa la bocamina 460 (las bocaminas 455 y 465 A-B se encuentran a menos de 100 metros de esta bocamina). Esta bocamina se encuentra en la formación Pariahuanca, la cual está cubierta ligeramente por una capa de depósitos fluvioglaciares. Finalmente, se observa nuevamente la presencia del intrusivo Nm-gd-an de la superunidad Antamina afectando la formación Pariahuanca.

4.6.3. Sección Geológica Regional C-C'

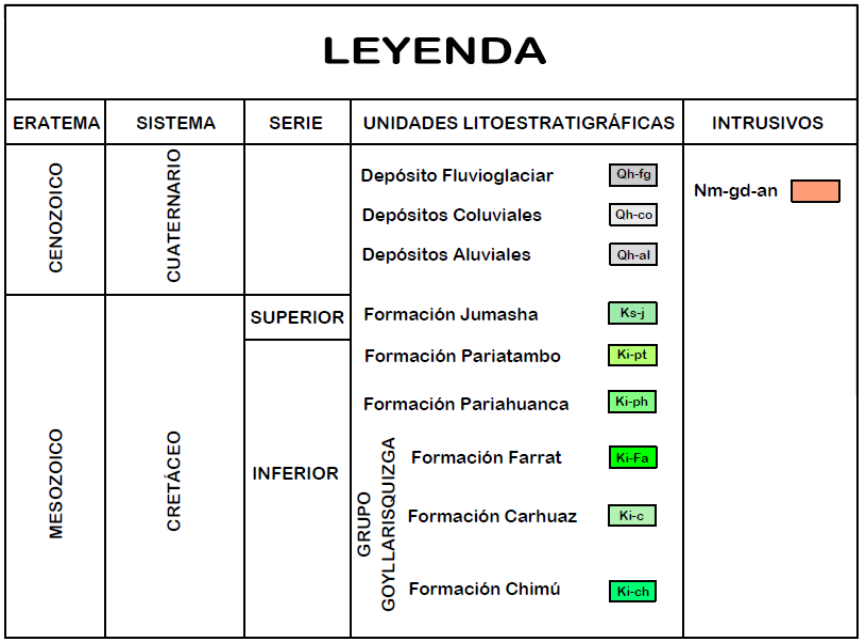
En la sección geológica C-C' se delimitan 4 formaciones geológicas, las cuales son la formación Chimú, formación Carhuaz, formación Farrat y formación Pariahuanca. Esta sección tiene una orientación SW-NE.

En el sector SW se tiene aflorando la formación Chimú, en contacto con la formación Carhuaz debido a la presencia de una falla inferida. Esta zona de contacto es afectada por el intrusivo Nm-gd-an. Sobre este mismo, se tienen depósitos cuaternarios coluviales y aluviales en la parte más baja de la quebrada. Se observa la formación Carhuaz, donde se ubica la bocamina 070. Esta formación es afectada por una falla inversa, entrando en contacto con la formación Pariahuanca. En el sector NE, esta formación es afectada por el intrusivo Nm-gd-an. Este también afecta a las formaciones Farrat y Carhuaz que infrayacen a la formación Pariahuanca, y las cuales no afloran en este sector.

4.7. GEOLOGÍA LOCAL

En la siguiente sección, se describen las características geológicas locales del área de influencia de las 7 bocaminas. Para definir el mapeo geológico local, se empleó la información brindada por el cliente, INGEMMET (para geológico a escala 1:50 000) y los datos tomados en campo. La geología local se caracteriza por principalmente, por la presencia de secuencias sedimentarias del cretáceo, tales como la formación Chimú, formación Carhuaz, formación Farrat, formación Pariahuanca, formación Pariatambo y formación Chulec. De estas secuencias, la formación Chulec y formación Farrat se detallan en el presente capítulo, a nivel local, ya que a nivel regional no son notables en el plano debido a su poco espesor. Así mismo, afloran en el área de estudio rocas intrusivas granodioríticas, correlacionables con la superunidad Antamina (INGEMMET). Finalmente, se tienen los depósitos cuaternarios, entre los cuales destacan los depósitos coluviales, aluviales y fluvioglaciares.

Figura 10 Columna Estratigráfica Local de la zona de estudio

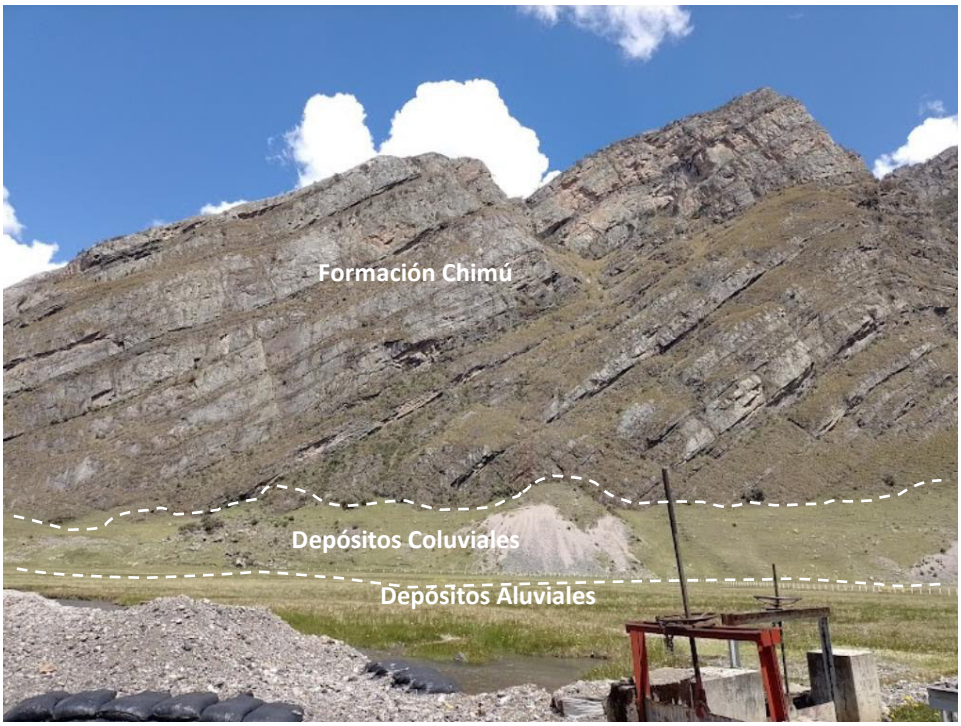


Fuente: Ingemmet y propia.

4.7.1. Formación Chimú

La formación Chimú aflora siguiendo el rumbo andino (NO-SE), en una pequeña porción al suroeste del mapa geológico local. Esta formación se encuentra formando anticlinales y sinclinales, hasta el contacto con la formación Carhuaz debido a un fallamiento inverso. Los afloramientos constituyen estratos de arenisca blanca y maciza, con potencias de entre 2 y 3m. Estos afloramientos tienen una morfología con una pendiente moderada a alta, donde se observan los estratos blanquecinos que son más resistentes a la erosión. Hacia el tope de la secuencia se observa un cambio de coloración tornándose rojizo y dando paso a la formación Carhuaz.

Figura 11 Afloramiento de la formación Chimú



Fuente: Elaboración propia.

Se observan las areniscas blanquecinas y resistentes a la erosión de la formación Chimú, formando estratos con espesores de entre 2 a 3m.

4.7.2. Formación Carhuaz

Esta formación aflora en dirección andina (NO-SE) en gran parte mapa geológico local. Esta formación se encuentra sobreyaciendo a la formación Chimú debido a un fallamiento inverso, e infrayaciendo a la formación Pariahuanca de manera concordante y por fallamiento inverso en el sector sureste del mapa. En este sector, esta formación está conformada principalmente por estratos de limolitas, areniscas ferruginosas y algunos estratos de areniscas cuarzosas y calizas con potencias que van desde los 30cm hasta 1m de espesor. Las limoarcillitas son de color gris verdoso, mientras que las areniscas ferruginosas son de color rojizo. Los estratos de arenisca cuarzosa son de color gris blanquecino y se intercalan con las limolitas y areniscas ferruginosas Se destaca la presencia de minerales como pirita y calcopirita en las diaclasas y en vetillas de las rocas de esta formación. Las calizas son de color gris muy oscura y competente a comparación de las limoarcillitas; además presentas fractura concoidea. En la entrada de la bocamina 0-70 en el sector de Sinchi Roca, se observa el cambio litológico, donde hay un cambio de limoarcillitas a calizas.

Figura 12 Afloramiento de la formación Carhuaz



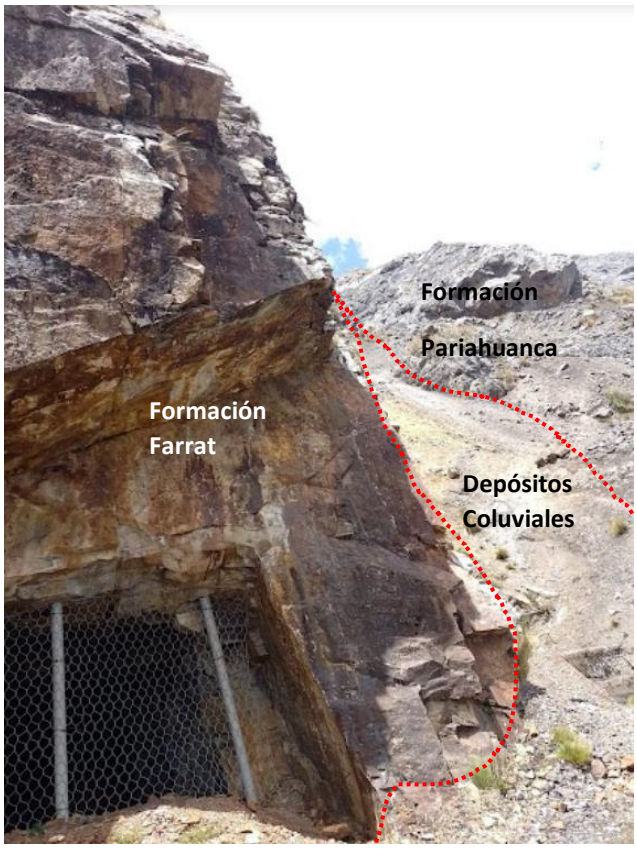
Fuente: Elaboración propia.

Alrededores de la bocamina 0-70, en el sector de Sinchi Roca. Se observan limolitas y estratos de caliza, con espesores de entre 30 cm y 1m, pertenecientes a la formación Carhuaz.

4.7.3. Formación Farrat

Esta formación aflora en el área de estudio de manera local. Es concordante sobre la formación Carhuaz, e infrayace de manera concordante a la formación Pariahuanca. En este sector, la formación Farrat tiene un espesor de entre 20 a 35 metros; es por ello que no se permite su representación en el plano geológico regional del área de estudio, donde se consideró como parte de la formación Carhuaz. La formación se observó entre los contactos de la formación Carhuaz y Pariahuanca, en el sector de Arabia donde se ubica la bocamina 415. En este sector, la formación se reconoció por presentar afloramientos de arenisca cuarzosa blanquecina y cuarcitas, debido a un metamorfismo de contacto debido a un intrusivo granodiorítico.

Figura 13 Afloramiento de la formación Farrat



Fuente: Elaboración propia.

La bocamina 415 ubicada en la zona de Arabia, se encuentra en las areniscas cuarzosas y cuarcitas de la formación Farrat. Sobreyaciendo esta formación, se observan las calizas de la formación Pariahuanca, las cuales también sufrieron cierto grado de metamorfismo debido a la presencia de un intrusivo.

4.7.4. Formación Pariahuanca

Esta formación aflora en el área de estudio de manera local y es una de las más predominantes. Se observa en el sector de Arabia, sobreyaciendo a la formación Farrat, y en el sector sureste del mapa local, sobreyaciendo la formación Carhuaz. Así mismo, se encuentra afectado por un sistema de fallas inverso regional. Se encuentra conformada por calizas gris claras y azulinas, con potencias que van desde los 30cm hasta los 2m. Esta formación, al igual que la formación Carhuaz, se encuentra cortado por brechas y rocas intrusivas granodioríticas, generando de este modo la presencia de caliza metamorfizada con cristales de calcita de hasta 5mm, hornfels y Skarn. En el sector de Arabia, en un afloramiento cercano a la Fm Farrat y la bocamina 415, se encuentra presencia de sulfuros como pirita y calcopirita en las fracturas de la caliza metamorfizada. Así mismo, en el sector Riqueza, las bocaminas 465 A-B, 460 y 455 se ubican en el macizo rocoso de esta formación. Cerca a estas bocaminas, no observa la presencia del intrusivo, pero se observan abundantes vetillas de pirita, calcita, y en menor medida, cuarzo.

Figura 14 Afloramiento de la formación Pariahuanca en el sector Riqueza



Fuente: Elaboración propia.

Se observa en la imagen la entrada a las bocaminas 465 A-B, las cuales se encuentran en las calizas de la formación Pariahuanca. Del lado derecho, un poco más alejado en esta misma formación, se encuentran las bocaminas 460 y 455.

4.7.5. Formación Chulec

Esta formación descansa concordante sobre la Formación Pariahuanca. Se encuentra aflorando en el sector noroeste del plano geológico local, formando parte de un sinclinal en uno de los puntos más elevados del sector. La formación se encuentra conformada por margas marrón oscuro y calizas macizas con estratos de 1m metro de espesor. Esta formación tiene un espesor de entre 50 a 80 metros en el área de estudio, por lo que no es cartografiable en el plano geológico regional (se le consideró como parte de la formación Pariahuanca).

4.7.6. Formación Pariatambo

Esta formación descansa concordante sobre la Formación Chulec en el área de estudio local. Aflora formando un núcleo de anticlinal en el sector noroeste del plano geológico local. Está conformada por margas marrón escuras, y estratos de caliza marrón.

4.7.7. Rocas intrusivas

La zona de estudio a nivel local se encuentra afectada por intrusiones de roca félsica granodiorítica, tal como se puede observar en el plano geológico local. Son estas intrusiones los responsables del metamorfismo y mineralización presente en las rocas de las formaciones Carhuaz en el sector Sinchi Roca, Farrat y Pariahuanca en los sectores Arabia y Riqueza. Estos intrusivos son correlacionables con la Super Unidad Antamina (INGEMMET, Mapa Geológico de Recuay 20-i2, escala 1:50 000). Litológicamente, presenta rocas granodioríticas de color gris blanquecino y rosáceo, con cristales de grano grueso de cuarzo, plagioclasa y ferromagnesianos. Es sobre esta litología donde se ubica la bocamina 315 en el sector de arabia. En esta zona, la roca intrusiva se encuentra fuertemente alterada debido al intemperismo, y diaclasada, generando caída de rocas en ciertos sectores.

Figura 15 Afloramiento de Roca Intrusiva granodiorítica en el Sector Arabia



Fuente: Elaboración propia.

Se observa en la imagen el afloramiento de roca intrusiva granodiorítica, con visible alteración por el intemperismo en el sector de Arabia. A su vez, este intrusivo en su contacto con la formación Pariahuanca, generó una zona de metamorfismo de contacto.

4.7.8. Depósitos fluvioglaciares

Estos depósitos se extienden cubriendo a la formación Pariahuanca en el sector Riqueza principalmente. Está conformado por capas de suelos limos arenosos, clastos angulosos y subangulosos de distintas litologías y suelo orgánico cubierto por vegetación. Estos depósitos tienen espesores desde unos 30 centímetros en su contacto con la roca, y pueden llegar hasta algunos metros. La pendiente de esta geoforma es baja a moderada.

4.7.9. Depósitos Aluviales

Estos depósitos se extienden por la parte más baja de la quebrada, desde las lagunas el Burro, el Burrito y siguiendo el drenaje en el valle. Se caracteriza por la presencia de humedales y zonas pantanosas en la zona suroeste del mapa geológico local donde abarca su mayor extensión.

4.7.10. Depósitos Coluviales

Estos depósitos se extienden cubriendo las partes bajas de las laderas de las montañas, y en la parte media de algunas de estas. Se conforman de clastos angulosos a subangulosos, provenientes de las partes más altas. En algunas zonas, se componen de clastos de grano fino limo-arcillosos, que caen desde la parte más alta de los afloramientos rocosos, viéndose de color rojizo o blanquecino. En zonas donde es propensa la caída de rocas, los clastos tienden a medir varios centímetros y son de distintas litologías.

4.8. SECCIONES GEOLÓGICAS LOCALES

Se realizaron 7 secciones geológicas locales en base al plano geológico local realizado. Estas secciones fueron trazadas estratégicamente para poder observar las formaciones y estructuras presentes de manera local en el área de estudio, y a su vez, visualizar la ubicación de las 7 bocaminas de interés (Bocamina 070, 315, 415, 455, 460, 465 A-B).

4.8.1. Sección geológica local A-A’

En la sección geológica A-A’ se delimitan 3 formaciones geológicas, las cuales son la formación Carhuaz, formación Farrat y formación Pariahuanca. Esta sección tiene una orientación de SW-NE.

En el sector SW de la sección se encuentra la parte más baja de la sección, en la cual se observan depósitos coluviales cubriendo parte de la formación Pariahuanca. Sobre esta formación se ubica la bocamina 465 A y B. En este sector, parte de la formación Pariahuanca se encuentra cubierto por depósitos fluvioglaciares. Finalmente, en el sector NE se observan depósitos coluviales rellenando una pequeña depresión.

4.8.2. Sección geológica local B-B’

En la sección geológica B-B’ se delimitan 3 formaciones geológicas, las cuales son la formación Carhuaz, formación Farrat y formación Pariahuanca. Esta sección tiene una orientación de SW-NE.

La sección es similar a la sección A-A’, debido a que se trazó en la misma dirección, pero esta vez sobre la bocamina 460. En el sector SW de la sección se encuentra la parte más baja de la sección, en la cual se observan depósitos coluviales cubriendo parte de la formación Pariahuanca. Sobre esta formación se ubica la bocamina 460. En este sector, parte de la formación Pariahuanca se encuentra cubierto por depósitos fluvioglaciares. Finalmente, en el sector NE se observan depósitos coluviales rellenando una pequeña depresión.

4.8.3. Sección geológica local C-C’

En la sección geológica C-C’ se delimitan 3 formaciones geológicas, las cuales son la formación Carhuaz, formación Farrat y formación Pariahuanca. Esta sección tiene una orientación de SW-NE.

En el sector SW de la sección se encuentra la parte más baja de la sección, en la cual se observa al intrusivo Nm-gd-an intruyendo a la formación Pariahuanca. Luego, sobre esta formación se ubica la bocamina 455. En este sector, parte de la formación Pariahuanca se encuentra cubierto por depósitos fluvioglaciares. Finalmente, en el sector NE se observan depósitos coluviales rellenando una pequeña depresión.

4.8.4. Sección geológica local D-D’

En la sección geológica D-D’ se delimitan 3 formaciones geológicas, las cuales son la formación Carhuaz, formación Farrat y formación Pariahuanca. Esta sección tiene una orientación de SW-NE.

En el sector SW de la sección se encuentra la parte más baja de la sección, en la cual se observa al intrusivo Nm-gd-an intruyendo a la formación Pariahuanca. Luego, sobre esta formación se ubica la bocamina 455. En este sector, parte de la formación Pariahuanca se encuentra cubierto por depósitos fluvioglaciares. Finalmente, en el sector NE se observan depósitos coluviales rellenando una pequeña depresión, en la cual se encuentra el intrusivo Nm-gd-an cortando a la formación Pariahuanca.

4.8.5. Sección geológica local E-E’

En la sección geológica E-E’ se delimitan 3 formaciones geológicas, las cuales son la formación Carhuaz, formación Farrat y formación Pariahuanca. Esta sección tiene una orientación de SW-NE.

En el sector SW se observa la formación Carhuaz, siendo afectada por el intrusivo Nm-gd-an en la zona de contacto con la formación Farrat, también aflorante. Es en este sector donde se ubica a la bocamina 415. En contacto con la formación Farrat y cerca a la bocamina, se encuentra la formación Pariahuanca. En este contacto se observan depósitos cuaternarios coluviales.

4.8.6. Sección geológica local F-F’

En la sección geológica F-F’ se delimita 1 formación geológica, la formación Pariahuanca. Esta sección tiene una orientación de SW-NE.

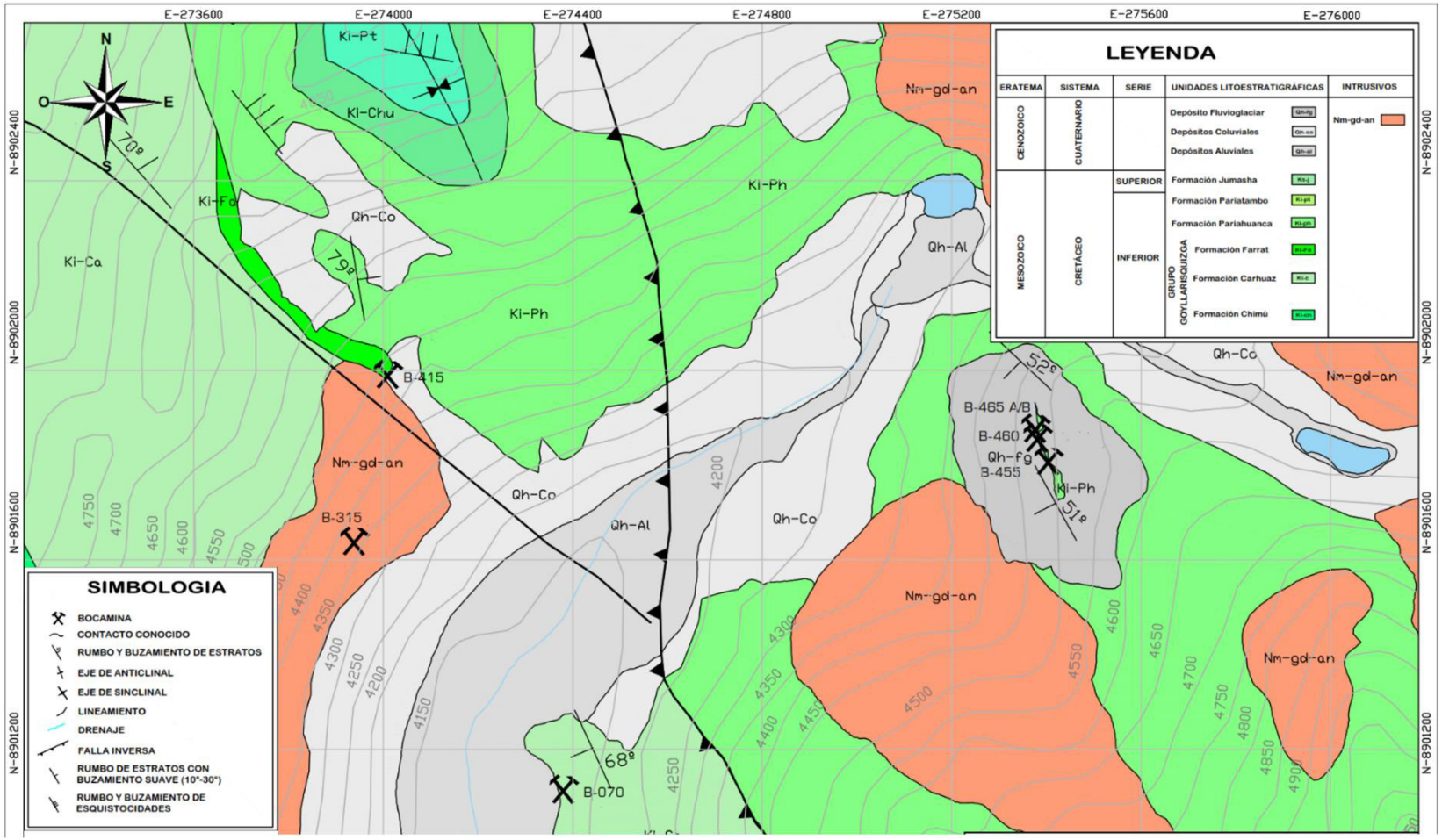
En el sector SW se observa el intrusivo Nm-gd-an aflorando. Es en este sector donde se ubica a la bocamina 315. Este intrusivo llega en contacto con la formación Pariahuanca la cual se extiende por todo el sector NE. Sobre esta zona de contacto, se observa la presencia de depósitos cuaternarios coluviales.

4.8.7. Sección geológica local G-G’

En la sección geológica G-G’ se delimitan 2 formaciones geológicas, las cuales son la formación Carhuaz y formación Pariahuanca. Esta sección tiene una orientación de SW-NE.

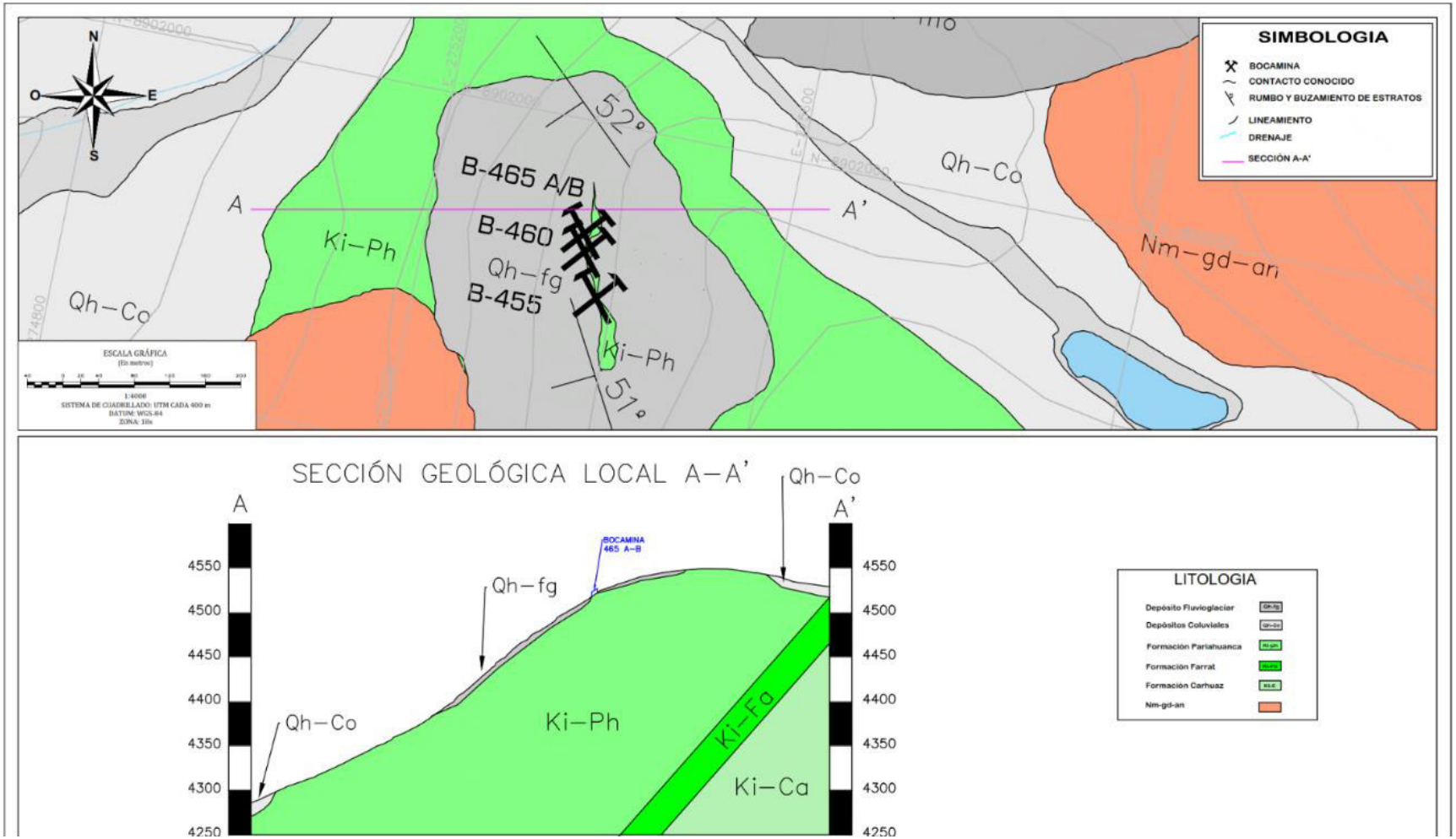
En el sector SW se observan depósitos aluviales. Estos cubren parte de la formación Carhuaz. Es en este punto, cerca al contacto en la superficie entre aluviales, en la formación Carhuaz, donde se ubica la bocamina 070. En el sector NE, la formación Carhuaz es afectada por una falla inversa, entrando en contacto con la formación Pariahuanca.

Figura 16 Geología Local del área de estudio



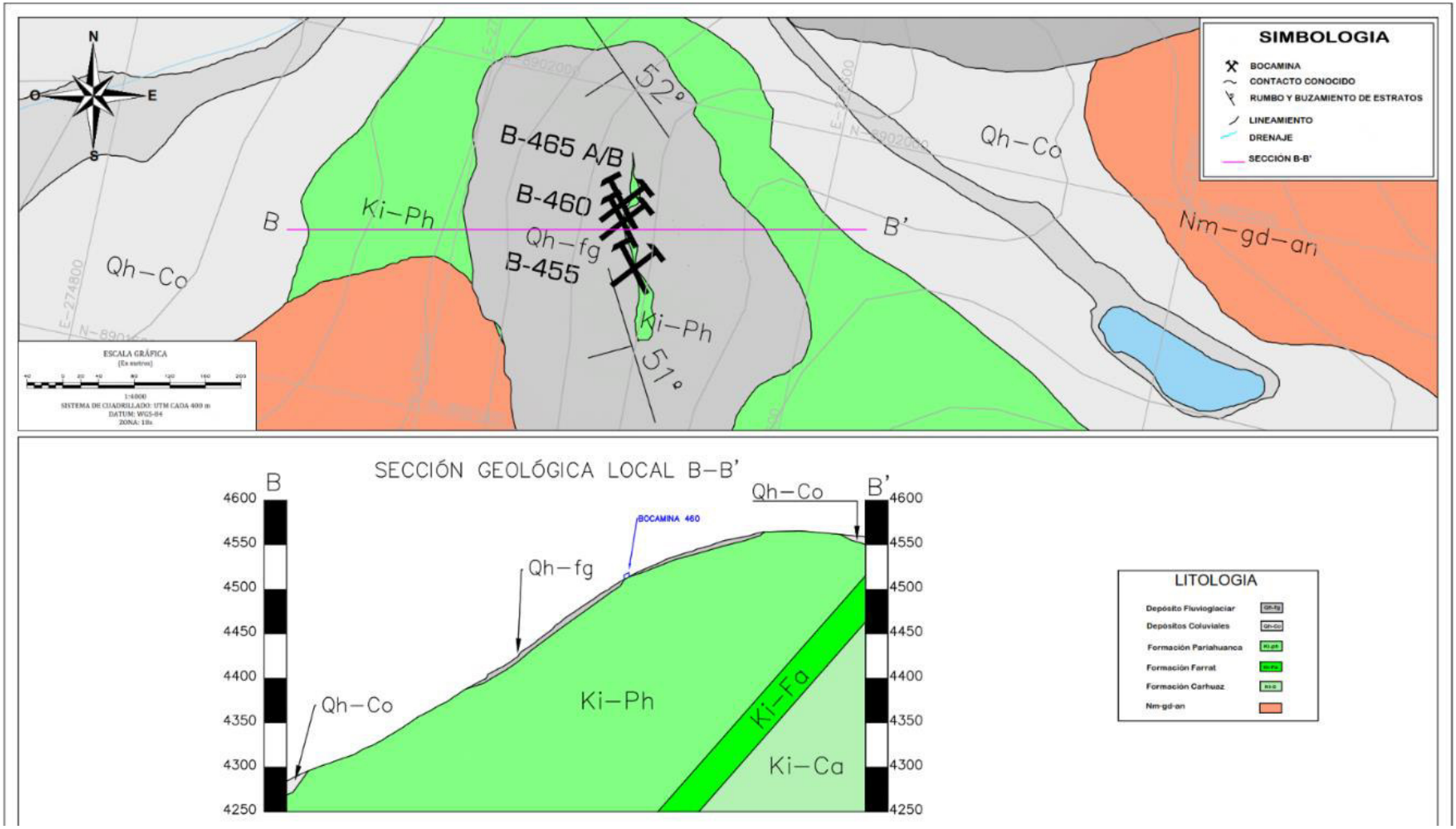
Fuente: Ingemmet y propia.

Figura 17 Sección Geológica Local A-A'



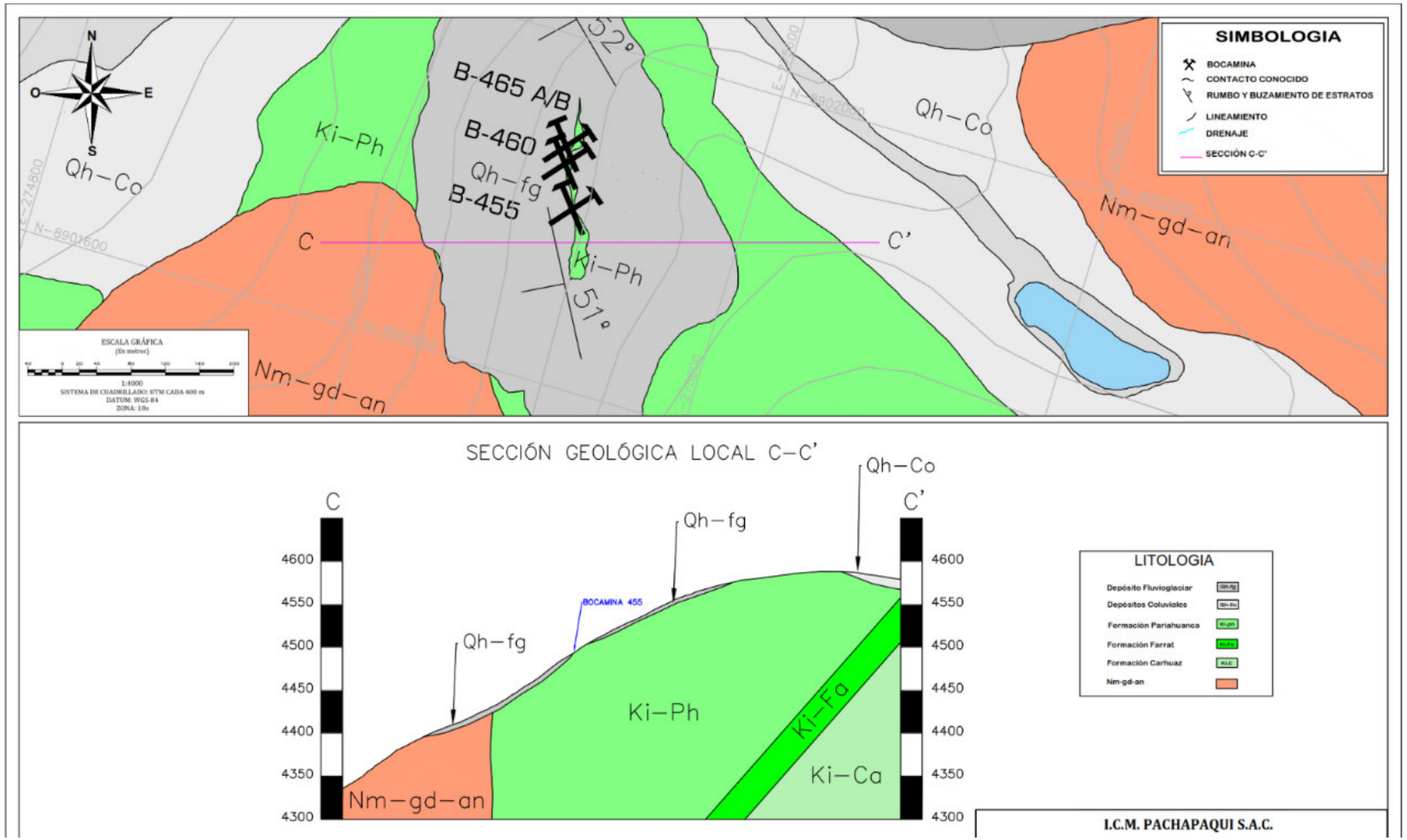
Fuente: Elaboración propia

Figura 18 Sección Geológica Local B-B'



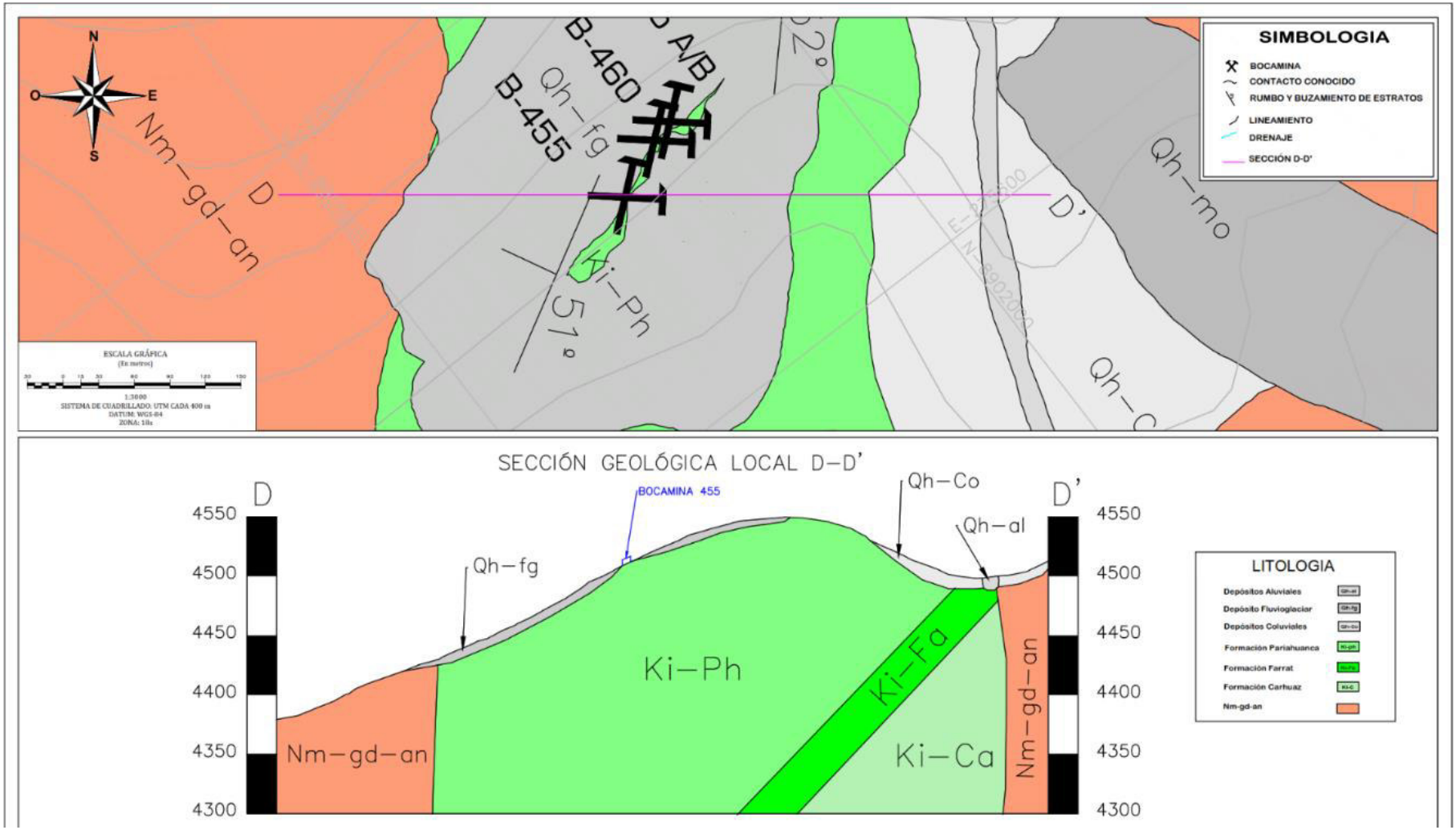
Fuente: Elaboración propia

Figura 19 Sección Geológica Local C-C'



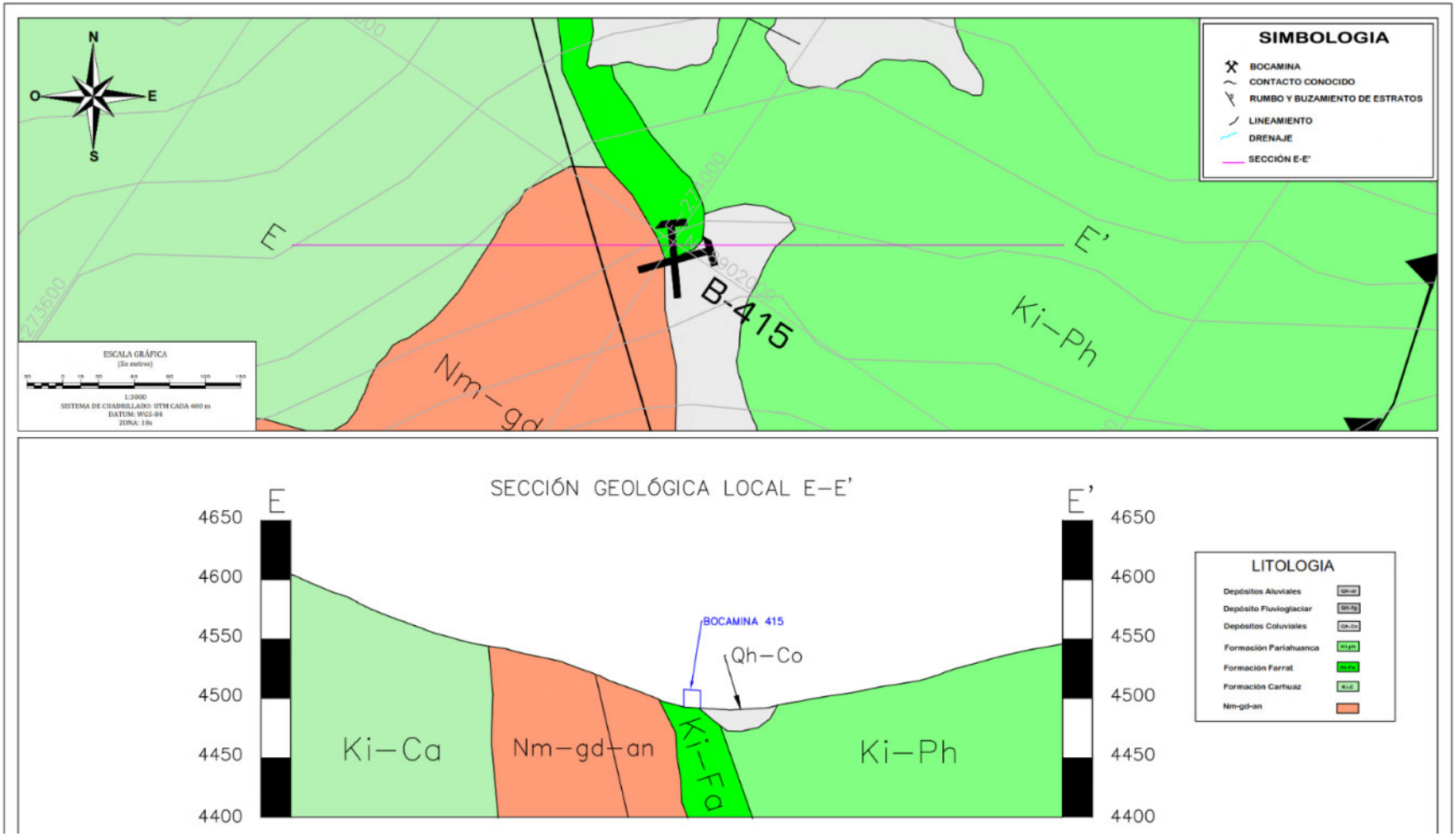
Fuente: Elaboración propia

Figura 20 Sección Geológica Local D-D'



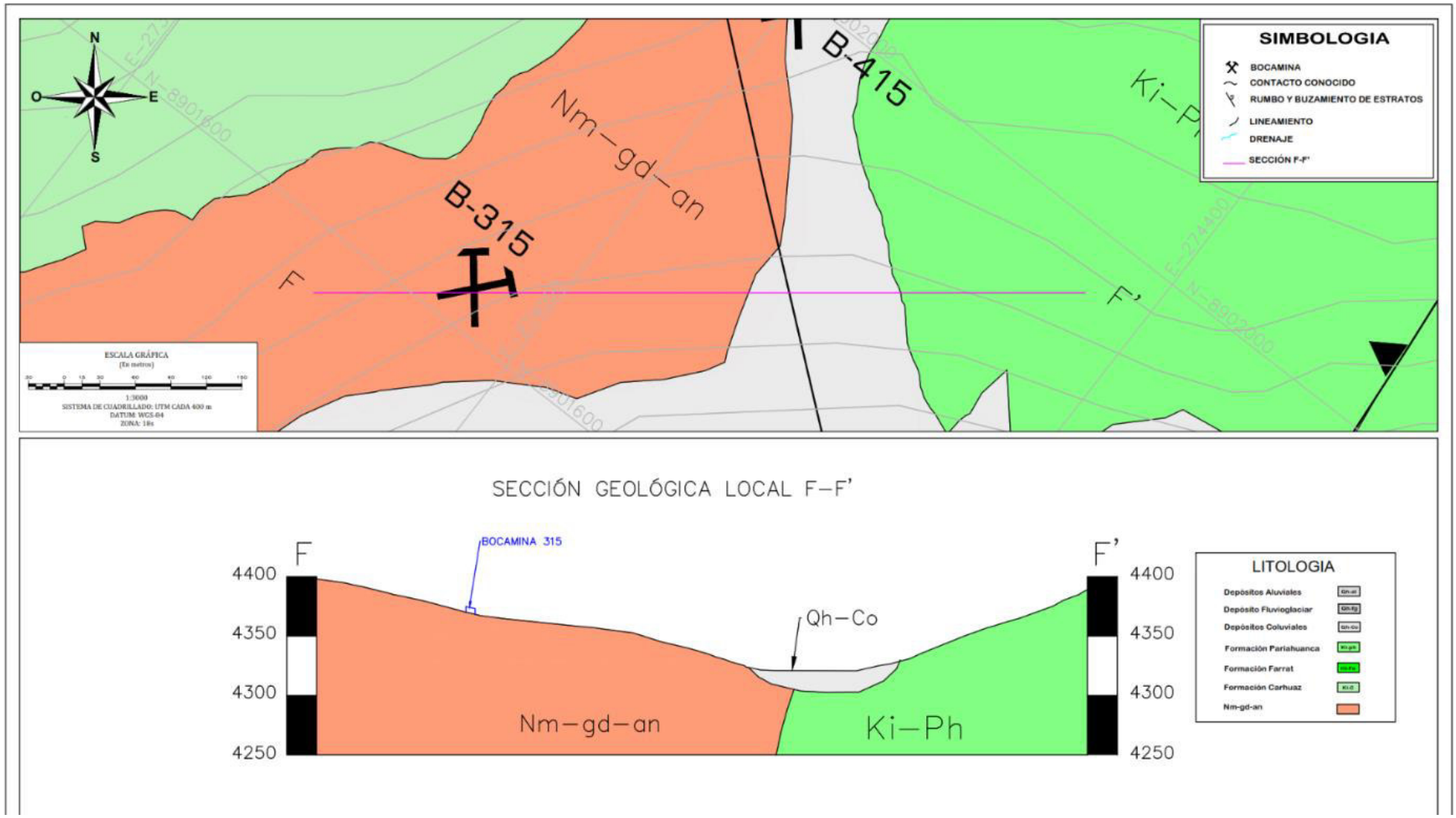
Fuente: Elaboración propia

Figura 21 Sección Geológica Local E-E'



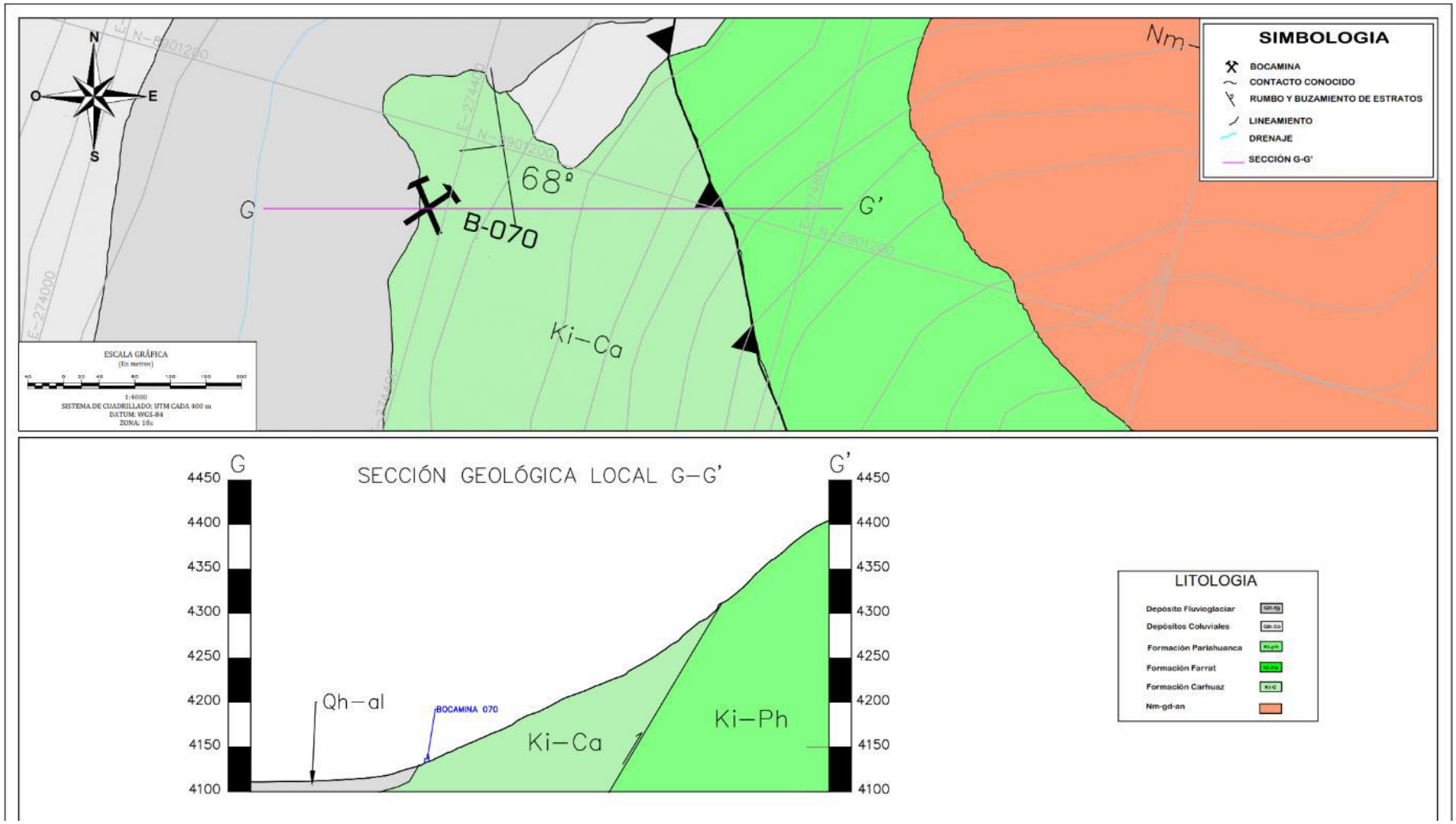
Fuente: Elaboración propia

Figura 22 Sección Geológica Local F-F'



Fuente: Elaboración propia

Figura 23 Sección Geológica Local G-G'



Fuente: Elaboración propia

4.9. GEOLOGÍA LOCAL PARA CADA BOCAMINA

En el presente capítulo, se procede a detallar la geología local de la zona de estudio, sin embargo, el tema de presencia de drenaje ácido se da principalmente en las bocaminas que se encuentran dentro del proceso del plan de cierre de minas de la unidad minera Pachapaqui, por ello con el propósito de tener conocimientos sobre las características geológicas, geomorfológicas y geodinámicas principalmente en la zona donde hay mayor afectación, se realiza el mapeo geológico e hidrogeológico a mayor detalle.

Por ello se presentará a continuación una descripción más local de las 7 bocaminas en proceso de plan de cierre de la Unidad minera Pachapaqui.

4.9.1. Sector Riqueza

- ✓ **BOCAMINA 455**

La bocamina 455 pertenece al sector Riqueza, junto a las bocaminas 460, 465 A y 465 B. Espacialmente, estas bocaminas se encuentran ubicadas en un radio de 100 metros aproximadamente. Las coordenadas UTM de esta bocamina son E: 275403 y N: 8901804, con una altitud de 4504 msnm.

Esta bocamina se ubica geológicamente en la Formación Pariahuanca. Se observa la presencia de calizas grises y azulinas, las cuales efervecen intensamente con ácido clorhídrico. Los estratos de calizas tienen espesores de entre 30 cm a 2m en algunos puntos y es notoria la presencia de vetillas de calcita y pirita. Así mismo, se observa pirita diseminada entre los planos de diaclasas. Los planos de diaclasas y estratificación fueron erosionados y meteorizados por la acción de las aguas, de manera que estos planos se encuentran rellenos con sedimentos y vegetación en algunos puntos, lo que genera filtración de agua. Así mismo, sobre las rocas de la formación Pariahuanca, se encuentran los depósitos fluvioglaciares, con espesores de entre 30cm a 1 metro. Se conforma de sedimentos limo-arenosos, clastos heterogéneos y cubierta vegetal. El contacto entre estos depósitos y la formación rocosa es visible sobre la entrada de la bocamina, y esta zona es propensa a filtraciones de agua.

Figura 24 Geología Local de la Bocamina 455



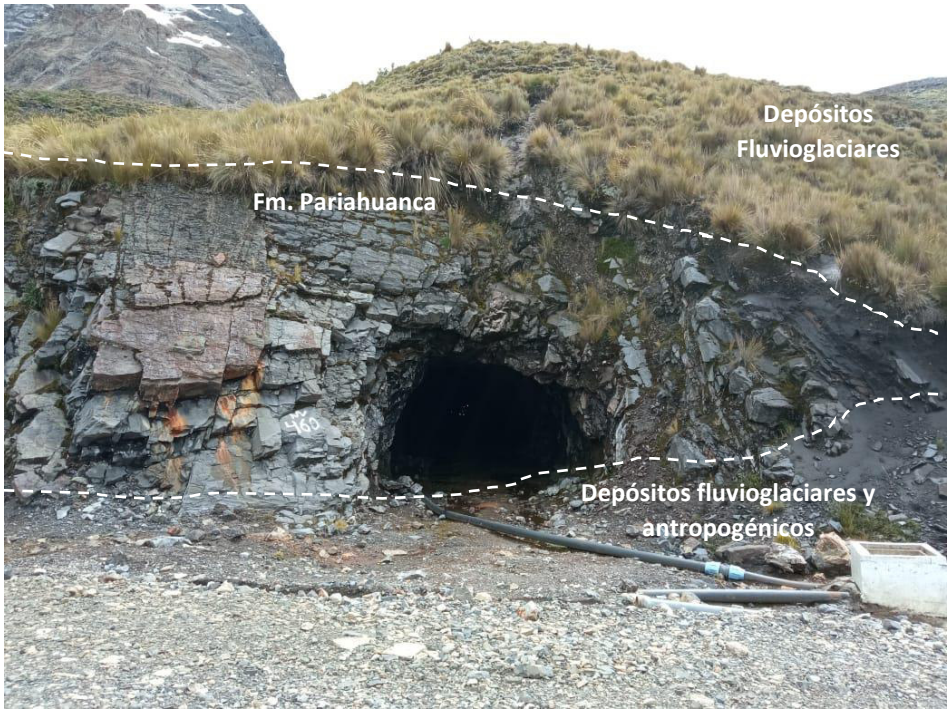
Fuente: Elaboración propia.

- ✓ **BOCAMINA 460**

La bocamina 460 pertenece al sector Riqueza, junto a las bocaminas 455, 465 A y 465 B. Se ubica a 50 m aproximadamente de la bocamina 455, y 25 m aproximadamente de las bocaminas 465 A y B. Las coordenadas UTM de esta bocamina son E: 275381 y N: 8901852, con una altitud de 4515 msnm.

Ubicada a 50m aprox. de la bocamina 455, presenta características similares. Se ubica geológicamente en la formación Pariahuanca, con presencia de estratos de caliza con espesores de entre 30cm a 1m. La caliza efervece con el ácido clorhídrico. También es notoria la presenta de vetillas de calcita y pirita en mayor medida, así como pirita diseminada en los planos de diaclasas. Igual que el caso anterior, se observa erosión y meteorización de las calizas, principalmente en las zonas de debilidad (diaclasas y planos de estratificación), generando que se rellene con sedimentos e incluso vegetación. Estas zonas son propensas a generar filtración de agua. Por otro lado, también se observan los depósitos fluvioglaciares con cobertura vegetal, el contacto de estos depósitos con las calizas es visible sobre la entrada de la bocamina, y este es otro punto donde se puede generar la infiltración de agua hacia la entrada.

Figura 25 Geología Local de la Bocamina 460



Fuente: Elaboración propia.

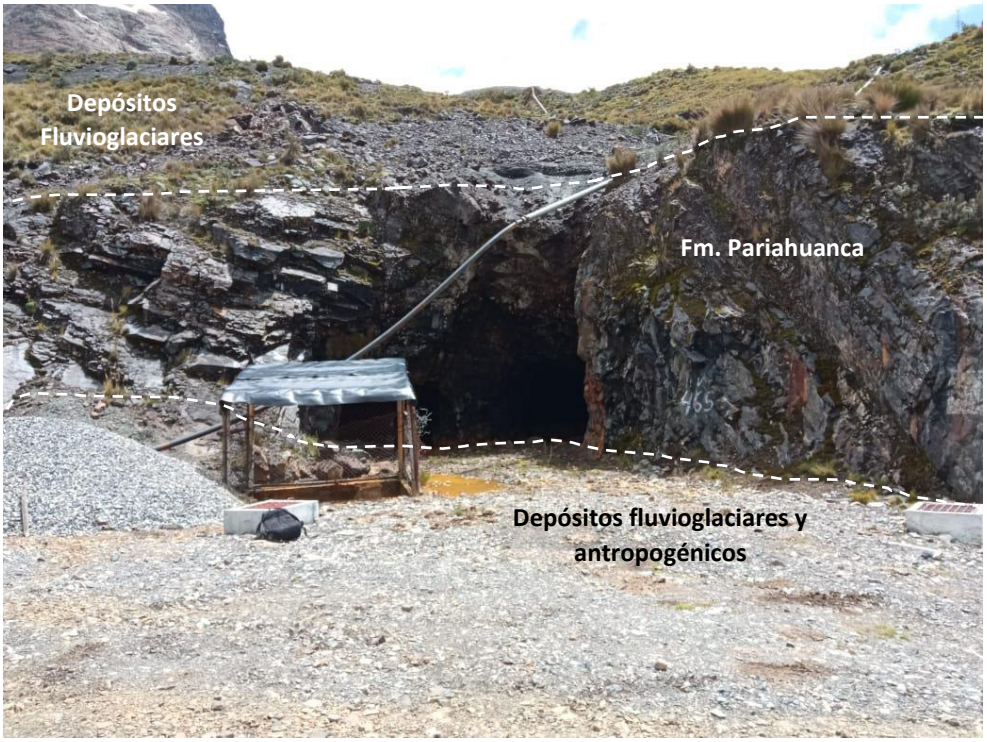
- ✓ **BOCAMINA 465 A-B**

La bocamina 465 A y 465 B pertenecen al sector Riqueza, junto a las bocaminas 455 y 460. Se caracterizan por tener sus entradas una al lado de otra (con 1m aproximado de separación), donde prácticamente sus entradas coindicen espacialmente. Se ubica a 75 m aproximadamente de la bocamina 455, y a 25 m aproximadamente de la bocamina 460. Las coordenadas UTM de esta bocamina son E: 275376 y N: 8901874, con una altitud de 4509 msnm.

Las bocaminas 465 A y 465 B se encuentra relativamente cerca de la bocamina 460. Al igual que las anteriores (bocamina 460 y 455), geológicamente se encuentra en el macizo rocoso de la formación Pariahuanca, compuesta de estratos de calizas grises y azulinas. Efervece notoriamente con el ácido clorhídrico, y es notoria la presencia de vetillas y vetas de pirita y calcopirita con espesores de varios centímetros. También se observan vetillas de calcita de milímetros a un centímetro. Presenta meteorización y erosión por acción de las lluvias, y al igual que las anteriores bocaminas, generó la erosión y relleno de los planos de estratificación y diaclasas, permitiendo el relleno con sedimentos e incluso vegetación. Estas zonas de debilidad permiten la infiltración de aguas. Por otra parte, también se observan los depósitos fluvioglaciares cubriendo la formación rocosa,

con unos espesores de unos centímetros y vegetación. Este contacto entre depósitos cuaternarios y rocas es otra zona de posible infiltración de aguas hacia la entrada de las bocaminas.

Figura 26 Geología Local de la Bocamina 465 A-B



Fuente: Elaboración propia.

4.9.2. Sector Sinchi Roca

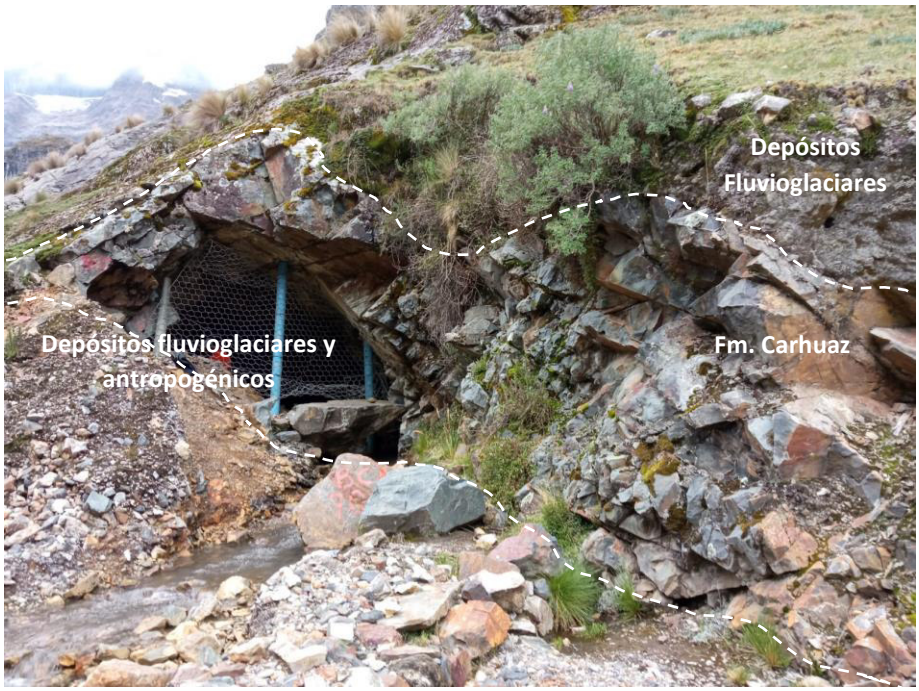
- ✓ **BOCAMINA 070**

La bocamina 070 es aquella que se encuentra a menor altitud respecto al resto de bocaminas del presente estudio. Su ubicación UTM presenta las coordenadas E: 274380 y N: 8901112, con una altitud de 4128 msnm.

Esta bocamina se ubica en la parte baja del área de estudio, cerca del valle de la quebrada. Geológicamente se ubica en la formación Carhuaz. Este sector está conformado por areniscas arcosas ferruginosas, estratos fisibles de limolitas color gris verdosa, areniscas cuarzosas de color gris claro y blanquecino, y calizas color gris oscuro aflorando en el techo y pared de la bocamina. Los estratos tienen espesores desde 20 cm en limolitas hasta 50cm en las calizas. Se observa el cambio litológico en la entrada de la bocamina, donde hay gradación de limolitas a calizas. Debido a que la entrada de la bocamina se encuentra cerca de la superficie, la roca sufrió meteorización causada por las lluvias,

agrandando los espacios entre planos de estratificación y planos de diaclasas, Así mismo, estos espacios se rellenan con sedimentos provenientes de los depósitos coluviales y fluvioglaciares que lo cubren en menor medida. En algunos puntos la vegetación crece entre estos planos de debilidad, y las raíces contribuyen al fracturamiento de la roca. Otra característica notoria es la observación de una corriente de agua que fluye desde dentro de la bocamina hacia fuera. Esta interacción agua-roca promueve la erosión y alteración del macizo rocoso circundante.

Figura 27 Geología Local de la Bocamina 070



Fuente: Elaboración propia.

4.9.3. Sector Arabia

- ✓ **BOCAMINA 415**

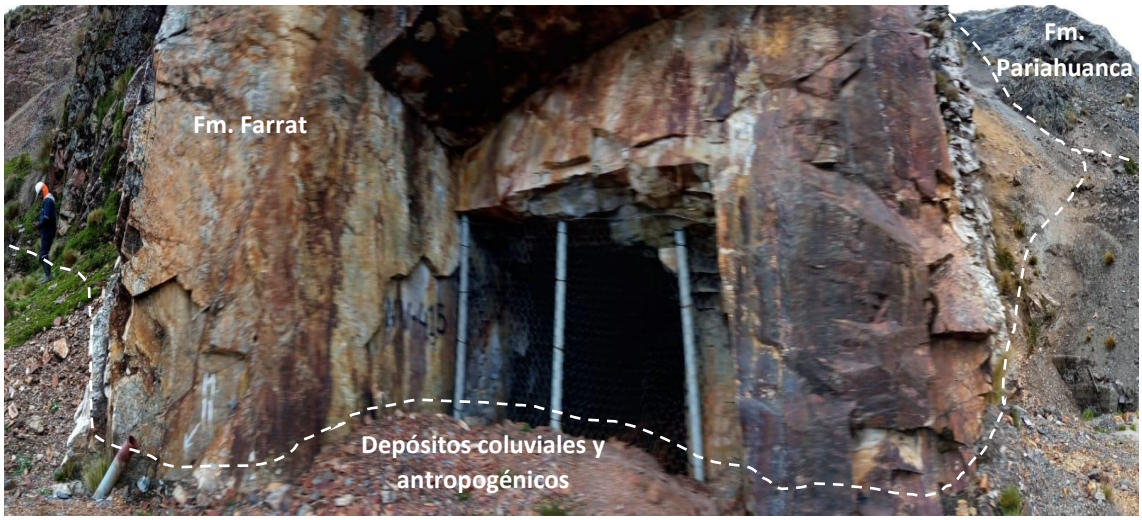
En el Sector Arabia se encuentran las bocaminas 415 y 315 para el presente estudio. La bocamina 415 es aquella que se ubica a una mayor altura, en roca competente. Las coordenadas UTM de la bocamina 415 son E: 274008 y N: 8901988, con una altura de 4469 msnm.

Geológicamente, la bocamina se encuentra en las areniscas cuarzosas y cuarcitas de la formación Farrat. Esta formación tiene entre 25 y 35 m de espesor en este sector (cercanías de la cordillera de Huayhuash, INGEMMET). Debido al metamorfismo de contacto por la presencia de un intrusivo en el lado izquierdo de la entrada a la bocamina, se encuentran cuarcitas blanquecinas en los estratos de esta formación, que pueden llegar

a tener potencias de 1 a 2m. Esta litología, al estar fracturada, se vuelve permeable siendo buena receptora de mineralización. Se encontraron vetillas de cuarzo, pirita y sulfuros. Al lado derecho de la bocamina, se tienen las calizas de la formación Pariahuanca. Al igual que la Formación Farrat, estas calizas sufrieron cierto grado de metamorfismo, obteniéndose calizas con grandes cristales de calcita y hornfels también mineralizados con vetillas de pirita, calcopirita y calcita. Finalmente, al lado izquierdo de la formación Farrat, se tiene un intrusivo granodiorítico que ha cortado a la formación Carhuaz.

Al ser una zona de contactos entre formaciones y formación-intrusivo, se observan sectores alterados debido al metamorfismo de contacto, y también convirtiéndose en una zona apta.

Figura 28 Geología Local de la Bocamina 415



Fuente: Elaboración propia.

- ✓ **BOCAMINA 315**

Espacialmente, la bocamina 315 se ubica con las siguientes coordenadas UTM: E: 273938, N: 8901635 con una altura de 4357 msnm. Esta bocamina se encuentra a menor altura que la bocamina 415, pero a diferencia de esta, se ubica en otra unidad geológica.

Geológicamente, esta bocamina se ubica en roca intrusiva granodiorítica, la cual corta en este sector a las rocas de la formación Carhuaz que afloran nuevamente mucho más arriba de la bocamina. Este intrusivo se encuentra totalmente diaclasado y alterado debido a la erosión y meteorización ocasionados por las lluvias. La composición de la roca son cristales faneríticos de cuarzo, plagioclasas y anfiboles, donde los minerales como la

plagioclasa se alteran tornando un color rojizo característico en este sector. Así mismo, la roca intrusiva se encuentra muy diaclasada y fracturada. Es a través de estos planos de fracturas y diaclasamiento por el cual se puede infiltrar el agua de las lluvias. Así mismo, sobre estas rocas hay una delgada capa de depósitos coluviales y fluvioglaciares, donde el contacto entre estos depósitos y las rocas puede ser otra zona por donde se infiltre el agua de las lluvias.

Figura 29 Geología Local de la Bocamina 315



Fuente: Elaboración propia

4.10. GEOMORFOLOGÍA

Regionalmente el proyecto se encuentra dentro de la Unidad Geomorfológica Región Andina, ubicada en el flanco occidental de la Cordillera Occidental. Esta unidad está constituida por una franja de territorio de topografía accidentada que sigue de sur a norte del Perú formando parte de la Cordillera de los Andes. Esta Región Andina forma un arco correspondiente a la Deflexión de Abancay coincidente con el cambio de rumbo regional de sus estructuras. Esta Unidad Geomorfológica se caracteriza por la presencia de numerosas fallas inversas, sobreescurrimientos y plegamiento de estratos. El paisaje está representado por laderas de relieve variado y zonas onduladas observándose los inicios de los valles en forma de U donde sus estructuras morfológicas están sometidas a una erosión lateral en las épocas de altas precipitaciones.

El área de estudio presenta dos áreas bien definidas: un relieve que se caracteriza por ser abrupto y poco accesible, con un fuerte desnivel; y otra área de suave desnivel representado por una llanura de inundación alongada y estrecha, y los valles presentes al fondo de las quebradas donde también se pueden encontrar bofedales.

4.10.1. Montaña estructural en roca sedimentaria

Está conformada por elevaciones montañosas de roca sedimentaria, localmente pertenecientes a las formaciones Chimú, Carhuaz y Pariahuanca. Su litología es sedimentaria, y estructuralmente se presentan como alineamientos montañosos compuestos por secuencias estratificadas plegadas y/o con buzamientos de las capas que controlan la pendiente de las laderas, formando cuestas y espinazos que le dan una característica particular en las imágenes de satélite. Varían en pendiente desde moderada hasta muy abruptas.

Ocupan un importante porcentaje de área en la región oriental de Ancash y generalmente se distribuyen al este del valle del río Santa, comprendiendo la cordillera Blanca al Oeste y hacia el valle del Marañón al Este, y todo el sector del Callejón de Conchucos al sureste de San Marcos y Huallanca (cordillera de Huayhuash), hasta el norte de la cordillera de Pelagatos (Pallasca), con alineamientos andinos NO-SE de extensión considerable.

Geodinámicamente se asocian a caída de rocas, derrumbes, vuelcos, deslizamientos planares, avalanchas de rocas y hielo en las áreas glaciares.

Figura 30 Montañas en roca sedimentaria en el área de estudio



Fuente: Elaboración propia.

4.10.2. Morrenas

Geomorfológicamente, se formaron por depositación glaciar en forma de lomadas alargadas y colinadas. Estos depósitos se encuentran acumulados en las laderas superiores de las montañas, los márgenes de valles glaciares o bordeando algunas lagunas. Las áreas principales con acumulación de morrenas se ubican en las vertientes inmediatas a la cordillera Blanca, principalmente entre Recuay al sur y Yungay al norte. Por su naturaleza están propensas a flujos y avalanchas de detritos, deslizamientos, colapsos por erosión del pie y movimientos complejos.

4.10.3. Valle glaciar con laguna

Se conforman por terrenos llanos y depresiones existentes en las cabeceras de los valles con características topográficas particulares tanto en roca como materiales fluvioglaciares. Se encuentran principalmente en los tributarios o quebradas que descienden de las cordilleras Blanca y Pelagatos hacia el río Santa, así como en las cabeceras de las cuencas occidentales de la vertiente Pacífica (cordilleras de Huayhuash y Negra), y vertientes orientales tributarias del Marañón. Por ser de ambientes periglaciales, es frecuente encontrar la formación de lagunas de diferentes dimensiones como resultado de la deglaciación y retiro de glaciares, presentando lagunas en rosario. De manera local, se puede encontrar a las lagunas “El Burro” y “El Burrito” dentro de esta unidad geomorfológica.

Figura 31 Valle Glaciar y la laguna "El Burrito"



Fuente: Elaboración propia.

4.10.4. Vertiente glaciar o de gelifracción

Corresponden a las zonas adyacentes a los frentes glaciares que muestran un marcado retroceso glacial como consecuencia del cambio climático global. El proceso de deglaciación se ha convertido en una amenaza para las poblaciones por la formación de glaciares colgantes y nuevas lagunas en lugares poco estables, que almacenan importantes volúmenes de agua que pueden generar desastres debido a avalanchas de rocas o detritos, aluviones y desbordes de lagunas de origen glaciar. Muestran amplias superficies que antes estuvieron cubiertas con hielo, en muchos casos fracturadas, siendo más susceptibles a los movimientos en masa. En el área de estudio, esto se observa ampliamente en los alrededores del nevado "El Burro".

Figura 32 Valle Glaciar y la laguna "El Burrito"



Fuente: Elaboración propia.

4.10.5. Montaña con cobertura glaciar

Estas formaciones geográficas, ubicadas principalmente en la divisoria continental de aguas entre las vertientes del Pacífico y el Atlántico, corresponden a las cabeceras de cuencas y se encuentran en cotas superiores a los 5,000 metros sobre el nivel del mar (msnm). Son características de zonas montañosas culminantes que presentan cobertura de hielo o nieve permanente, y se manifiestan como picos nevados. Un ejemplo notable se encuentra en las cabeceras de la cuenca del Alto Huallaga, donde también hay pequeños picos nevados.

La asociación litológica de estas formaciones está vinculada principalmente a afloramientos de rocas sedimentarias y volcánicas, lo que influye en la dinámica geológica y geomorfológica de la región. Debido a su naturaleza, estas áreas están predispuestas a procesos geodinámicos como avalanchas o aludes, derrumbes y caídas de rocas, así como avalanchas de rocas y detritos. Estos eventos geológicos pueden generar movimientos complejos en la montaña, particularmente flujos de detritos de gran velocidad conocidos como aluviones, que son causados por desbordes de lagunas formadas a partir de aludes o deshielos.

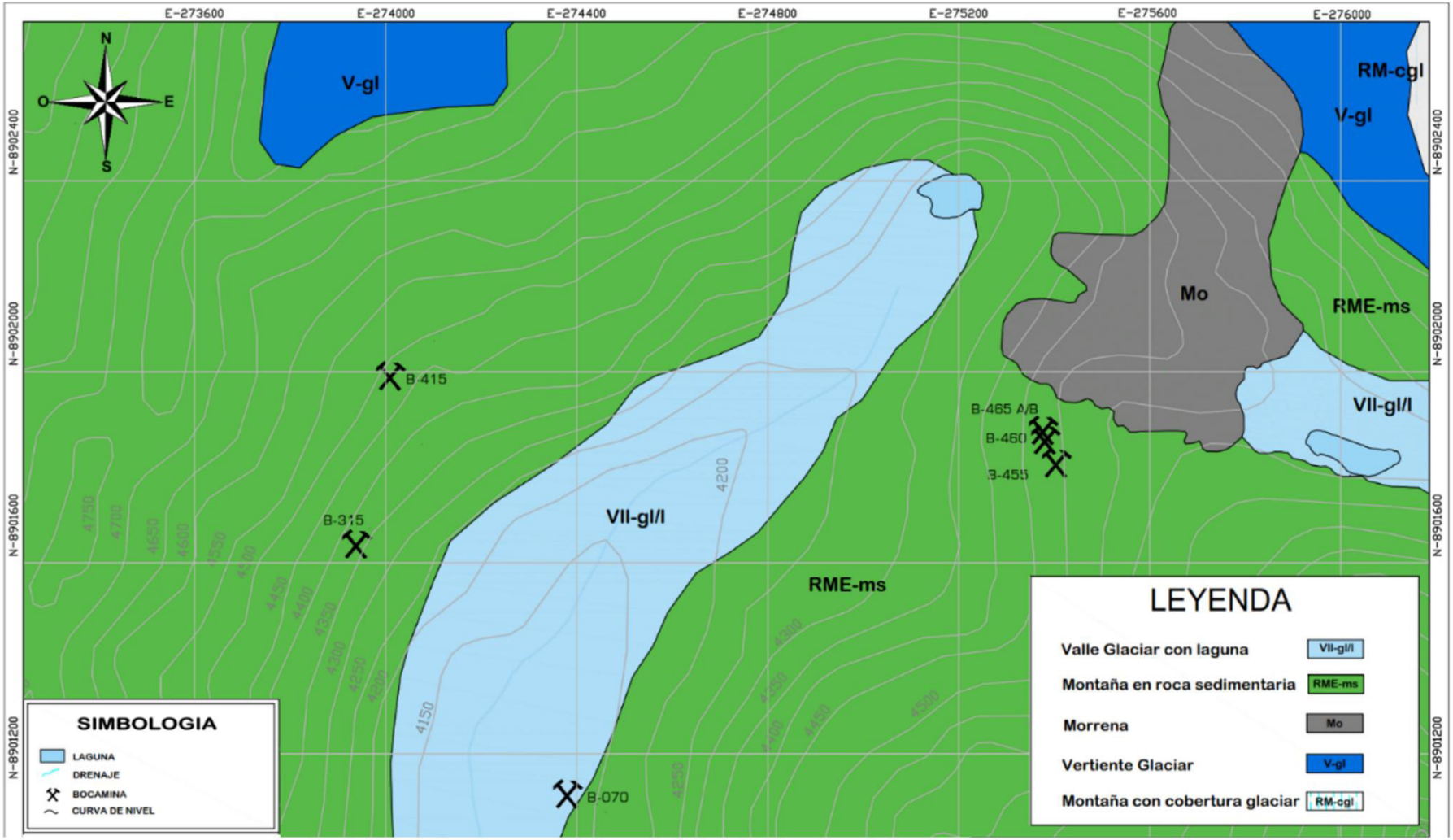
En el área de estudio, esta unidad geomorfológica está representada por el nevado "Los Burros", cuya cumbre alcanza los 5,300 msnm. Este nevado actúa como un regulador hidrológico y geológico en la región, y su presencia está vinculada tanto a la generación de agua para las cuencas hidrográficas como a la posibilidad de desastres naturales relacionados con aludes y flujos de detritos.

Figura 33 Parte del nevado "Los Burros"



Fuente: Elaboración propia.

Figura 34 Plano Geomorfológico del área de estudio



Fuente: Ingemmet y propia

4.11. ENSAYOS DE CALIDAD DE AGUA

En esta investigación se realizaron pruebas de calidad del agua con el fin de analizar distintos parámetros físicos, químicos y biológicos en las fuentes de agua subterráneas y superficiales de la Unidad Minera Pachapaqui. Estos análisis permiten evaluar aspectos como el nivel de acidez, la presencia de metales, la conductividad y la concentración de sulfatos, factores fundamentales para entender el impacto de los efluentes ácidos. Se ubicaron los puntos en donde realizar los ensayos de calidad de agua y con la ayuda del especialista, se levantó la información para llevar posteriormente a un laboratorio certificado por INACAL.

Los datos de Calidad del Agua: Se realizaron análisis físico-químicos y biológicos según la norma de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, según el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM para diversas categorías de agua, tales como agua para consumo humano, recreación, riego, y protección de la vida acuática.

Estos ensayos brindan una visión detallada del estado de los recursos hídricos en el contexto minero, permitiendo una caracterización completa de los componentes evaluados.

Tabla 4 Ubicación de los puntos Monitoreados

Código de Cliente	Descripción	Coordenadas UTM	
		Norte	Este
AR-01	BOCAMINA 465A (Zona Riqueza)	8901867	275379
AR-02	BOCAMINA 465B (Zona Riqueza)	8901867	275379
AR-03	BOCAMINA 460 (Zona Riqueza)	8901842	275301
AR-04	BOCAMINA 455 (Zona Riqueza)	8901793	275409
AR-05	BOCAMINA 070 (Zona Sinchi Roca)	8901112	274364
AS-01	Laguna El Burro	8901841	275976
AS-02	Cuerpo de agua: Quebrada	8901862	274613
AR-06	BOCAMINA 415 (Zona Arabia)	8901993	274012
AR-07	BOCAMINA 315 (Zona Arabia)	8901674	273964

4.12. POST – CAMPO O GABINETE

Una vez culminados los trabajos de campo, procedemos con los trabajos de gabinete o post – campo, donde se procesa la información obtenida en campo para obtener como resultado la caracterización Hidrogeológica de las fuentes de agua superficial y subterránea identificando así las unidades hidrogeológicas presentes en el área de estudio.

Los datos obtenidos en campo corresponden a los diferentes puntos de mapeo hidrogeológico. Cuando la información de campo es procesada se obtienen los inventarios de fuentes de agua superficial y subterráneo que nos precisan una mejor caracterización de las unidades hidrogeológica en el área de estudio.

4.12.1 Procesamiento de datos

El procesamiento de datos inicia con el ingreso de la información recopilada en campo con los equipos correspondientes como el correntómetro y el pozómetro. Esta información se ingresará a las fichas de Inventario de fuentes de agua superficial. En la figura podemos apreciar las casillas a completar, que solicitan coordenadas geográficas, caudales en caso sean fuentes de agua en movimiento y características propias de las fuentes. En el área de estudio, las fuentes de agua superficial están representadas por veinte y seis (26) quebradas, dieciséis (16) manantiales y dos (2) lagunas.
Asimismo, presenta fuentes de agua subterránea, las cuales son trece (13) piezómetros y (13) bofedales.

Tabla 5 Ficha de Ingreso de datos – Inventario de Fuentes de agua Superficial

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA SUPERFICIAL - MANANTIALES										
N°	**Nombre de la fuente**	**Ubicación**						**Características**		
		Política			**Geográfica**					
		Dep.	**Prov.**	**Distrito**	**Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 19**			**Caudal (l/s)**	**Regimen**	
					Este	**Norte**	**Altitud (msnm)**			

Fuente: Autoridad Nacional del Agua 2017

Tabla 6 Ficha de Ingreso de datos – Inventario de Fuentes de agua Subterránea

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA SUBTERRÁNEA - PIEZÓMETRO												
Nombre	Código	Coordenadas			Ubicación Política			Propietario	Nivel de Agua			
		Este	Norte	Altitud	Dep.	Prov.	Distrito		Fecha	Nivel Suelo (msnm)	Nivel Estático	
											Profundidad (m)	msnm

Fuente: Autoridad Nacional del Agua 2017

Las actividades de gabinete se realizarán en base a la información recopilada en el área de estudio y a la evaluación de campo, en el cual se desarrollaron las siguientes actividades:

- Comprende la recopilación y clasificación sistemática de la información de campo.
- Evaluación de parámetros hidrogeológicos a partir de una base de datos teóricos, la correlación con la litología, geomorfología, la geología estructural predominantes en el área.
- Elaboración de un modelo hidrogeológico conceptual del reservorio del acuífero, el cual debe permitir una visión global de cómo está funcionando dicho reservorio; su extensión, su potencia, y los mecanismos de recarga y descarga.
- Creación de mapas temáticos detallados en base a la data recopilada en campo.

5. CAPITULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. ANÁLISIS HIDROGEOLÓGICO

Las características hidrogeológicas del reservorio acuífero en la microcuenca Minapata se encuentran clasificado principalmente en: Acuífero sedimentario calcáreo, acuíferos detríticos permeables y acuífero fisurado intrusivo.

Mediante la descripción del presente capítulo y los siguientes capítulos, definirán el origen, comportamiento del movimiento de flujo, la interrelación agua superficial-agua subterránea que atraviesa el medio detrítico.

El funcionamiento hidrogeológico de la zona de estudio está comprendido por la medida del nivel freático en la instrumentación piezométrica, el mapeo hidrogeológico que brinda identificación y caracterización del medio y las pruebas hidráulicas para el conocimiento de las propiedades físicas hidrogeológicos del área de estudio.

5.2. INVENTARIOS DE FUENTES DE AGUA

La fase de exploración hidrológica e hidrogeológica ha comprendido el inventariado de las fuentes de agua ubicadas dentro del área de la Microcuenca Huishcash, que enmarca la Microcuenca Minapata y la Microcuenca Shicra Shicra, la cual tiene su naciente en el nevado los Burros y la cabecera de cuenca Shicra Shicra, con una dirección de flujo de NE a SW, así mismo pertenece al sistema hidrográfico de la Cuenca del Río Pativilca.

5.3. FUENTES DE AGUAS SUPERFICIALES

Dentro del área de la microcuenca Huishcash se puede evidenciar la presencia de veinte y seis (26) quebradas, quince (15) manantiales y dos (2) lagunas. Los trabajos de campo para la toma de los datos respectivos se llevaron a cabo los días 18,19,20,21 y 22 del mes de diciembre del 2021.

Se realizó el monitoreo de estas fuentes de agua superficiales en distintos puntos a lo largo de los cuerpos de agua, esto detallados en las siguientes tablas.

Tabla 7 Puntos de aforo – Quebradas

N°	Nombre de la fuente	Ubicación del punto de toma de muestra			Trabajo de campo		
		Ubicación Geográfica - Coordenadas UTM - WGS 84 Zona 18			Aforo		Observaciones
		Punto de aforo					
		Este	Norte	Altitud (msnm)	Caudal (l/s)	Fecha	
1	El burrito	275958	8901882	4575	108	Dic-21	A pocos metros del punto de descarga de la laguna "El burrito"
2	El burro	275064	8902160	4270	280	Dic-21	A pocos metros del punto de descarga de la laguna "El burro"
3	QR-00	275043	8902162	4262	6	Dic-21	Aguas abajo de la quebrada, en la zona de carga a la laguna "El burro"
4	QR-01	275081	8902183	4260	6	Dic-21	Aguas abajo de la quebrada, en la zona de carga a la laguna "El burro"
5	QR-02	275083	8902213	4260	1.5	Dic-21	Aguas abajo de la quebrada, en la zona de carga a la laguna "El burro"
6	QR-03	275089	8902234	4260	1.5	Dic-21	Aguas abajo de la quebrada, en la zona de carga a la laguna "El burro"
7	QR-04	275111	8902268	4260	1.5	Dic-21	Aguas abajo de la quebrada, en la zona de carga a la laguna "El burro"
8	QR-05	275140	8902310	4260	1.5	Dic-21	Aguas abajo de la quebrada, en la zona de carga a la laguna "El burro"
9	QR-06	275210	8902419	4260	6	Dic-21	Aguas abajo de la quebrada, en la zona de carga a la laguna "El burro"
10	QR-07	275207	8902419	4260	31.5	Dic-21	Aguas abajo de la quebrada, en la zona de carga a la laguna "El burro"
11	QR-08	275170	8902414	4260	32	Dic-21	Aguas abajo de la quebrada, en la zona de carga a la laguna "El burro"

12	QR-09	275157	8902414	4260	60	Dic-21	Aguas abajo de la quebrada, en la zona de carga a la laguna "El burro"
13	QR-10	275133	8902373	4240	40	Dic-21	Aguas abajo de la quebrada, en la zona de carga a la laguna "El burro"
14	QR-12	274677	8901921	4262	35	Dic-21	Aguas debajo de la quebrada, cerca de las vías de accesos
15	QR-13	274615	8901855	4210	31.2	Dic-21	Aguas debajo de la quebrada, cerca de las vías de accesos
16	QD-01	274439	8901637	4150	405	Dic-21	Después del origen de la quebrada Minapata
17	QD-02	274433	8901599	4160	68	Dic-21	Antes del origen de la quebrada Minapata
18	QD-03	274450	8901570	4160	1013	Dic-21	Antes del origen de la quebrada Minapata
19	SR-1	274379	8901113	4090	56	Dic-21	A pocos metros de la entrada a la bocamina B-70
20	SR-2	274377	8901117	4090	72	Dic-21	A pocos metros antes del origen de la quebrada SR-3
21	SR-3	274375	8901108	4090	216	Dic-21	A pocos metros después del origen de la quebrada SR-3
22	SHICRA SHICRA	273700	8899735	4010	1890	Dic-21	A pocos metros antes del cruce con la vía de acceso a la zona minera (Puente)
23	MINAPATA	273680	8899951	4020	1650	Dic-21	Antes de la unión con la quebrada Shicra Shicra que da origen a la quebrada Huishcash
25	DERIVACION	271235	8899120	3986	1078	Dic-21	A pocos metros del origen de la quebrada Desviación, en la bocatoma
26	KARA	278405	8899393	3986	3675	Dic-21	Antes de la división de la quebrada Kara, donde se obtienen las quebradas Kara y Desviación

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8 Inventario de fuentes de Agua – Quebradas

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA - QUEBRADAS															
N°	Nombre de la fuente	Ubicación									Trabajo den campo				
		Ubicación Política			Ubicación Geográfica - Coordenadas UTM - WGS 84 Zona 19						Aforo				
					Inicio			Final							
		Dep.	Prov.	Distrito	Este	Norte	Altitud (msnm)	Este	Norte	Altitud (msnm)	Caudal (l/s)	Regimen	Método	Fecha	Temporada
1	El burrito	Ancash	Bolognesi	Aquia	275955	8901878	4575	275273	8902187	4393	108	Permanente	Correntometro	Dic-21	Húmedo
2	El burro	Ancash	Bolognesi	Aquia	275077	8902217	4285	274985	8901987	4268	280	Permanente	Correntometro	Dic-21	Húmedo
3	QR-00	Ancash	Bolognesi	Aquia	275133	8902194	4289	275045	8902166	4286	6	Permanente	Correntometro	Dic-21	Húmedo
4	QR-01	Ancash	Bolognesi	Aquia	275172	8902204	4297	275063	8902194	4286	6	Permanente	Correntometro	Dic-21	Húmedo
5	QR-02	Ancash	Bolognesi	Aquia	275232	8902200	4340	275077	8902213	4285	1.5	Permanente	Correntometro	Dic-21	Húmedo
6	QR-03	Ancash	Bolognesi	Aquia	275262	8902189	4340	275092	8902238	4284	1.5	Permanente	Correntometro	Dic-21	Húmedo
7	QR-04	Ancash	Bolognesi	Aquia	275262	8902190	4340	275110	8902270	4284	1.5	Permanente	Correntometro	Dic-21	Húmedo
8	QR-05	Ancash	Bolognesi	Aquia	275273	8902187	4340	275138	8902326	4284	1.5	Permanente	Correntometro	Dic-21	Húmedo
9	QR-06	Ancash	Bolognesi	Aquia	275281	8902572	4520	275220	8902424	4360	6	Permanente	Correntometro	Dic-21	Húmedo
10	QR-07	Ancash	Bolognesi	Aquia	275269	8902573	4520	275212	8902424	4360	31.5	Permanente	Correntometro	Dic-21	Húmedo
11	QR-08	Ancash	Bolognesi	Aquia	275138	8902502	4456	275173	8902411	4346	32	Permanente	Correntometro	Dic-21	Húmedo

12	QR-09	Ancash	Bolognesi	Aquia	275134	8902552	4503	275167	8902409	4346	60	Permanente	Correntometro	Dic-21	Húmedo
13	QR-10	Ancash	Bolognesi	Aquia	275022	8902500	4500	275155	8902395	4330	40	Permanente	Correntometro	Dic-21	Húmedo
14	QR-12	Ancash	Bolognesi	Aquia	274578	8902083	4374	274681	8901917	4230	35	Permanente	Correntometro	Dic-21	Húmedo
15	QR-13	Ancash	Bolognesi	Aquia	274539	8901934	4300	274645	8901810	4200	31.2	Permanente	Correntometro	Dic-21	Húmedo
16	QD-01	Ancash	Bolognesi	Aquia	274435	8901592	4167	274362	8901505	4160	405	Permanente	Correntometro	Dic-21	Húmedo
17	QD-02	Ancash	Bolognesi	Aquia	274676	8901654	4203	274435	8901593	4167	68	Permanente	Correntometro	Dic-21	Húmedo
18	QD-03	Ancash	Bolognesi	Aquia	274462	8901669	4171	274435	8901594	4167	1013	Permanente	Correntometro	Dic-21	Húmedo
19	SR-1	Ancash	Bolognesi	Aquia	274387	8901115	4139	274376	8901111	4137	56	Permanente	Correntometro	Dic-21	Húmedo
20	SR-2	Ancash	Bolognesi	Aquia	274426	8901241	4148	274376	8901111	4137	72	Permanente	Correntometro	Dic-21	Húmedo
21	SR-3	Ancash	Bolognesi	Aquia	274377	8901112	4137	274157	8900943	4126	216	Permanente	Correntometro	Dic-21	Húmedo
22	SHICRA SHICRA	Ancash	Bolognesi	Aquia	274404	8899550	4047	273551	8899801	4010	1890	Permanente	Correntometro	Dic-21	Húmedo
23	MINAPATA	Ancash	Bolognesi	Aquia	274976	8901970	4167	273552	8899802	4010	1650	Permanente	Correntometro	Dic-21	Húmedo
25	DERIVACION	Ancash	Bolognesi	Aquia	271787	8898969	3977	270226	8898898	3925	1078	Permanente	Correntometro	Dic-21	Húmedo
26	KARA	Ancash	Bolognesi	Aquia	273551	8899802	4010	270323	8898181	3914	3675	Permanente	Correntometro	Dic-21	Húmedo

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9 Inventario de fuentes de Agua – Manantiales

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA - MANANTIALES										
N°	Nombre de la fuente	Ubicación						Características		Observaciones
		Política			Geográfica					
		Dep.	Prov.	Distrito	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 19			Caudal (l/s)	Regimen	
					Este	Norte	Altitud (msnm)			
1	MP-5	Ancash	Bolognesi	Aquia	275227	8901768	4400	3	Permanente	Cercano al vía de acceso a la zona Riqueza
2	MP-6	Ancash	Bolognesi	Aquia	275168	8901558	4360	1	Permanente	Cercano al vía de acceso a la zona Riqueza
3	MP-7	Ancash	Bolognesi	Aquia	275203	8901635	4370	2	Permanente	Cercano al vía de acceso a la zona Riqueza
4	MP-9	Ancash	Bolognesi	Aquia	274366	8900985	4100	0	Estacionario	Ubicado en la zona Sinchi Roca, a lo largo de su acceso peatonal
5	MP-10	Ancash	Bolognesi	Aquia	274377	8900930	4100	4.5	Permanente	Ubicado en la zona Sinchi Roca, a lo largo de su acceso peatonal
6	MP-12	Ancash	Bolognesi	Aquia	274390	8900900	4100	2	Permanente	Ubicado en la zona Sinchi Roca, a lo largo de su acceso peatonal
7	MP-13	Ancash	Bolognesi	Aquia	274363	8900887	4100	12.5	Permanente	Ubicado en la zona Sinchi Roca, a lo largo de su acceso peatonal
8	MP-25	Ancash	Bolognesi	Aquia	274609	8901443	4170	3	Permanente	A los márgenes de la vía de acceso camino al cruce
9	MP-26	Ancash	Bolognesi	Aquia	274576	8901429	4170	3	Permanente	A los márgenes de la vía de acceso camino al cruce
10	MP-27	Ancash	Bolognesi	Aquia	274422	8901674	4150	8	Permanente	A los márgenes de la vía de acceso camino al cruce
11	MP-31	Ancash	Bolognesi	Aquia	274537	8901252	4170	6	Permanente	A los márgenes de la vía de acceso camino al cruce
12	MP-32	Ancash	Bolognesi	Aquia	274414	8900749	4109	3	Permanente	Vía de acceso a zona Sinchi Roca
13	MN-33	Ancash	Bolognesi	Aquia	271469	8898724	3998	4	Permanente	Vía de acceso desde el campamento a la microcuenca Minapata
14	MN-34	Ancash	Bolognesi	Aquia	271608	8898759	3991	4	Permanente	Vía de acceso desde el campamento a la microcuenca Minapata
15	MN-ARA1	Ancash	Bolognesi	Aquia	274077	8901871	4387	1	Permanente	Proveniente de las bocaminas abandonadas
16	MN-ARA2	Ancash	Bolognesi	Aquia	273792	8901533	4325	2	Permanente	Proveniente del margen izquierdo a la vía de acceso a zona Arabia

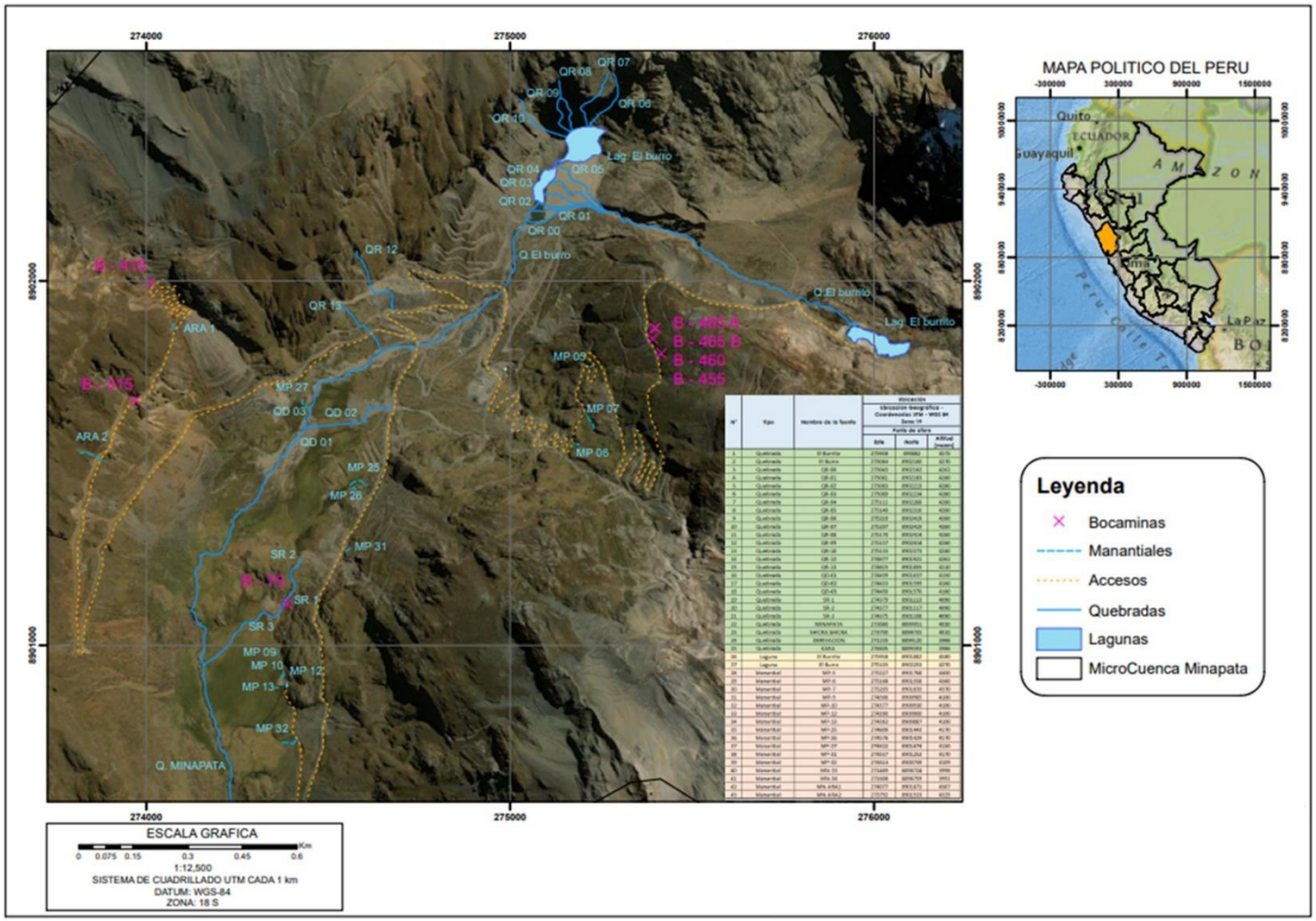
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10 Inventario de fuentes de Agua – Lagunas

INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA - LAGUNA												
N°	Nombre de la fuente	Ubicación						Características Principales				
		Política			Geográfica							
		Dep.	Prov.	Distrito	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 19			Área (m2)	Perímetro (m)	Caudal		Regimen
					Este	Norte	Altitud (msnm)			Ingreso	Salida	
1	El Burrito	Ancash	Bolognesi	Aquia	275958	8901882	4580	1616.19	172.52	60	108	Permanente
2	El Burro	Ancash	Bolognesi	Aquia	275103	8902253	4270	9604.33	596.34	222	280	Permanente

Fuente: Elaboración propia.

Figura 35 Plano de inventario de fuentes de agua superficiales



Fuente: Elaboración propia

5.4. FUENTES DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Dentro del área de la microcuenca Huishcash se puede evidenciar la presencia de trece (13) piezómetros y (13) bofedales. Los trabajos de campo para la toma de los datos respectivos se llevaron a cabo los días 18,19,20,21 y 22 del mes de diciembre del 2021.
Los piezómetros inventariados son de la propiedad de ICM Pachapaqui y se encuentran a lo largo de la microcuenca Minapata y la zona del campamento minero, sirviendo para control del nivel freático respecto al depósito de relaves inactivo.
Los bofedales inventariados tienen la característica de ser de larga extensión, siendo el más pequeño un tamaño de 0.28 Ha.

Tabla 11 Plano de inventario de fuentes de agua subterránea

Nombre	Código	Coordenadas			Ubicación Política			Propietario	Nivel de Agua			
		Este	Norte	Altitud	Dep.	Prov.	Distrito		Fecha	Nivel Suelo (msnm)	Nivel Estatico	
											Profundidad (m)	msnm
piezómetro 5	PZP 5	275969	8901881	4570	Ancash	Bolognesi	Aquia	ICM PACHAPAQUI	18/12/2021	4570	10.8	4559.2
Piezómetro 4	PZP 4	275030	8902170	4273	Ancash	Bolognesi	Aquia	ICM PACHAPAQUI	19/12/2021	4273	1.45	4271.55
piezómetro 3	PZP 3	274439	8901536	4180	Ancash	Bolognesi	Aquia	ICM PACHAPAQUI	19/12/2021	4180	3.6	4176.4
piezómetro 2	PZP 2	274234	8900890	4112	Ancash	Bolognesi	Aquia	ICM PACHAPAQUI	20/12/2021	4112	0	4112
piezómetro 1	PZP 1	273753	8899944	4016	Ancash	Bolognesi	Aquia	ICM PACHAPAQUI	18/12/2021	4016	CONFINADO	
piezómetro 09	PZP 09	270855	8898956	3965	Ancash	Bolognesi	Aquia	ICM PACHAPAQUI	21/12/2021	3965	6.02	3958.98
piezómetro 07 A	PZP 07 A	270696	8898884	3965	Ancash	Bolognesi	Aquia	ICM PACHAPAQUI	21/12/2021	3965	8.95	3956.05
piezómetro 07 B	PZP 07 B	270696	8898884	3965	Ancash	Bolognesi	Aquia	ICM PACHAPAQUI	21/12/2021	3965	10.95	3954.05
piezómetro 08 A	PZP 08 A	270596	8898757	3965	Ancash	Bolognesi	Aquia	ICM PACHAPAQUI	21/12/2021	3965	16.45	3948.55
piezómetro 08 B	PZP 08 B	270596	8898757	3965	Ancash	Bolognesi	Aquia	ICM PACHAPAQUI	21/12/2021	3965	15.87	3949.13
piezómetro 04 A	PZP 04 A	270539	8898795	3962	Ancash	Bolognesi	Aquia	ICM PACHAPAQUI	21/12/2021	3962	20.9	3941.1
piezómetro 04 B	PZP 04 B	270539	8898795	3962	Ancash	Bolognesi	Aquia	ICM PACHAPAQUI	21/12/2021	3962	0	3962

piezómetro 06	PZP 06	270375	8898755	3965	Ancash	Bolognesi	Aquia	ICM PACHAPAQUI	21/12/2021	3965	0	3965	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12 Inventario de Bofedales

BOFEDALES																			
Nombre de bofedales	Codigo de fuente	Ubicación						Características principales				Clase de uso de agua	Tipo de Bofedal	Tipo de recarga	Estado de conservación	Servicio Ecosistémico (Tipo de uso de agua)	Clase de derecho	Fecha de inventario	Conflictos	Observaciones
		Geográfica - Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 19 L			Política				Caudal											
		Este	Norte	Altitud (m.s.n.m.)	Dep.	Prov.	Distrito	Área (m2)	Ingreso (l/s)	Salida (l/s)	Tipo de aforo									
Bofedal T5	T5	274330	8901005	4110	Ancash	Bolognesi	Aquia	14500	N/D	N/D	-	Primario	Permanente	Freático	Bueno	Desarrollo de césped	Sin derecho de uso	Nov-14	No presenta conflictos	Ninguno
Bofedal T6	T6	274268	8901032	4084	Ancash	Bolognesi	Aquia	14500	N/D	N/D	-	Primario	Permanente	Freático	Bueno	Desarrollo de césped		Nov-14		Ninguno

Bofedal T10	T10	273824	8899950	4024	Ancash	Bolognesi	Aquia	8000	N/D	N/D	-	Primario	Permanente	Freático	Bueno	Desarrollo de césped		Nov-14		Ninguno
Bofedal T12	T12	273173	8899676	4013	Ancash	Bolognesi	Aquia	11800	N/D	N/D	-	Primario	Permanente	Freático	Bueno	Desarrollo de césped		Nov-14		Ninguno
Bofedal T16	T16	271948	8899227	3993	Ancash	Bolognesi	Aquia	31000	N/D	N/D	-	Primario	Estacional	Freático	Regular	Desarrollo de césped		Nov-14		Ninguno
Bofedal T17	T17	271584	8899015	3992	Ancash	Bolognesi	Aquia	31000	N/D	N/D	-	Primario	Estacional	Freático	Regular	Desarrollo de césped		Nov-14		Ninguno
Bofedal T25	T25	274223	8900374	4040	Ancash	Bolognesi	Aquia	3500	N/D	N/D	-	Primario	Estacional	Freático	Regular	Desarrollo de césped		Nov-14		Ninguno
Bofedal T10	T10	273887	8899664	4024	Ancash	Bolognesi	Aquia	8000	N/D	N/D	-	Primario	Permanente	Freático	Regular	Desarrollo de césped		Nov-14		Ninguno
Bofedal T27	T27	273548	8899535	4018	Ancash	Bolognesi	Aquia	10200	N/D	N/D	-	Primario	Permanente	Freático	Regular	Desarrollo de césped		Nov-14		Ninguno
Bofedal T28	T28	273421	8899679	4017	Ancash	Bolognesi	Aquia	10200	N/D	N/D	-	Primario	Permanente	Freático	Regular	Desarrollo de césped		Nov-14		Ninguno

Bofedal T29	T29	272952	8899262	4033	Ancash	Bolognesi	Aquia	4300	N/D	N/D	-	Primario	Permanente	Freático	Regular	Desarrollo de césped		Nov-14		Ninguno
Bofedal T32	T32	274319	8899637	4056	Ancash	Bolognesi	Aquia	3300	N/D	N/D	-	Primario	Permanente	Freático	Regular	Desarrollo de césped		Nov-14		Ninguno
Bofedal T34	T34	275038	8899191	4069	Ancash	Bolognesi	Aquia	2800	N/D	N/D	-	Primario	Permanente	Freático	Regular	Desarrollo de césped		Nov-14		Ninguno

Fuente: Elaboración propia.

5.5. ANÁLISIS DEL ÁCUÍFERO

Este capítulo contiene la descripción de las características hidrogeológicas del reservorio acuífero presente en el área de estudio.

Las unidades hidrogeológicas en la microcuenca Minapata que se encuentra clasificado principalmente en: Acuífero sedimentario calcáreo, acuíferos detríticos permeables y acuífero fisurado intrusivo.

Mediante la descripción del presente capítulo y los siguientes capítulos, definirán el origen, comportamiento del movimiento de flujo, la interrelación agua superficial-agua subterránea que atraviesa el medio detrítico.

El funcionamiento hidrogeológico de la zona de estudio está comprendido por la medida del nivel freático en la instrumentación piezométrica, el mapeo hidrogeológico que brinda identificación y evaluación del medio y las pruebas hidráulicas para el conocimiento de las propiedades físicas hidrogeológicos del área de estudio.

5.5.1. Geometría del reservorio acuífero

- Formas y Límites.

La geometría del acuífero de la zona de estudio es de forma poligonal irregular con flancos moderadamente empinados; de tipo libre y fracturado heterogéneo y anisótropo, donde el agua subterránea se desplaza por medios porosos y medios fracturados. El acuífero está delimitado verticalmente por el intrusivo granodiorítico. En épocas de lluvia la infiltración es mayor, lo que genera la recarga del acuífero fracturado. El movimiento del agua es complejo, pero siempre es por la red de grietas interconectadas y a favor de diferencias de carga hidráulica o presión piezométrica.

5.5.2. Caracterización Geológica.

Basándose en los resultados de los estudios geológicos realizados para el presente estudio, así como del análisis de algunas cartas geológicas, mapeo hidrogeológico de la zona de estudio y de la investigación geofísica realizada; ha sido posible determinar la litología del acuífero.

- Depósitos Cuaternarios.

Depósitos cuaternarios, son materiales inconsolidados compuesto por arena, grava y disgregados producto del transporte, meteorización y gelifracción.

- Secuencias Calcáreas.

Secuencias de calizas arenosas, areniscas calcáreas, intercaladas con calizas nodulares.

- Roca Intrusiva.

Son rocas ígneas producto de la intrusión de roca granodiorita con mineralización como: calcopirita, pirita y marcasita.

5.5.3. Hidroestratigrafía

Los materiales que de preferencia son propicios como medios permeables son los depósitos sedimentarios aluviales y coluviales. La permeabilidad de éstos depende básicamente de la cantidad de arcilla que se presente dentro de la matriz de las rocas y del grado de compactación y cementación que tenga. Las identificaciones de las unidades litológicas desde el punto de vista hidrogeológico comienzan con:

a) El estudio de la geología (ubicación, identificación, descripción de las rocas y propiedades hidrogeológicas inherentes), la litología, la posición estratigráfica y estructural.

b) La geomorfología ligados a procesos de dinámica externa: erosión, transporte y sedimentación dan lugar a diversos depósitos: fluvio - glaciales y otros que constituyen acuíferos.

c) Medidas de las frecuencias de fracturas y fallas en los afloramientos de rocas que conforman los sistemas fisurados acuíferos.

5.5.4. Unidades Hidrogeológicas

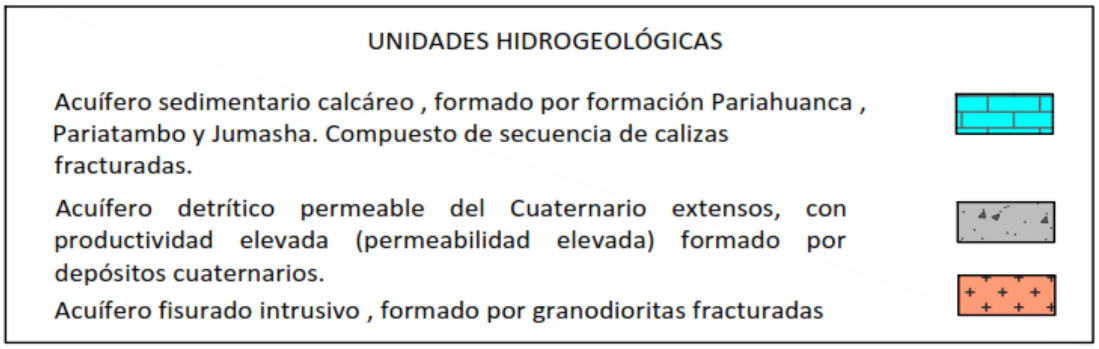
Los materiales que de preferencia son propicios como medios permeables son los depósitos cuaternarios biogenéticos (bofedales) y fluvio-glaciares presentes en el entorno del área de estudio.

La permeabilidad de éstos depende básicamente de la cantidad de limos y disgregados, del grado de cementación, además de los espacios vacíos o poros que se encuentran interconectados entre sí que le permita absorber el agua y en las rocas dependen del grado de cementación, grado de fracturamiento y fallas presentes.

Una unidad Hidroestratigráficas se caracteriza por el grado variable de almacenar y transmitir agua; bajo este punto de vista la terminología aplicada a cada unidad hidrogeológica será la siguiente:

Está representado por las siguientes unidades hidrogeológicas:

Figura 36 Unidades Hidrogeológicas



Fuente: Elaboración propia

- Acuífero Sedimentario Calcáreo.

Las unidades hidrogeológicas en esta área están compuestas por acuíferos donde la producción y almacenamiento de aguas subterráneas dependen de las fisuras, fracturas y la porosidad de las rocas. Estos acuíferos se caracterizan por una conductividad hidráulica media, la cual está condicionada por el grado de fracturación de las rocas y por el relleno que puedan presentar dichas fracturas. Aunque los caudales de descarga de estos acuíferos suelen ser bajos, tienen la ventaja de ofrecer un rendimiento más constante a lo largo del año, dado que la velocidad de flujo interno en la zona saturada es lenta. Esto significa que, aunque el caudal no sea alto, su aporte de agua es más estable y se mantiene durante largos períodos.

Durante la temporada de lluvias, estos acuíferos se recargan de manera paulatina, lo que provoca un ligero aumento en el caudal de descarga, reflejando la lenta pero continua infiltración de agua en las fracturas y fisuras del subsuelo. En la zona de estudio, los acuíferos fisurados se encuentran en rocas fracturadas de las formaciones Pariahuanca, Pariatambo y Jumasha, compuestas principalmente por calizas. El flujo subterráneo en estos acuíferos se da principalmente a través de fracturas, fisuras, juntas y zonas de contacto, las cuales facilitan la circulación del agua.

Este tipo de acuíferos tiene la particularidad de que las fracturas pueden estar interconectadas, lo que permite que el agua subterránea eventualmente se manifieste en la superficie a través de filtraciones o manantiales. Estos manantiales y filtraciones son indicadores de la existencia de un sistema de flujo subterráneo activo y, aunque los caudales puedan ser limitados, son esenciales para el abastecimiento hídrico en la región.

- Acuífero Detrítico Permeable Del Cuaternario.

Unidad hidrogeológica con capacidad para almacenar agua subterránea y transmitirla lentamente. Su importancia radica en que estas unidades corresponden a estratos condicionantes para el almacenamiento de aguas subterráneas (base o techo de acuíferos) y determinan zonas de baja producción de aguas subterráneas.

Esta unidad hidrogeológica en la microcuenca de estudio se encuentra formado por depósitos fluvio aluviales, coluviales y morrénicos compuestos de gravas arenosas, limos y arcillas de ambiente fluvioaluvial ésta se encuentra aflorando en diferentes puntos de la zona de estudio.

- Acuífero fisurado Intrusivo.

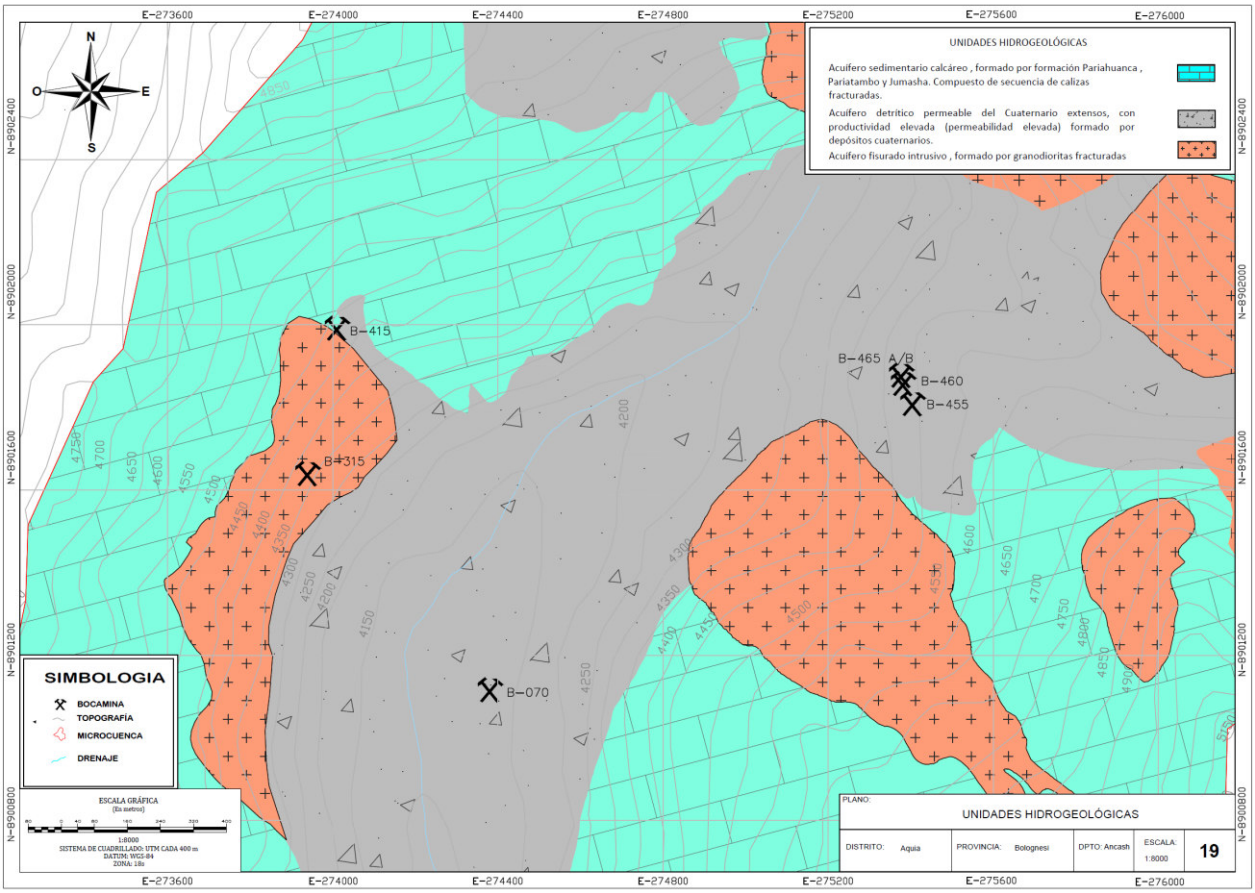
Esta unidad hidrogeológica se encuentra formada por rocas intrusivas de un pórfido de granodiorita esta unidad puede almacenar el agua, tienen una conductividad hidráulica medio permeable que es condicionado por su grado de fracturación.

Tabla 13 Unidades Hidroestratigráficas de la zona de estudio

UNIDAD LITOLÓGICA	SÍMBOLO	LITOLOGÍA	CLASIFICACIÓN HIDROGEOLÓGICA
Pariahuanca, Pariatambo, y Formación Jumasha	Ks – j, Ki –pt , Ki - Ph	Secuencia de calizas, areniscas y lutitas fracturadas	Acuífero sedimentario calcáreo
Depósitos Aluviales, Depósitos Coluviales	Qh-Al, Qh - Co	Material compuesto de gravas areno, limosas, y arcillas de ambiente coluvial y aluvial.	Acuífero detrítico permeable del cuaternario
Intrusivo	Cm - a	Granodiorita	Acuífero fisurado Intrusivo

Fuente: Elaboración propia.

Figura 37 Plano de Hidrogeología Regional



Fuente: Elaboración propia.

5.6. MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL

5.6.1. Recarga de la Microcuenca

El relieve topográfico tiene un papel fundamental en el proceso de recarga del acuífero en el área de estudio, donde la principal fuente de agua subterránea proviene de la infiltración de las precipitaciones. Este proceso ocurre en la mayor parte de la zona, salvo en aquellos puntos donde el agua subterránea emerge a la superficie a través de manantiales o descargas directas. La infiltración se refiere a la porción de la precipitación que no se pierde por evaporación ni por escorrentía superficial, y fluye hacia el subsuelo, desplazándose aguas abajo y lateralmente hasta llegar al fondo de los drenajes, donde eventualmente descarga en cuerpos de agua superficial.

El área de estudio está delimitada por un relieve montañoso significativo en la parte oeste, con elevaciones que alcanzan hasta los 5000 metros sobre el nivel del mar (msnm). Estas altas montañas desempeñan un papel crucial en el ciclo hidrológico, ya que actúan como barreras que atrapan las nubes, promoviendo la precipitación en la región. Este proceso de recepción inicial es clave para el inicio del ciclo hidrológico, ya que abastece de agua tanto al sistema superficial como al subterráneo, contribuyendo a la recarga del acuífero ya la continuidad de los flujos de agua en la zona. De esta manera, el alivio no solo influye en la cantidad de agua que se infiltra y recarga los acuíferos, sino también en la dinámica del ciclo del agua a nivel local.

5.6.2. Descarga de la Microcuenca

Las zonas de descarga se emplazan en la base de la microcuenca, donde se acumulan los flujos de las quebradas.

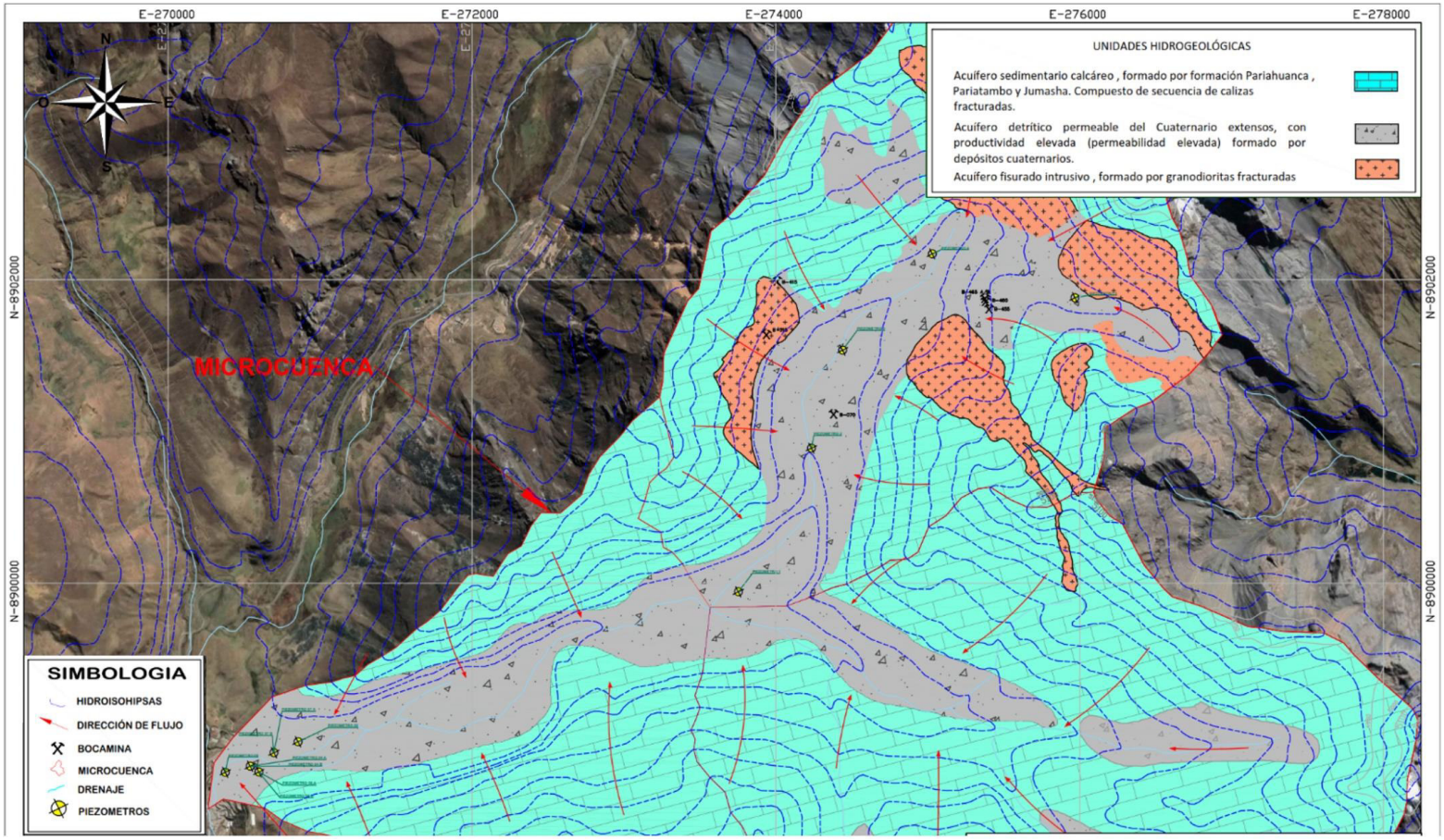
Esta área de descarga generalmente sigue orientaciones de flujos dirigidos hacia las zonas de menor carga hidráulica.

5.6.3. Dirección del flujo

Se puede apreciar direcciones preferenciales hacia las quebradas aledañas al proyecto, así como se puede apreciar una dirección preferencial hacia la parte baja del área de estudio ya que los flujos se distribuyen en base a la topografía de la zona de estudio.

A continuación, se presenta las direcciones de flujo elaborado en base a lo observado en campo, se realizó en base a la geofísica, mapeo hidrogeológico en campo además se consideró la experiencia del hidrogeólogo.

Figura 38 Plano de Hidroisohipsas – Dirección de flujos



Fuente: Elaboración propia.

5.6.4. Zona de Recarga del Acuífero

El área se encuentra limitado por el relieve topográfico de grandes montañas ubicadas en la zona del área de estudio provenientes del glaciar Huallanca, con alturas mayores a los 4400 msnm. Estas hacen que las nubes precipiten iniciando así el ciclo hidrológico desde la parte alta de la topografía cuesta abajo geomorfológicamente contribuyendo a la recarga del acuífero.

5.6.5. Zona de Tránsito del Acuífero

El área se encuentra en la zona centro del área de estudio, está compuesta por material impermeable por la cual el transito será netamente mediante escorrentía hasta llegar a los depósitos glaciales, donde el transporte cambiará a escorrentía y subsuperficial.

Los tránsitos de estas aguas tienen la misma dirección que las líneas de flujo, debido a que topográficamente el relieve tiene cierta inclinación favoreciendo que la descarga se proyecte hacia la zona de menor pendiente.

5.6.6. Zona de Descarga del Acuífero

Las zonas de descarga están en el fondo de valle de las quebradas, la descarga se da por medio de manantiales y como descargas laterales hacia los bofedales, en ambos casos el flujo subterráneo pasa a formar parte de las aguas superficiales.

que las áreas de descarga se ubican a lo largo de la red de drenaje principal de las microcuencas Minapata, Shicra Shicra, Huishcash, Quenhua Ragra y Azul Mina.

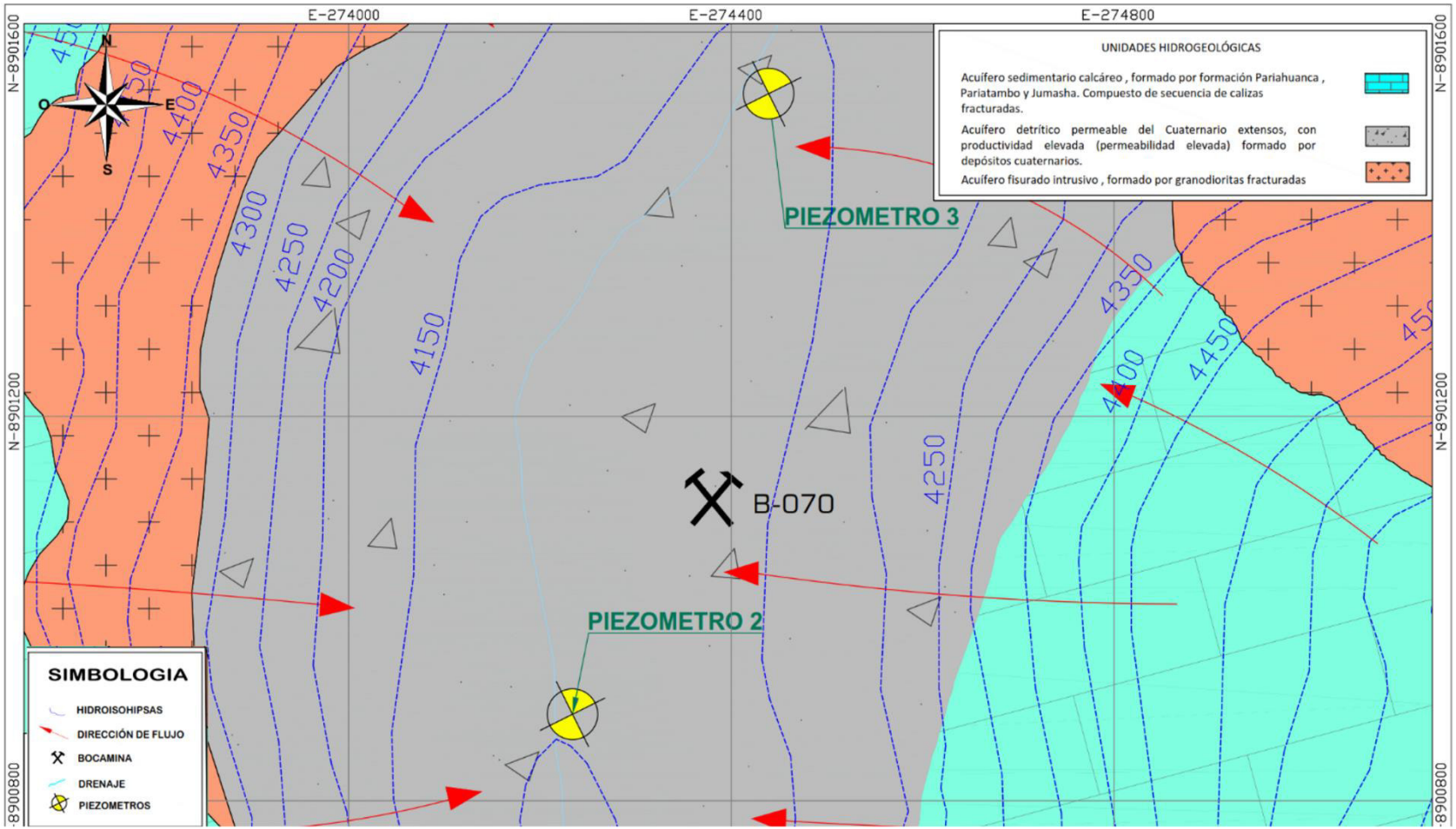
5.6.7. Dirección de Flujo de las Bocaminas

Las direcciones de flujo subterráneo se manejan en base a la topografía, el nivel inferido de las aguas subterráneas y el factor de las unidades hidrogeológicas presentes en el área de estudio. En el plano mostrado a continuación se presenta las direcciones de flujo en base a la pendiente distribuida a lo largo de las diferentes bocaminas ubicadas.

Sector Sinchi Roca.

El sector Sinchi Roca, presenta en su área de estudio la Bocamina B-070, la cual sobreyace sobre el acuífero detrítico permeable del cuaternario formado por depósitos fluvio aluviales, coluviales y morrénicos compuestos de gravas arenosas, limos y arcillas. Las Líneas de flujo se dirigen en dirección SE, este sector está caracterizado por presentar en la zona de estudio material cuaternario disgregado, infrayaciendo a este se presenta el acuífero sedimentario calcáreo los cuales se caracterizan por presentar fracturas, fisuras y una mayor porosidad en la roca, este tipo de acuífero se caracteriza por tener caudales de descarga bajos y está compuesto por una secuencia de calizas. En los alrededores se presenta acuífero fisurado intrusivo conformada por granodiorita fracturada producto de la intrusión. Estos flujos de agua se direccionan en base a la topografía y la litología presente en la zona de estudio.

Figura 40 Plano de Hidroisohipsas sector Sinchi Roca



Fuente: Elaboración propia.

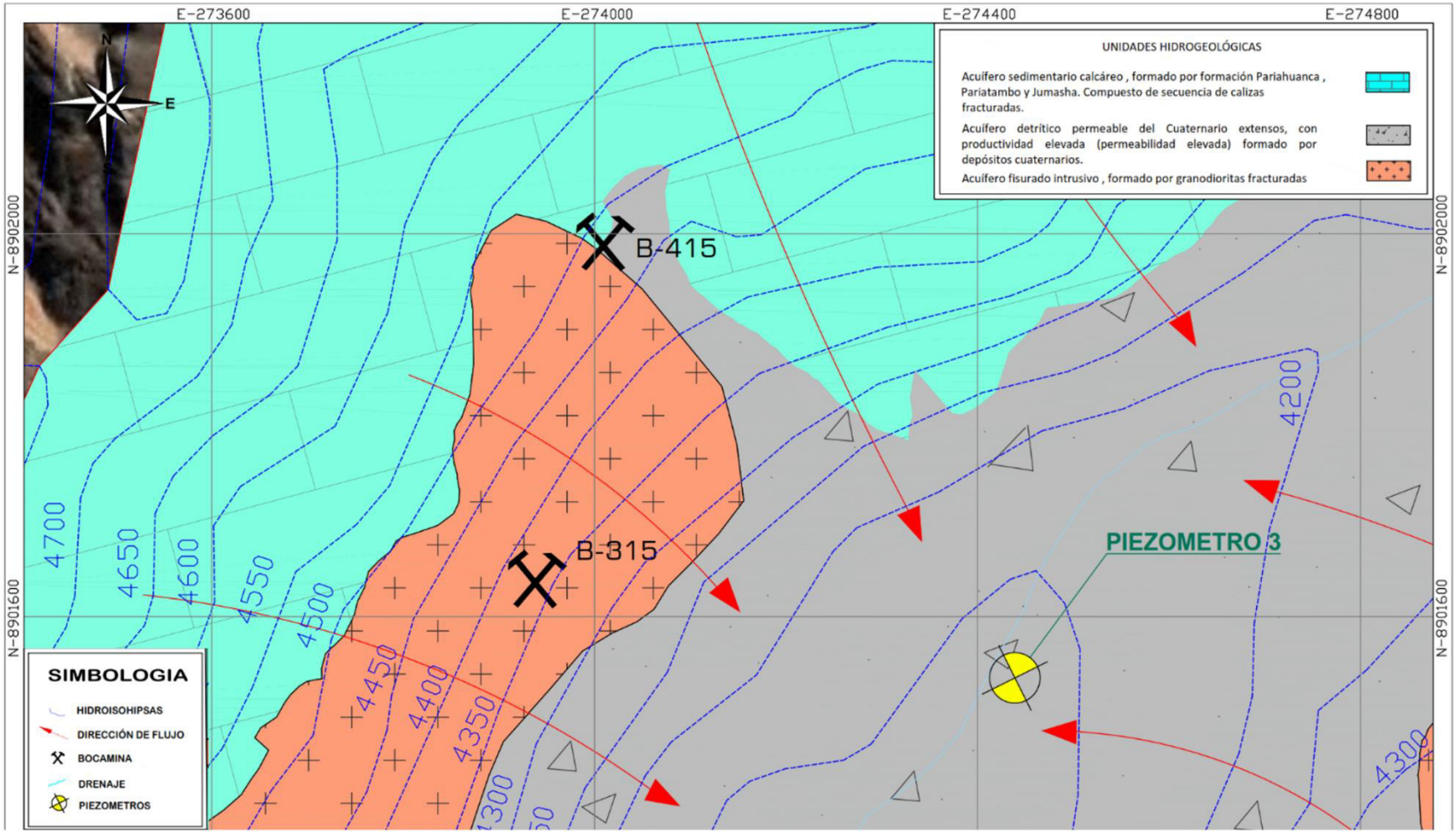
Sector Arabia.

El sector Arabia, presenta en su área de estudio la Bocaminas B-415, la cual sobreyace sobre el acuífero detrítico permeable del cuaternario formado por depósitos fluvio aluviales, coluviales y morrénicos compuestos de gravas arenosas, limos y arcillas. Esta bocamina está en contacto con el acuífero fisurado intrusivo conformada por granodiorita fracturada producto de la intrusión.

La bocamina B- 315 está conformada por roca intrusiva de un pórfido de granodiorita, la cual es interpretada como acuífero fisurado intrusivo. Esta unidad hidrogeológica puede almacenar el agua, tienen una conductividad hidráulica medio permeable que es condicionado por su grado de fracturación y diaclasamiento por el cual se puede infiltrar el agua de las lluvias.

Las Líneas de flujo se dirigen en dirección SE y se distribuye a lo largo del piezómetro 3. Estos flujos de agua se direccionan en base a la topografía y la litología presente en la zona de estudio.

Figura 41 Plano de Hidroisohipsas sector Sector Arabia



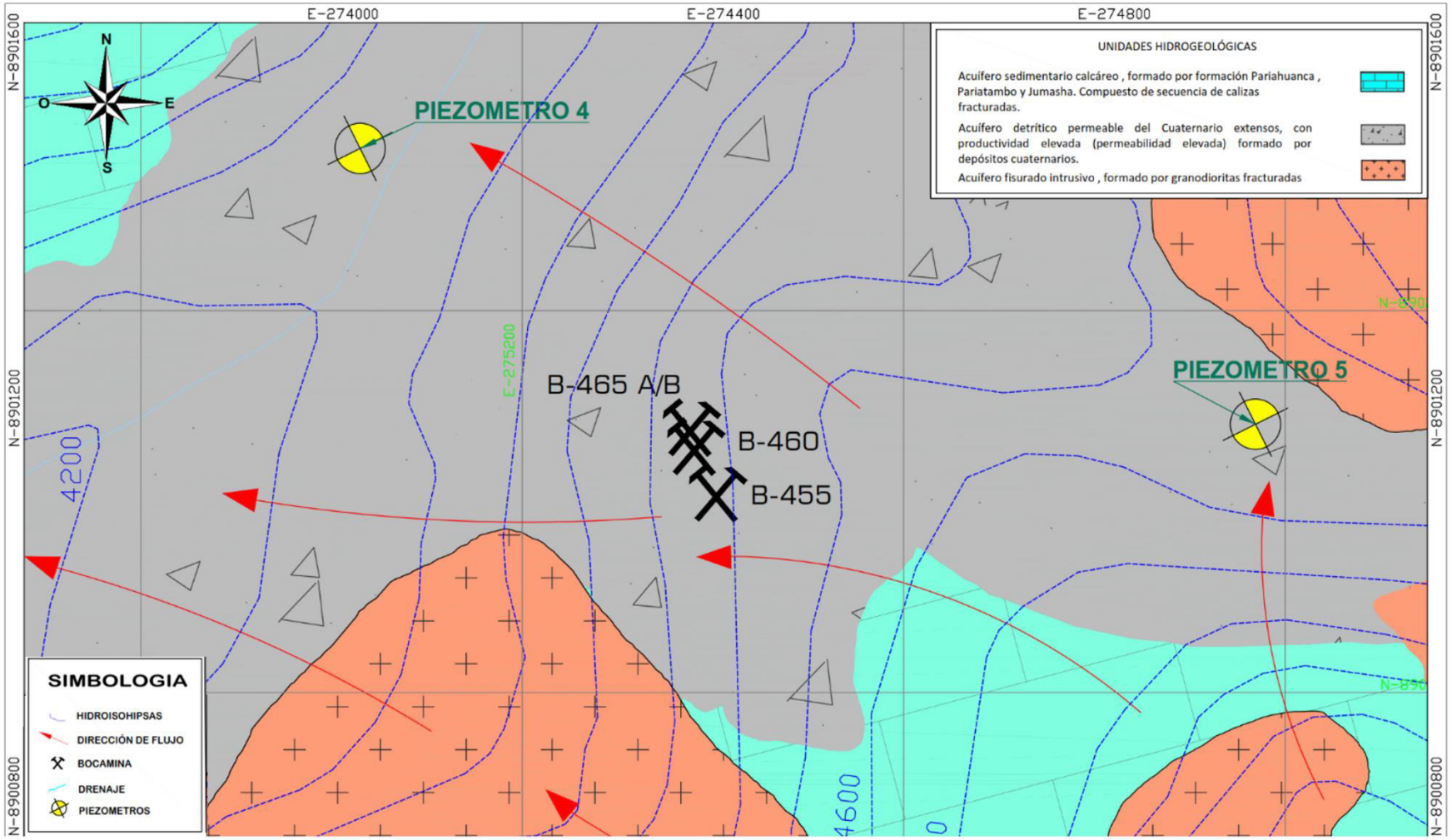
Fuente: Elaboración propia

Sector Riqueza

El sector Riqueza, presenta en su área de estudio las Bocaminas B-465 A, B -465 B, B -460, B – 455. Estos sobreyacen sobre el acuífero detrítico permeable del cuaternario formado por depósitos fluvio aluviales, coluviales y morrénicos compuestos de gravas arenosas, limos y arcillas.

Las Líneas de flujo se dirigen en dirección NO, este sector está caracterizado por presentar en la zona de estudio material cuaternario disgregado, infrayaciendo a este se presenta el acuífero sedimentario calcáreo los cuales se caracterizan por presentar fracturas, fisuras y una mayor porosidad en la roca, este tipo de acuífero se caracteriza por tener caudales de descarga bajos y está compuesto por una secuencia de calizas. En los alrededores se presenta acuífero fisurado intrusivo conformada por granodiorita fracturada producto de la intrusión. Estos flujos de agua se direccionan en base a la topografía y la litología presente en la zona de estudio.

Figura 42 Plano de Hidroisohipsas sector Riqueza



Fuente: Elaboración propia.

Zona Sinchi Roca

BOCAMINA 070

Este: 274380 Norte: 8901112 Z: 4128 msnm

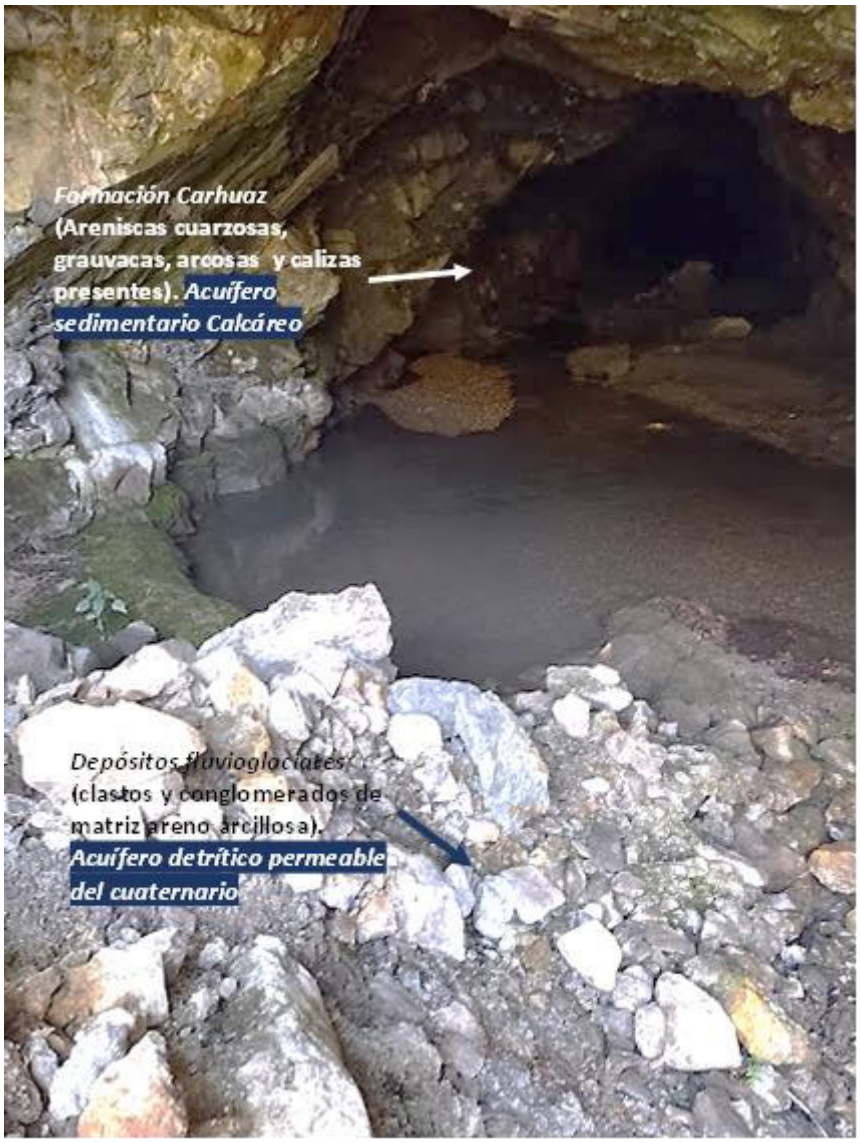
Figura 43 Hidrogeología de la Bocamina 070



Fuente: Elaboración propia.

Esta bocamina se ubica en la parte baja del área de estudio, cerca al valle de la quebrada. Hidrogeológicamente en la parte superficial de la bocamina tiene presente depósitos fluvio aluviales depositados en menor medida conocida como el acuífero detrítico permeable del cuaternario. Estos depósitos tienen un grado alto de meteorización y presentan vegetación entre los intersticios favoreciendo la percolación de lluvias que se infiltran desde la superficie hasta la parte interna. Infrayaciendo a esta formación yace la unidad Hidrogeológica Acuífero sedimentario Calcáreo compuesto de areniscas, calizas (cuarzosas y arcosas), esta unidad presenta una característica particular que es la oxidación del Fe (principalmente en areniscas arcosas y grauvacas), produciendo una arenisca ferruginosa de tonalidad brunácea. Esta coloración es persistente debido a la meteorización y a la exposición constante producto de la infiltración de lluvia entre los planos de estratificación y diaclasamiento.

Figura 44 Hidrogeología de la Bocamina 070



Fuente: Elaboración propia.

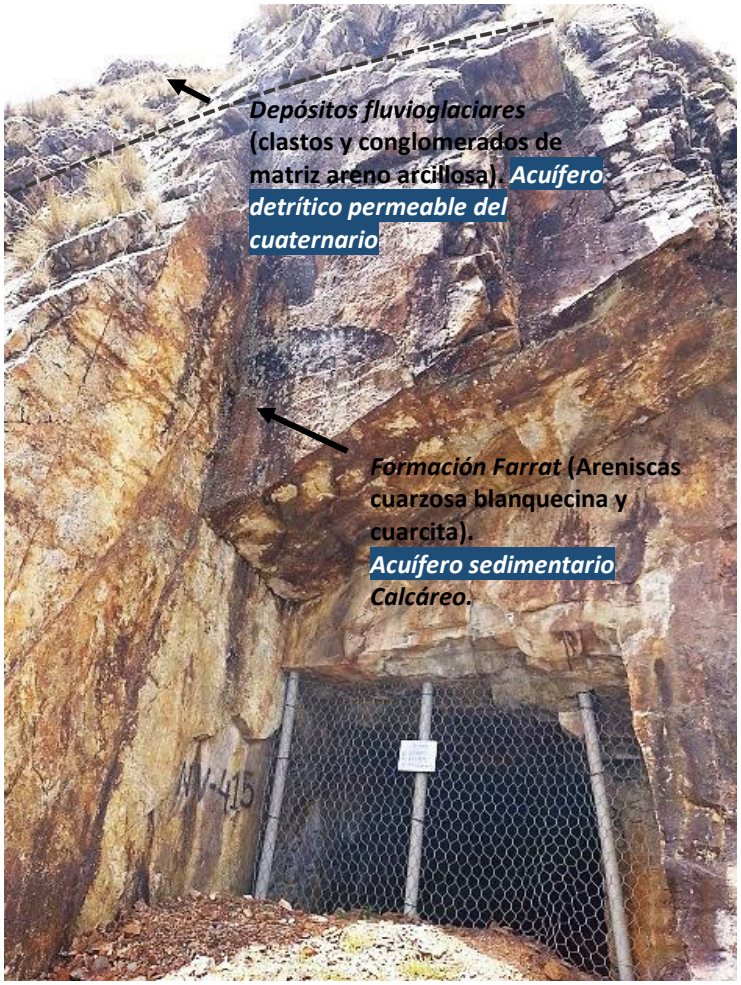
Se presenta en la parte interior de la bocamina. En la parte de los alrededores de las paredes yace la unidad Hidrogeológica Acuífero sedimentario Calcáreo compuesto de areniscas cuarzosas, grauvacas y arcosas; esta unidad presenta una característica particular que es la oxidación del Fe (principalmente en las areniscas arcosas y grauvacas), produciendo una arenisca ferruginosa de tonalidad brunácea, la cual ha perdido sostenibilidad producto de que suprayaciendo a esta unidad se encuentra presente la unidad hidrogeológica Acuífero detrítico permeable del cuaternario compuesto de material gravoso, depósito fluvioglaciar y aluvial de granos medios a finos, que al encontrarse expuesto a la superficie , al producirse la lluvia se infiltra por los intersticios.

Zona Arabia

BOCAMINA 415

Este: 274008 Norte: 8901988 Z: 4469 msnm

Figura 45 Hidrogeología de la Bocamina 415



Fuente: Elaboración propia.

Hidrogeológicamente la bocamina 415 del sector Arabia, es un acuífero sedimentario calcáreo, presenta areniscas cuarzosas y cuarcitas de buen sostenimiento, esta litología hace referencia a la Formación el cual presenta espesores superiores a los 20 metros , sin embargo estos estratos al tener contacto con el intrusivo que se presenta al margen izquierdo ha sufrido un ligero metamorfismo, consecuencia de ello en el techo de la bocamina se puede observar algunas fracturas que han sido rellenadas de vetillas de cuarzo y sulfuros. Hay que tener presente que al margen izquierdo de esta bocamina se presenta el acuífero fisurado intrusivo conformado de granodiorita de color gris blanquecino con tonalidad rosácea sin embargo hay que recalcar que la presencia de este es mínima.

Figura 46 Hidrogeología de la Bocamina 415

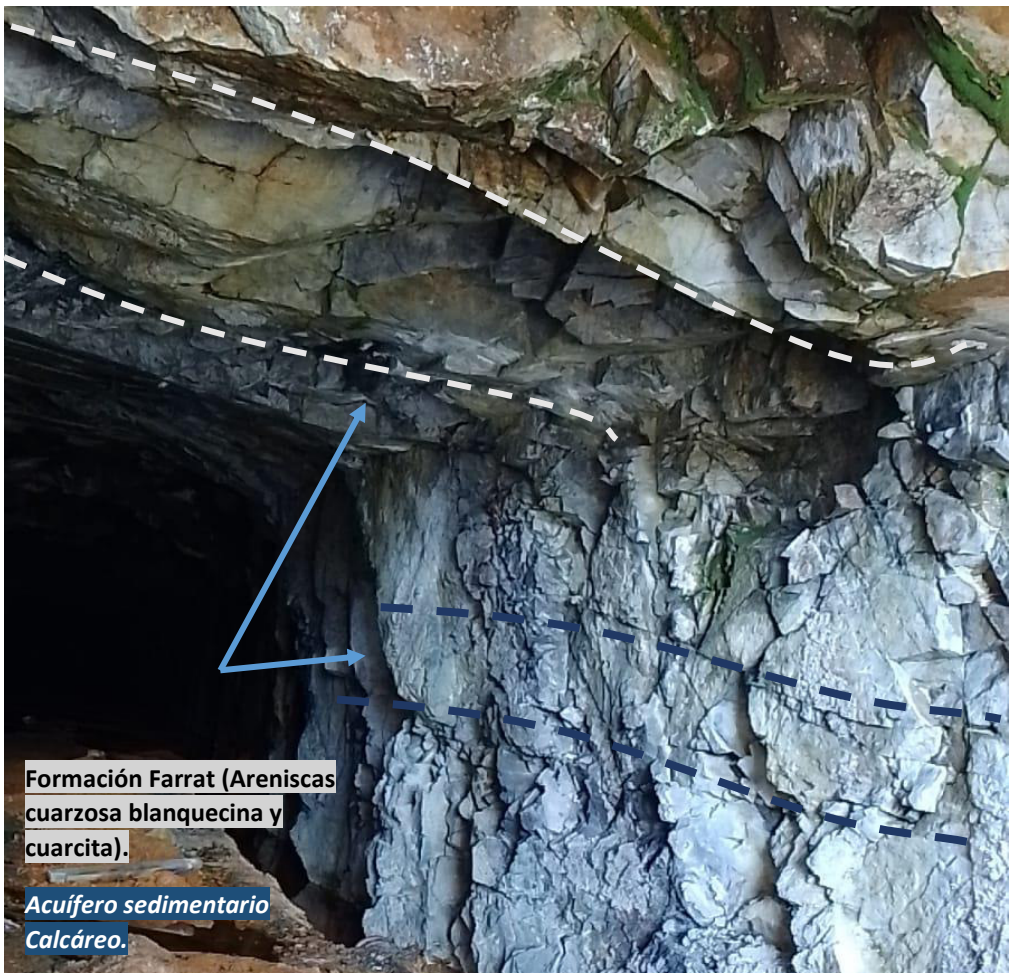


Fuente: Elaboración propia.

En interior mina se aprecia que la Bocamina 415 presenta areniscas cuarzosas y cuarcitas medianamente meteorizadas debido a la percolación de lluvias que se presenta en el techo de la bocamina, este fracturamiento es producto de dos factores esenciales, el primero que suprayaciendo a esta unidad hidrogeológica de Acuífero sedimentario calcáreo suprayacen clastos y conglomerados de matriz areno arcillosa pertenecientes al acuífero detrítico permeable del cuaternario. Hay que tener presente que la bocamina tiene una mínima cantidad de agua en la parte baja producto de esta percolación de lluvias que se infiltra por las fracturas de los depósitos areno arcillosos y las areniscas cuarzosas.

El sostenimiento de este macizo rocoso en la salida de la bocamina es aceptable considerando todos los factores anteriormente mencionados.

Figura 47 Hidrogeología de la Bocamina 415



Fuente: Elaboración propia.

Se aprecia claramente el diaclasamiento de los estratos de arenisca cuarzosa blanquecina, a pesar de alto compacto de los estratos que se encuentran ubicados en el techo y al margen derecho de la bocamina 415. Estas presentan fracturamiento por la presencia de meteorización producto de las aguas que percola de las lluvias. Hay que tener presente estas características para la construcción de los tapones.

BOCAMINA 315

Este: 273938 Norte: 8901635 Z: 4357 msnm

Figura 48 Hidrogeología de la Bocamina 315



Fuente: Elaboración propia.

Hidrogeológicamente la bocamina 315 está conformada por roca intrusiva de un pórfido de granodiorita, la cual es interpretada como acuífero fisurado intrusivo. Esta unidad hidrogeológica puede almacenar el agua, tienen una conductividad hidráulica medio permeable que es condicionado por su grado de fracturación y diaclasamiento por el cual se puede infiltrar el agua de las lluvias.

Así mismo, sobre estas rocas hay una delgada capa de depósitos coluviales y fluvioglaciares que pertenecen a la unidad hidrogeológica de Acuíferos detríticos permeables del cuaternario, esta unidad hidrogeológica tiene la capacidad de almacenar agua de las lluvias y transmitirla lentamente, se encuentra formado por depósitos fluvio aluviales, coluviales y morrénicos compuestos de gravas arenosas, limos y arcillas de ambiente fluvioaluvial.

Figura 49 Hidrogeología de la Bocamina 315



Fuente: Elaboración propia.

Hidrogeológicamente la bocamina 315 está conformada por roca intrusiva de un pórfido de granodiorita, la cual es interpretada como acuífero fisurado intrusivo. Esta unidad hidrogeológica puede almacenar el agua, tienen una conductividad hidráulica medio permeable que es condicionado por su grado de fracturación y diaclasamiento por el cual se puede infiltrar el agua de las lluvias.

Este fracturamiento en la roca misma da indicio del bajo sostenimiento en la presente bocamina (acuñamiento presente en el techo). Estas aguas de lluvias que percola las paredes de la bocamina al tener contacto con los sulfuros y óxidos de la granodiorita se tornan de coloración rojiza.

Zona Riqueza

BOCAMINA 455

Este: 275403 **Norte:** 8901804 **Z:** 4504 msnm

Figura 50 Hidrogeología Local de la Bocamina 455



Fuente: Elaboración propia

Hidrogeológicamente la bocamina 455 en su mayoría está conformada por la Formación Pariahuanca que pertenece a la unidad hidrogeológica de Acuífero sedimentario Calcáreo. La cual está compuesta por calizas grises y azulinas estratificados las cuales efervescen intensamente con ácido clorhídrico. Los estratos de calizas tienen espesores de entre 30 a 90 cm, esto se puede verificar en las paredes internas de la bocamina.

En interior mina se visualiza la presencia de vetillas de calcita, pirita y marcasita. Así mismo, se observa pirita diseminada entre los planos de diaclasas.

Los planos de diaclasas y estratificación fueron erosionados y meteorizados por la acción de las aguas, de manera que estos planos se encuentran rellenos con sedimentos y vegetación en algunos puntos, lo que genera filtración de agua. Así mismo, sobre las rocas de la formación Pariahuanca, se encuentran los depósitos fluvioglaciares, con espesores

de entre 30cm a 1 metro. Se conforma de sedimentos limo-arenosos, clastos heterogéneos y cubierta vegetal.

Figura 51 Calizas Grises de la Formación Pariahuanca



Fuente: Elaboración propia.

Figura 52 Vetilla con presencia de sulfuros



Fuente: Elaboración propia.

BOCAMINA 460

Este: 275381 **Norte:** 8901852 **Z:** 4515 msnm

Figura 53 Hidrogeología Local de la Bocamina 460



Fuente: Elaboración propia.

Hidrogeológicamente la bocamina 460 en su mayoría está conformada por la Formación Pariahuanca que pertenece a la unidad hidrogeológica de Acuífero sedimentario Calcáreo. La cual está compuesta por calizas grises y azulinas estratificadas las cuales efervecen intensamente con ácido clorhídrico. Los estratos de calizas tienen espesores de entre 20 a 50 cm, esto se puede verificar en el afloramiento a la entrada de la bocamina.

En interior mina se visualiza la presencia de vetillas de calcita, pirita y marcasita. Así mismo, se observa pirita diseminada entre los planos de diaclasas.

Los planos de diaclasas y estratificación fueron erosionados y meteorizados por la acción de las aguas, de manera que estos planos se encuentran rellenos con sedimentos y vegetación en algunos puntos, lo que genera filtración de agua. Así mismo, sobre las rocas de la formación Pariahuanca, se encuentran los depósitos fluvioglaciares, con espesores de entre 30cm a 1 metro. Se conforma de sedimentos limo-arenosos, clastos heterogéneos y cubierta vegetal. El contacto entre el macizo rocoso y estos depósitos generan también filtración de agua.

BOCAMINA 465 A – B

Este: 275376 **Norte:** 8901874 **Z:** 4509 msnm

Figura 54 Hidrogeología Local de las Bocaminas 465 A-B



Fuente: Elaboración propia.

Hidrogeológicamente, las bocaminas 465 A y B en su mayoría están conformadas por la Formación Pariahuanca que pertenece a la unidad hidrogeológica de Acuífero sedimentario Calcáreo. La cual está compuesta por calizas grises y azulinas estratificadas las cuales efervecen intensamente con ácido clorhídrico. Los estratos de calizas tienen espesores de entre 20 a 60 cm, esto se puede verificar en el afloramiento a la entrada de la bocamina y en el interior.

En interior mina se visualiza la presencia de vetillas de calcita, pirita (con grosores de hasta 20 cm) y marcasita. Así mismo, se observa pirita diseminada entre los planos de diaclasas y estratificación.

Los planos de diaclasas y estratificación fueron erosionados y meteorizados por la acción de las aguas, de manera que estos planos se encuentran rellenos con sedimentos y vegetación en algunos puntos, lo que genera filtración de agua. Así mismo, sobre las rocas de la formación Pariahuanca, se encuentran los depósitos fluvioglaciares, con espesores de entre 5 cm a 60 cm aproximadamente (el espesor se aumenta mientras más se aleja de la bocamina). Se conforma de sedimentos limo-arenosos, clastos heterogéneos y cubierta vegetal. El contacto entre el macizo rocoso y estos depósitos generan también filtración de agua.

Figura 55 Calizas Grises de la Formación Pariahuanca, bocaminas 465 A-B



Fuente: Elaboración propia.

Figura 563 Vetilla de pirita en el afloramiento entrada de bocaminas 465 A-B



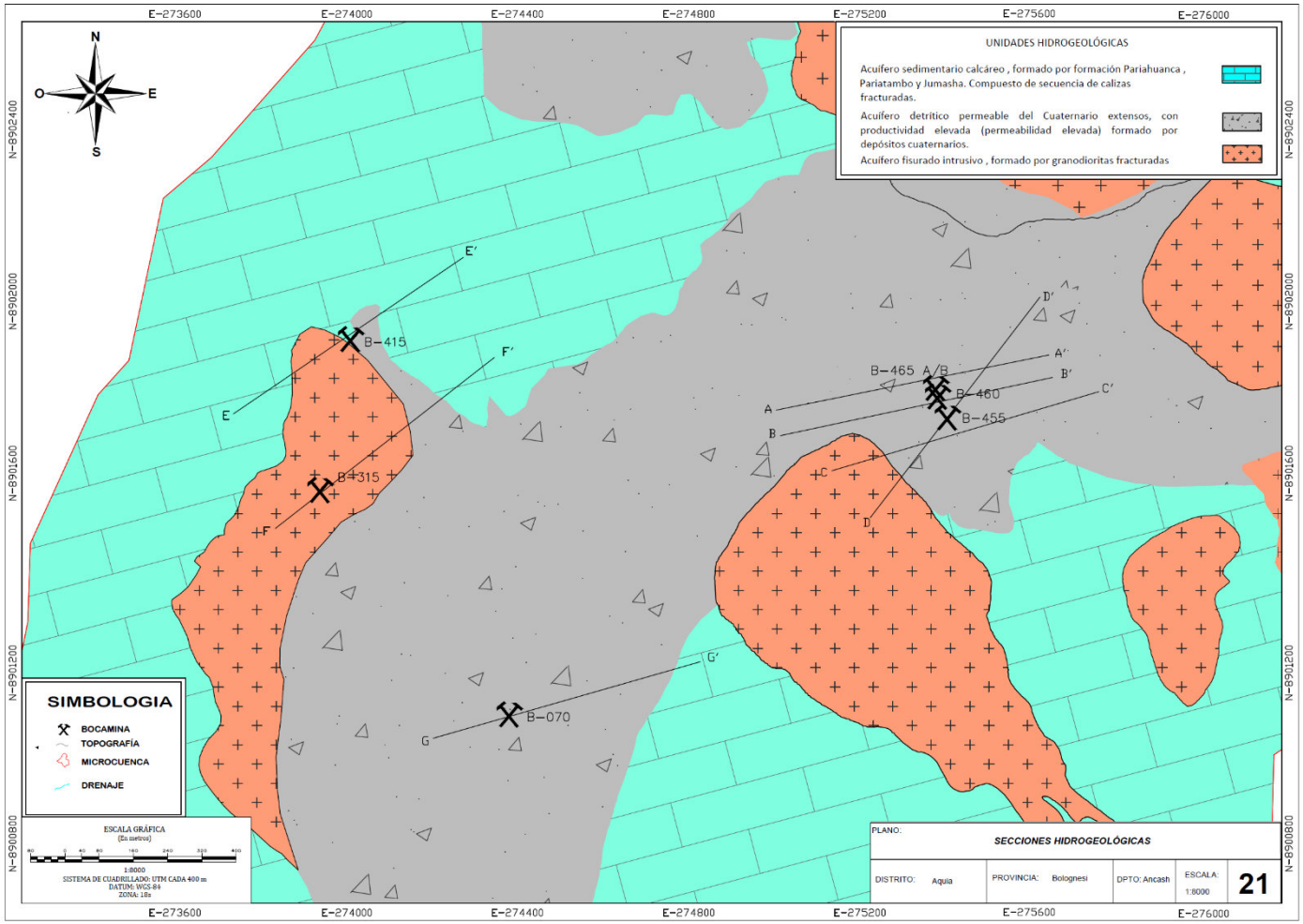
Fuente: Elaboración propia.

5.7. SECCIONES HIDROGEOLÓGICAS

Se realizaron tres secciones hidrogeológicas, que fueron ubicados estratégicamente, para poder observar mejor las unidades Hidroestratigráficas del área de Estudio.

El área de la zona de estudio yace sobre el acuífero fisurado el cual se encuentra en algunas zonas subyaciendo a los acuíferos detríticos permeables.

Figura 574 Plano de Secciones Hidrogeológicas



Fuente: Elaboración propia

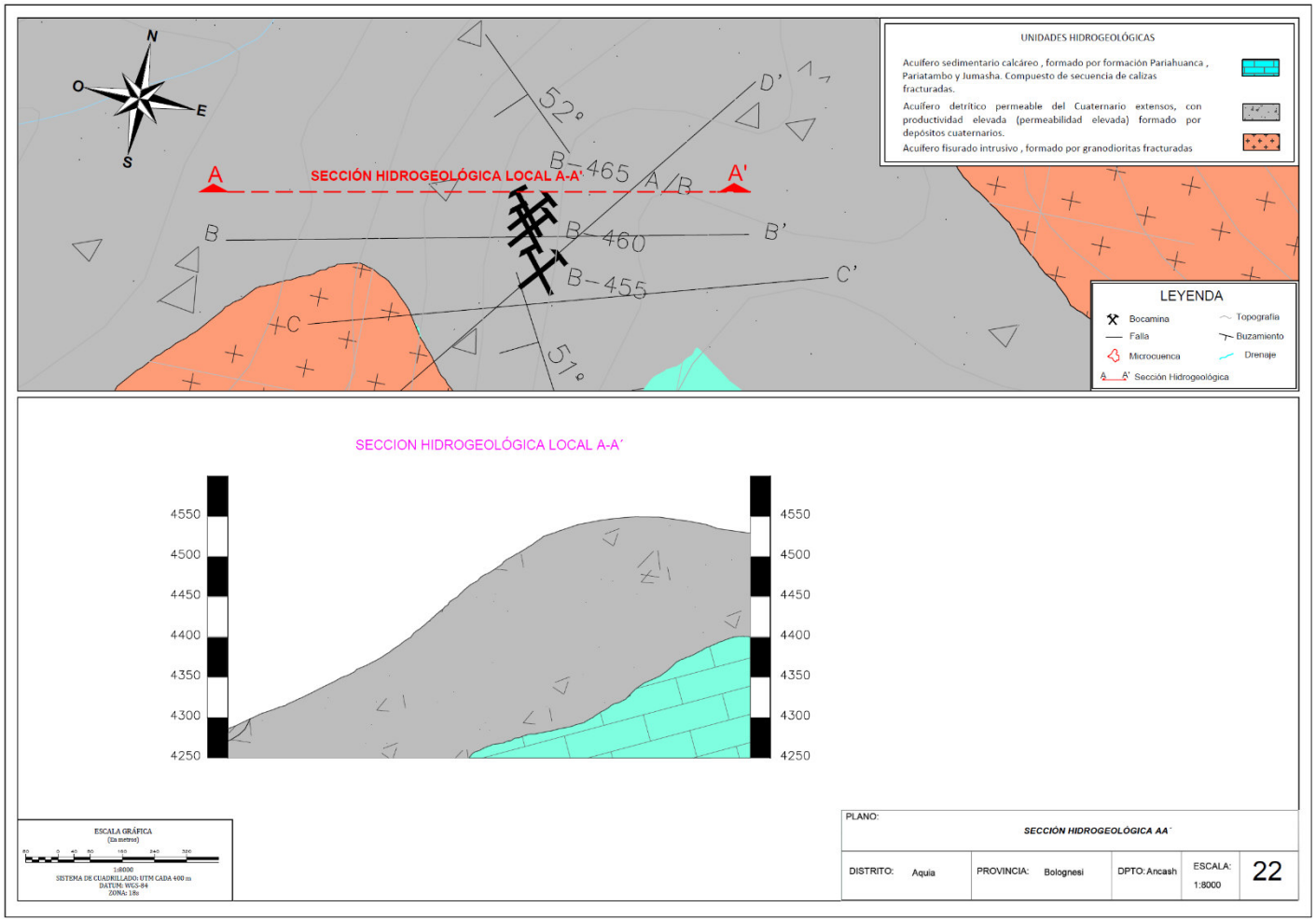
5.7.1. Sección Hidrogeológica A - A´

En el perfil hidrogeológico A-A´ (Ver figura siguiente) se delimita por dos unidades hidrogeológicas.

La Sección Hidrogeológica Tiene una orientación de NO – SE.

En la parte superior de la sección se encuentra la unidad hidrogeológica acuífero detrítico permeable del cuaternario formado por depósitos fluvio aluviales, coluviales y morrénicos compuestos de gravas arenosas, limos y arcillas. Infrayaciendo a esta unidad se presenta el acuífero sedimentario calcáreo los cuales se caracterizan por presentar fracturas, fisuras y una mayor porosidad en la roca, este tipo de acuífero se caracteriza por tener caudales de descarga bajos y está compuesto por una secuencia de calizas.

Figura 58 Plano de Sección Hidrogeológica A – A´



Fuente: Elaboración propia.

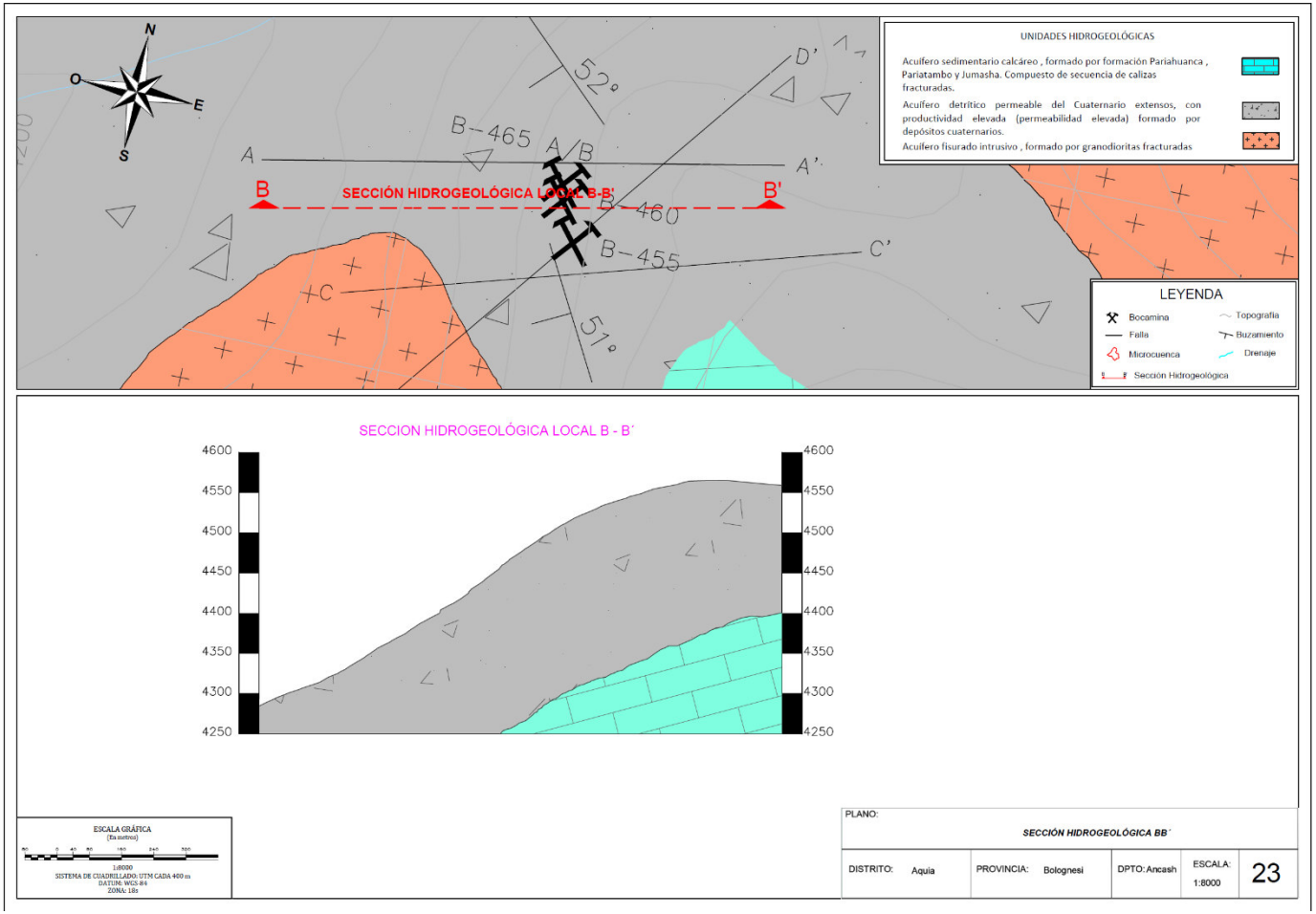
5.7.2. Sección Hidrogeológica B - B´

En el perfil hidrogeológico B - B´ (Ver figura siguiente) se delimita por dos unidades hidrogeológicas.

La Sección Hidrogeológica Tiene una orientación de SW – NE.

En la parte superior de la sección se encuentra la unidad hidrogeológica acuífero detrítico permeable del cuaternario formado por depósitos fluvio aluviales, coluviales y morrénicos compuestos de gravas arenosas, limos y arcillas. Infrayaciendo a esta unidad se presenta el acuífero sedimentario calcáreo los cuales se caracterizan por presentar fracturas, fisuras y una mayor porosidad en la roca, este tipo de acuífero se caracteriza por tener caudales de descarga bajos y está compuesto por una secuencia de calizas.

Figura 59 Plano de Sección Hidrogeológica B – B´



Fuente: Elaboración propia.

5.7.3. Sección Hidrogeológica C - C´

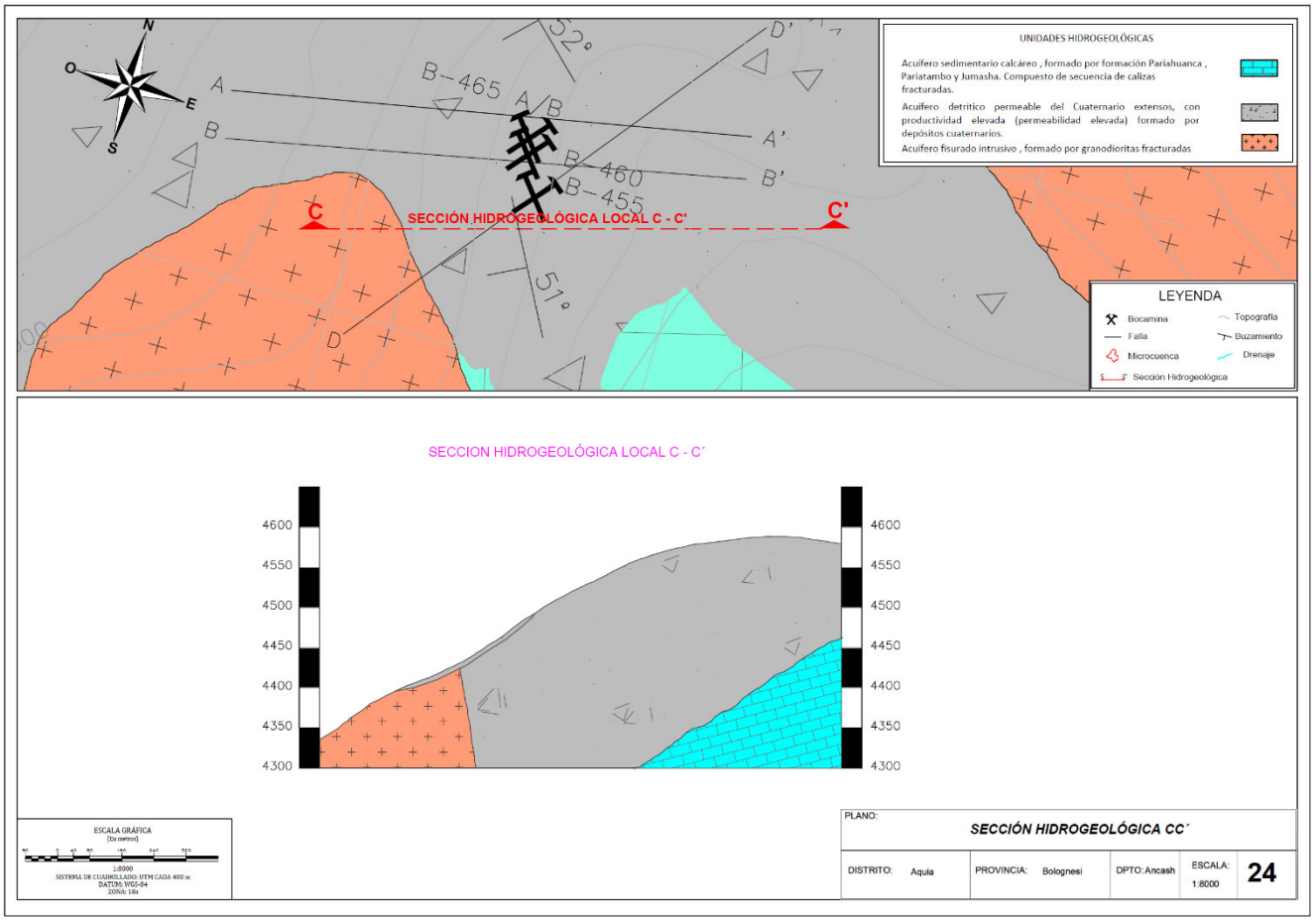
En el perfil hidrogeológico C - C´ (Ver figura siguiente) se delimita por tres unidades hidrogeológicas.

La Sección Hidrogeológica su orientación es de SW – NE.

En la parte superior de la sección se encuentra la unidad hidrogeológica acuífero detrítico permeable del cuaternario formado por depósitos fluvio aluviales, coluviales y morrénicos compuestos de gravas arenosas, limos y arcillas. Infrayaciendo a esta unidad se presenta el acuífero sedimentario calcáreo los cuales se caracterizan por presentar fracturas, fisuras y una mayor porosidad en la roca, este tipo de acuífero se caracteriza por tener caudales de descarga bajos y está compuesto por una secuencia de calizas.

Al margen izquierdo de la sección se presenta la unidad hidrogeológica de acuífero fisurado intrusivo, conformada por granodiorita fracturada producto de la intrusión y la exposición en algunas partes a la meteorización.

Figura 60 Plano de Sección Hidrogeológica C – C´



Fuente: Elaboración propia.

5.7.4. Sección Hidrogeológica D - D´

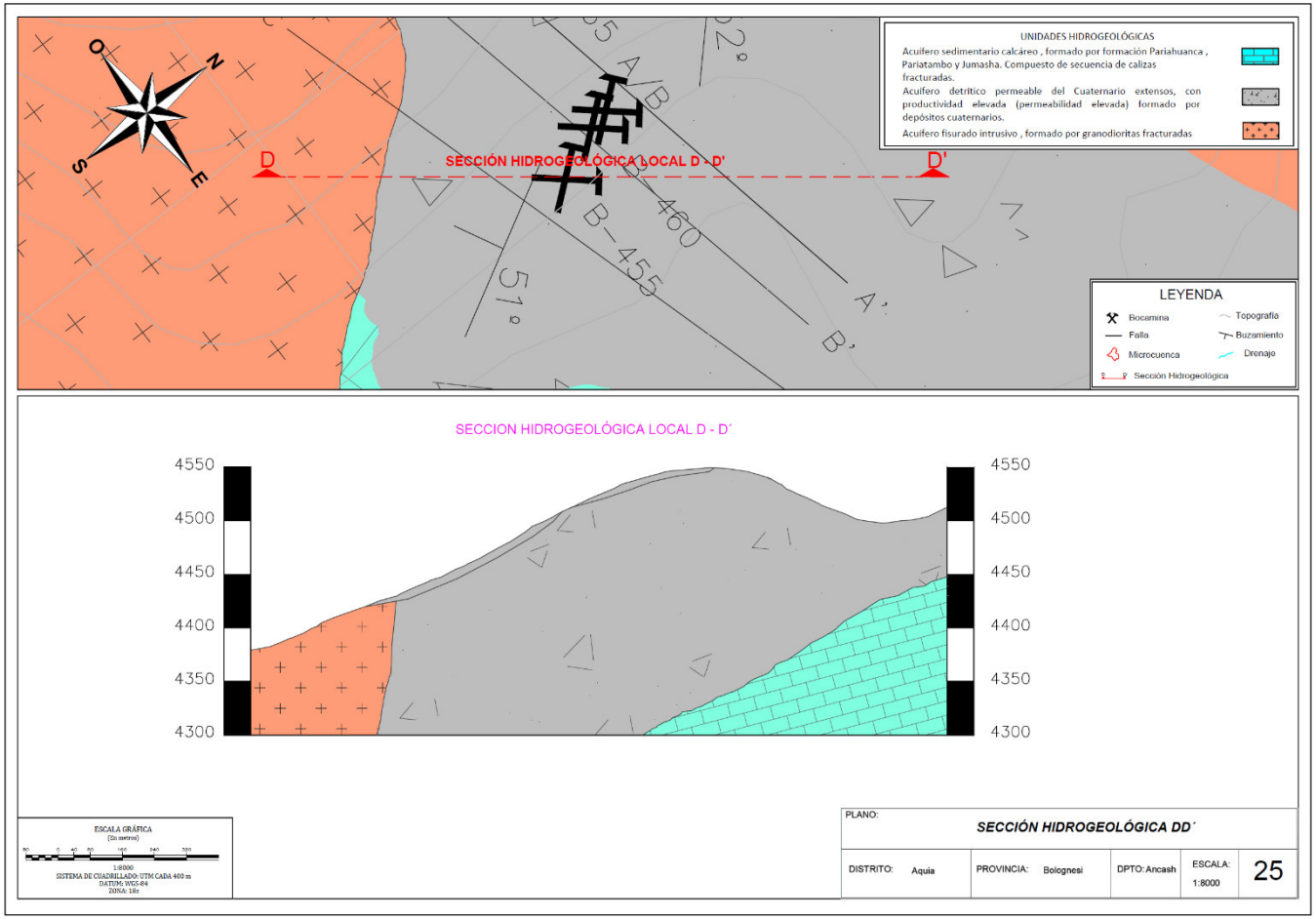
En el perfil hidrogeológico D - D´ (Ver figura siguiente) se delimita por tres unidades hidrogeológicas.

La Sección Hidrogeológica su orientación es de SW – NE.

En la parte superior de la sección se encuentra la unidad hidrogeológica acuífero detrítico permeable del cuaternario formado por depósitos fluvio aluviales, coluviales y morrénicos compuestos de gravas arenosas, limos y arcillas. Infrayaciendo a esta unidad se presenta el acuífero sedimentario calcáreo los cuales se caracterizan por presentar fracturas, fisuras y una mayor porosidad en la roca, este tipo de acuífero se caracteriza por tener caudales de descarga bajos y está compuesto por una secuencia de calizas.

Al margen izquierdo de la sección se presenta la unidad hidrogeológica de acuífero fisurado intrusivo, conformada por granodiorita fracturada producto de la intrusión y la exposición en algunas partes a la meteorización. Hay Que tener presente que es esta bocamina predomina las litologías de las unidades hidrogeológicas de Acuífero detrítico permeable del cuaternario y Acuífero sedimentario calcáreo.

Figura 61 Plano de Sección Hidrogeológica D – D´



Fuente: Elaboración propia.

5.7.5. Sección Hidrogeológica E - E´

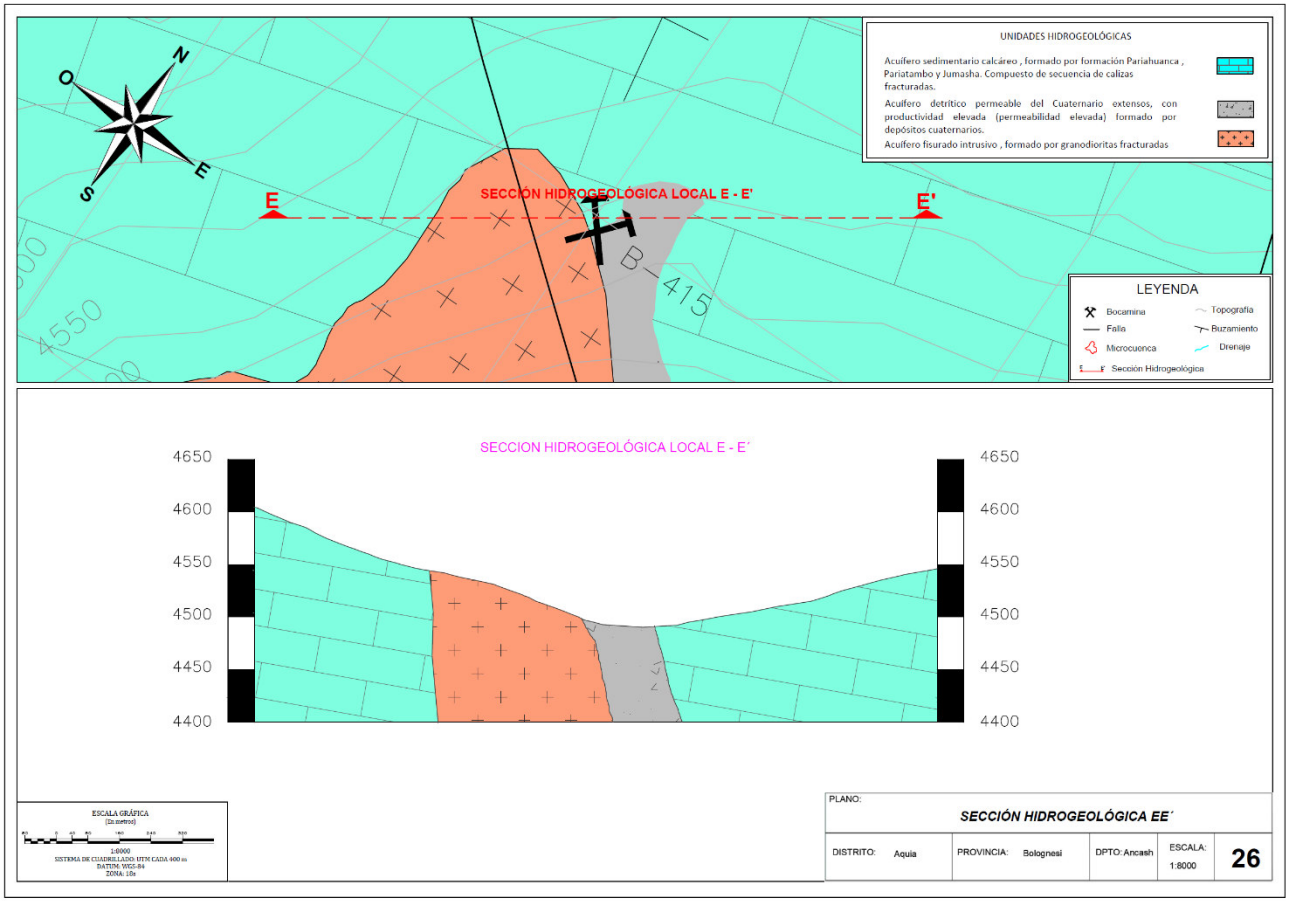
En el perfil hidrogeológico E - E´ (Ver figura siguiente) se delimita por tres unidades hidrogeológicas.

La Sección Hidrogeológica su orientación es de SW – NE.

En la parte superior de la sección se encuentra la unidad hidrogeológica acuífero detrítico permeable del cuaternario formado por depósitos fluvio aluviales, coluviales y morrénicos compuestos de gravas arenosas, limos y arcillas. Infrayaciendo a esta unidad y abarcando mayor parte de la sección se presenta el acuífero sedimentario calcáreo los cuales se caracterizan por presentar fracturas, fisuras y una mayor porosidad en la roca, este tipo de acuífero se caracteriza por tener caudales de descarga bajos y está compuesto por una secuencia de calizas.

Intruyendo a las calizas se presenta la unidad hidrogeológica de acuífero fisurado intrusivo, conformada por granodiorita fracturada producto de la intrusión y la exposición en algunas partes a la meteorización. Hay Que tener presente que es esta bocamina predomina las litologías de las unidades hidrogeológicas de Acuífero detrítico permeable del cuaternario y Acuífero sedimentario calcáreo.

Figura 62 Plano de Sección Hidrogeológica E – E´



Fuente: Elaboración propia.

5.7.6. Sección Hidrogeológica F - F´

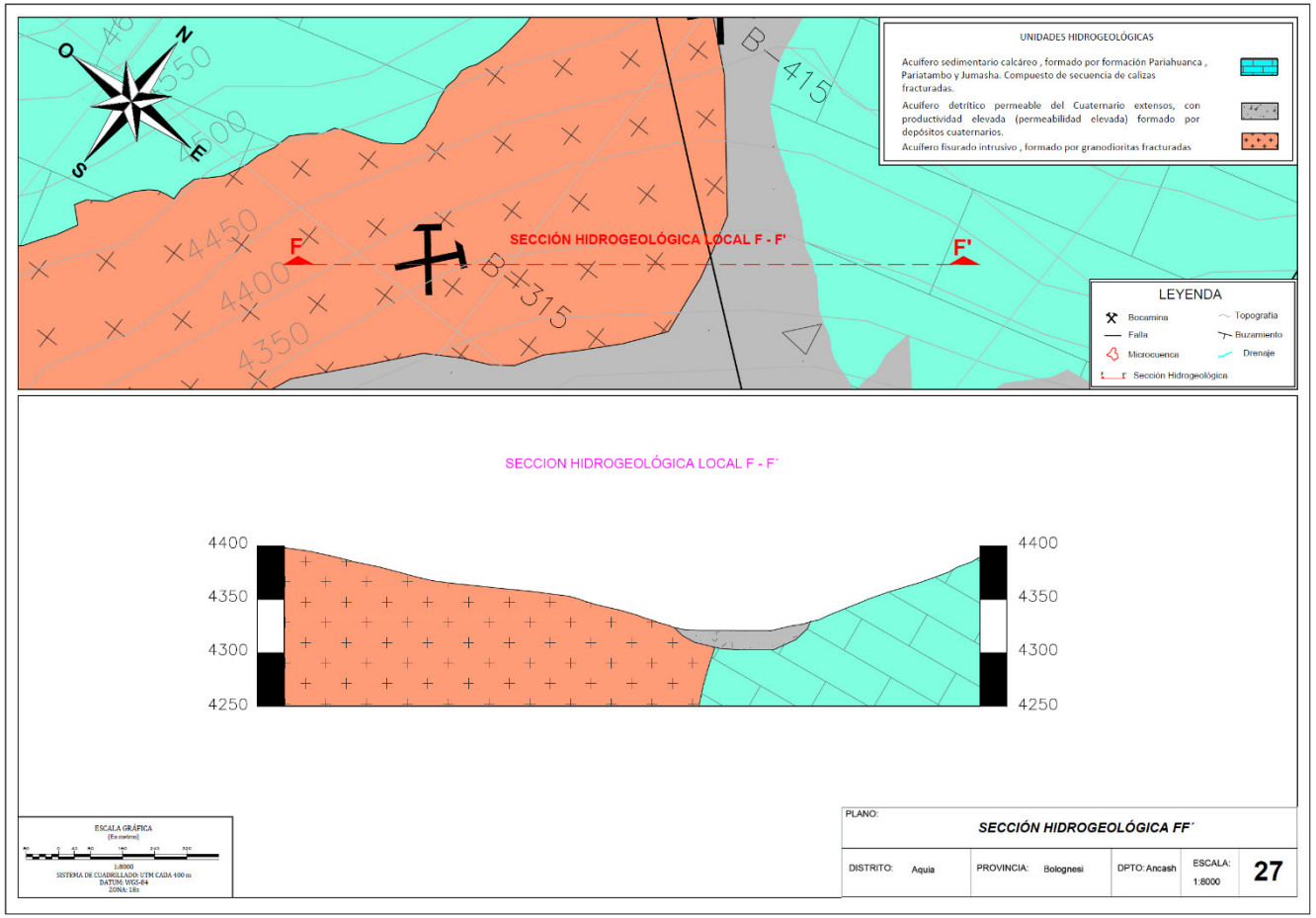
En el perfil hidrogeológico F - F´ (Ver figura siguiente) se delimita por tres unidades hidrogeológicas.

La Sección Hidrogeológica su orientación es de SW – NE.

En la parte superior de la sección se encuentra la unidad hidrogeológica acuífero detrítico permeable del cuaternario formado por depósitos fluvio aluviales, coluviales y morrénicos compuestos de gravas arenosas, limos y arcillas, esta unidad abarca una pequeña cantidad de la sección. Infrayaciendo a esta unidad se presenta el acuífero sedimentario calcáreo los cuales se caracterizan por presentar fracturas, fisuras y una mayor porosidad en la roca, este tipo de acuífero se caracteriza por tener caudales de descarga bajos y está compuesto por una secuencia de calizas.

Al margen izquierdo de la sección se presenta la unidad hidrogeológica de acuífero fisurado intrusivo, esta unidad abarca una mayor parte de toda la sección y está conformada por granodiorita fracturada producto de la intrusión y la exposición en algunas partes a la meteorización. Hay Que tener presente que es esta bocamina predomina las litologías de las unidades hidrogeológicas de Acuífero detrítico permeable del cuaternario y Acuífero sedimentario calcáreo.

Figura 63 Plano de Sección Hidrogeológica F – F´



Fuente: Elaboración propia.

5.7.7. Sección Hidrogeológica G - G´

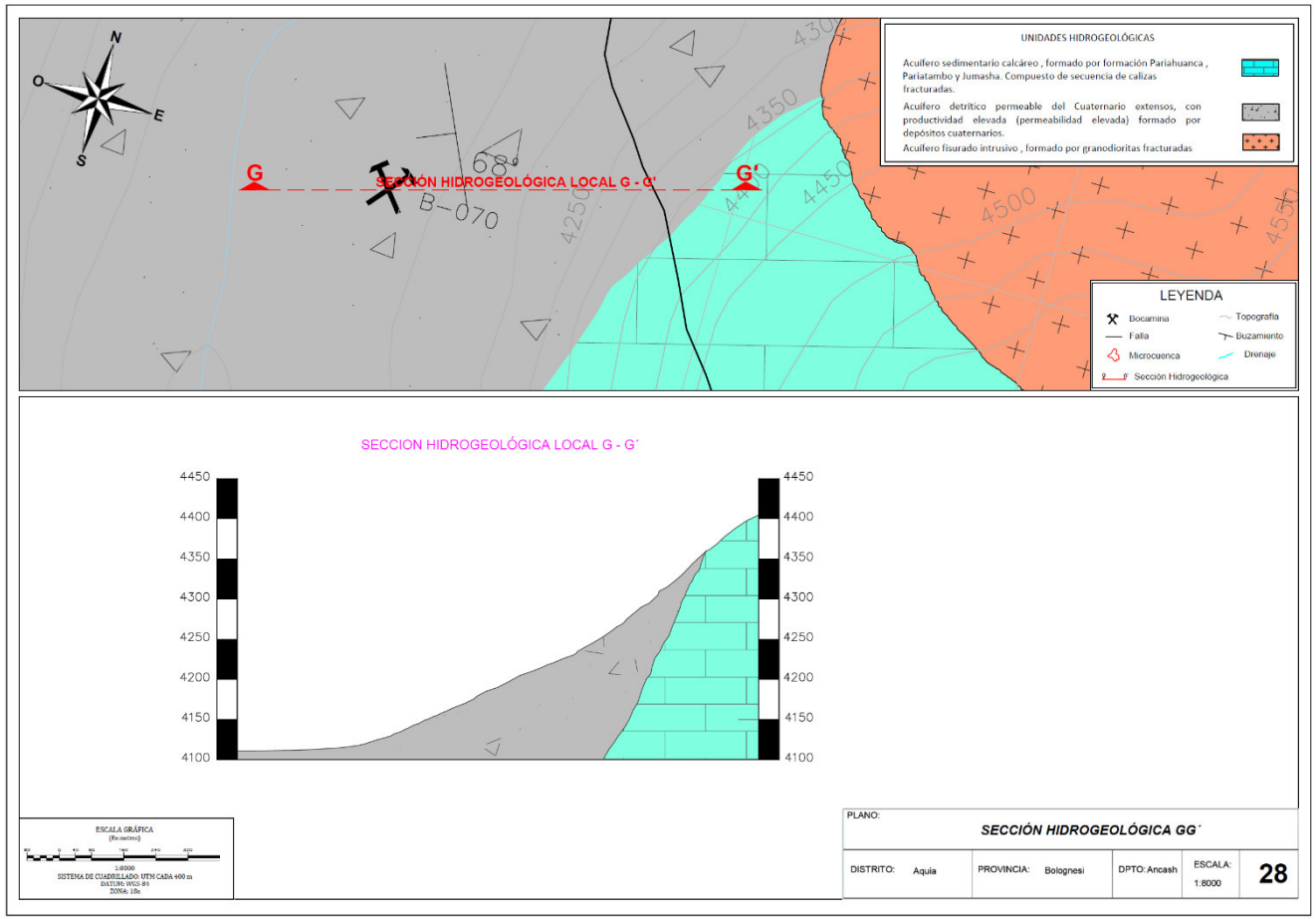
En el perfil hidrogeológico G – G´ (Ver figura siguiente) se delimita por dos unidades hidrogeológicas.

La Sección Hidrogeológica Tiene una orientación de SW – NE.

En la parte superior de la sección se encuentra la unidad hidrogeológica acuífero detrítico permeable del cuaternario formado por depósitos fluvio aluviales, coluviales y morrénicos compuestos de gravas arenosas, limos y arcillas. Infrayaciendo a esta unidad se presenta el acuífero sedimentario calcáreo los cuales se caracterizan por presentar fracturas, fisuras y una mayor porosidad en la roca, este tipo de acuífero se caracteriza por tener caudales de descarga bajos y está compuesto por una secuencia de calizas.

Al margen izquierdo de la sección se presenta la unidad hidrogeológica de acuífero fisurado intrusivo, esta unidad abarca una mayor parte de toda la sección y está conformada por granodiorita fracturada producto de la intrusión y la exposición en algunas partes a la meteorización.

Figura 64 Plano de Sección Hidrogeológica G – G´



Fuente: Elaboración propia.

5.8. ENSAYOS DE CALIDAD DE AGUA

En el contexto de la **Unidad Minera Pachapaqui**, la calidad del agua es un factor crucial para la gestión sostenible de los recursos hídricos. Los ensayos de calidad de agua realizados en esta investigación permiten evaluar el estado de las fuentes de agua subterránea y superficial en términos de su composición físico-química y biológica, con el objetivo de identificar la presencia de contaminantes derivados de procesos naturales y mineros.

La metodología empleada en estos ensayos se basa en la recolección y análisis de muestras representativas, las cuales fueron sometidas a pruebas en laboratorio bajo estándares nacionales e internacionales. Los tipos de análisis incluyen pruebas físico-químicas, tales como la medición de pH, conductividad y concentración de metales pesados, y análisis biológicos para determinar la presencia de coliformes.

El nombre de los ensayos de laboratorio son los siguientes: **0044-2022 y 0045-22**, específicamente diseñado para monitorear parámetros como acidez, metales pesados, y compuestos disueltos en aguas de áreas mineras. Estos ensayos proveen una base sólida para evaluar el impacto de los efluentes en el sistema hídrico y permiten el desarrollo de estrategias de manejo ambiental en función de los resultados obtenidos.

Ver anexo Anexos de Calidad de Agua 004-2022 y 0045-22.

5.8.1. Resultados de los ensayos de calidad de agua

AS-02 (Cuerpo de agua: Quebrada)

- **pH**: 5.17
- **Conductividad eléctrica**: 191 µS/cm → Relativamente baja, lo que sugiere menor cantidad de iones disueltos en comparación con otras muestras.
- **Sulfatos**: 14.1 mg/L → Baja concentración, lo que sugiere un impacto limitado del drenaje ácido de mina en este punto.
- **Conclusión**: Aunque es algo ácido, este cuerpo de agua tiene una baja conductividad y niveles de sulfatos moderados, lo que indica que está en mejores condiciones en comparación con los puntos de agua residual industrial. **No representa un problema significativo.**

AR-06 (Bocamina 415, Zona Arabia)

- **pH**: 3.09
- **Conductividad eléctrica**: 3096 µS/cm → Elevada, lo que indica una gran cantidad de iones disueltos y una fuerte influencia del drenaje ácido de mina.
- **Sulfatos**: 883.7 mg/L → Alta concentración de sulfatos, lo que es un claro signo de drenaje ácido de mina.
- **Conclusión**: Este punto es uno de los más críticos en términos de acidez y carga de contaminantes. La combinación de bajo pH, alta conductividad y altos niveles de sulfatos lo convierte en **un punto problemático que necesita tratamiento urgente.**

AR-07 (Bocamina 315, Zona Arabia)

- **pH**: 3.6
- **Conductividad eléctrica**: 398 µS/cm → Moderada.
- **Sulfatos**: 166.5 mg/L → Relativamente alto.
- **Conclusión**: Aunque menos crítico que AR-06, este punto sigue siendo ácido y presenta un problema de sulfatos, lo que indica que también requiere manejo de los efluentes ácidos, pero **no es tan severo como AR-06.**

AR-01 (Bocamina 465 A)

- **pH**: 3.21
- **Conductividad eléctrica**: 3999 µS/cm → La más alta entre todas las muestras, indicando una alta concentración de iones disueltos.
- **Sulfatos**: 5229 mg/L → Extremadamente alta concentración de sulfatos, lo que indica un fuerte impacto del drenaje ácido.
- **Conclusión**: Este punto es **uno de los más ácidos** y con la mayor concentración de sulfatos y conductividad. Al igual que AR-06, representa **uno de los mayores problemas en términos de calidad del agua** y requiere un tratamiento urgente.

AR-02 (Bocamina 465 B)

- **pH**: 3.20
- **Conductividad eléctrica**: 3998 µS/cm → También muy alta, similar a AR-01.
- **Sulfatos**: 5165.4 mg/L → Muy alta concentración de sulfatos.
- **Conclusión**: Similar a AR-01, este punto es **extremadamente ácido** y tiene altos niveles de sulfatos. También es **un punto crítico** y representa un problema grave de contaminación.

AR-03 (Bocamina 460)

- **pH**: 3.36
- **Conductividad eléctrica**: 1881 µS/cm → Moderadamente alta.
- **Sulfatos**: 1326.8 mg/L → Alta concentración de sulfatos.
- **Conclusión**: Aunque ácido y con altos niveles de sulfatos, este punto es menos severo que AR-01 y AR-02, pero aún requiere manejo adecuado.

Es problemático, pero menos crítico.

AR-04 (Bocamina 455)

- **pH**: 3.33
- **Conductividad eléctrica**: 1804 µS/cm → Moderadamente alta.
- **Sulfatos**: 1294.9 mg/L → Alta concentración de sulfatos.
- **Conclusión**: Similar a AR-03, presenta altos niveles de sulfatos y acidez. **Requiere atención, aunque no es tan crítico como otros puntos.**

AR-05 (Bocamina 070)

- **pH**: 5.02
- **Conductividad eléctrica**: 39 µS/cm → Muy baja, indicando una baja concentración de iones disueltos.
- **Sulfatos**: 118.2 mg/L → Baja concentración de sulfatos.
- **Conclusión**: Aunque ligeramente ácido, este punto tiene la conductividad más baja y niveles de sulfatos bajos. Esto sugiere que **es uno de los puntos**

en mejor estado entre los evaluados. **No representa un problema significativo.**

AS-01 (Laguna El Burro)

- **pH**: 5.24
- **Conductividad eléctrica**: 309 µS/cm → Baja.
- **Sulfatos**: 51.7 mg/L → Baja concentración de sulfatos.
- **Conclusión**: La Laguna El Burro tiene una acidez leve y baja conductividad. Al igual que el cuerpo de agua AS-02, **está en buenas condiciones** y no presenta problemas significativos.

Los puntos **AR-01** y **AR-02** muestran los valores de pH más bajos junto con una conductividad y concentración de sulfatos elevadas, posicionándolos entre los puntos que requieren mayor atención para asegurar la Calidad del Agua.
De igual forma, **AR-06** destaca por sus niveles elevados de acidez, sulfatos y conductividad, lo cual señala la necesidad de monitoreo continuo para mantener el control de los efluentes ácidos en estas áreas.
En contraste, los puntos **AR-05**, **AS-01** (Laguna El Burro), y **AS-02** (Quebrada) exhiben condiciones de acidez y sulfatos más bajas, lo que representa un riesgo menor en términos de calidad del agua, haciendo innecesarias acciones inmediata.

5.8.2. Interpretación de los resultados

Inventario de Fuentes de Agua Superficial y Subterránea

Análisis de la Distribución de Fuentes: Las numerosas fuentes de agua superficial (quebradas, manantiales y lagunas) y subterránea (piezómetros y bofedales) permiten una visión detallada de cómo los cuerpos de agua están distribuidos a lo largo de la microcuenca Huishcash. Esta distribución es clave para entender qué áreas están más expuestas a los efectos de los efluentes ácidos y permite enfocar los esfuerzos de manejo en zonas con mayor vulnerabilidad hídrica.

Identificación de Zonas Críticas: Los piezómetros, por ejemplo, se ubican estratégicamente en zonas de control alrededor del depósito de relaves inactivo, lo que es importante para vigilar la elevación del nivel freático en áreas que podrían actuar como rutas de transporte de los contaminantes. Los bofedales, dada su extensión y capacidad de almacenamiento, también son áreas de interés, ya que, aunque de baja producción, pueden ser sensibles a los efluentes ácidos por su conexión con el flujo subterráneo.

Caracterización Hidrogeológica de los Acuíferos

Acuífero Sedimentario Calcáreo: La conductividad media y el flujo de agua controlado por fracturas en las formaciones Pariahuanca, Pariatambo y Jumasha representan características hidrogeológicas cruciales para la evaluación. Estos acuíferos, aunque de bajo caudal, tienen una estabilidad que asegura el abastecimiento de agua en la región, siendo críticos para la sostenibilidad hídrica. Sin embargo, su vulnerabilidad a los contaminantes puede estar en las fracturas interconectadas, que podrían actuar como rutas de transporte de efluentes ácidos hacia las fuentes de agua superficial.

Acuífero Detrítico Permeable del Cuaternario: Este acuífero, formado por depósitos fluvio-aluviales y morrénicos, almacena y libera agua lentamente, siendo de baja producción. Su función es fundamental para el almacenamiento de agua subterránea, pero su permeabilidad también implica que podría ser un reservorio susceptible a la acumulación de contaminantes, especialmente en las zonas donde se superpone con depósitos de efluentes.

Acuífero Fisurado Intrusivo: Las rocas intrusivas, con fracturación que permite la permeabilidad, son fundamentales para el almacenamiento de agua. Estas formaciones, sin embargo, tienen conductividades limitadas, por lo que cualquier incremento en contaminantes, como los efluentes ácidos, podría alterar significativamente la calidad del agua en estas unidades. Este tipo de acuífero, por su permeabilidad condicionada por fracturas, puede ser tanto un recurso hídrico como una posible ruta de dispersión de contaminantes.

Ensayos de Calidad de Agua

Parámetros Físicos y Químicos (pH, Conductividad y Sulfatos): Los resultados de pH bajo y alta conductividad en algunos puntos reflejan una influencia de los efluentes ácidos

en las fuentes de agua. Este análisis indica que la acidez y la presencia de sulfatos y metales pesados son particularmente críticos en puntos como AR-01 y AR-02, los cuales muestran condiciones que necesitan monitoreo constante para evitar que los contaminantes se propaguen.

Presencia de Metales Pesados: La detección de metales como hierro, cobre y zinc en ciertas fuentes subterráneas y superficiales indica un riesgo de contaminación significativa. Esta presencia de metales pesados no solo es un indicador de los efluentes ácidos, sino que también resalta la importancia de mantener estos parámetros dentro de los límites ambientales.

Calidad Biológica del Agua: Aunque la presencia de coliformes no sea el foco principal en un contexto minero, la calidad biológica del agua en fuentes que podrían ser utilizadas por comunidades circundantes sigue siendo un aspecto importante a evaluar.

5.8.3. Resultados y Aplicación para el Manejo de Efluentes Ácidos

Con los resultados de la evaluación hidrogeológica y los ensayos de calidad de agua, puedes concluir que:

- Las características hidrogeológicas del área de estudio (fracturación de acuíferos, patrones de flujo, zonas de recarga y descarga) influyen directamente en cómo los efluentes ácidos se dispersan y en qué zonas se concentran. Los acuíferos fisurados y los depósitos aluviales juegan un papel central en la circulación y potencial acumulación de contaminantes.
- Los puntos de mayor acidez y conductividad identificados en los ensayos de calidad de agua reflejan áreas de interacción directa con los efluentes ácidos, lo que te permitirá señalar zonas prioritarias de monitoreo y aplicar controles específicos.
- Con la integración de los inventarios de fuentes, la caracterización hidrogeológica y los resultados de calidad de agua, la tesis provee una base sólida para el desarrollo de un plan de gestión que identifique rutas de transporte de contaminantes y puntos críticos donde se deben aplicar medidas de mitigación.

6. CAPITULO VI: CONCLUSIONES

La evaluación hidrogeológica de las fuentes de agua subterránea y superficial es fundamental para la gestión eficiente de los recursos hídricos en la Unidad Minera Pachapaqui. Esta evaluación permite entender la dinámica del agua en el área de estudio, lo que a su vez facilita la implementación de estrategias de manejo y conservación del recurso hídrico, asegurando así su sostenibilidad.

La evaluación de las fuentes de agua en el área de estudio ha permitido identificar tanto cuerpos de agua superficial (ríos, quebradas) como subterránea (pozos y manantiales), todos los cuales juegan un papel esencial en el balance hídrico local. La caracterización detallada de estas fuentes, a través de análisis hidroquímicos y mediciones de caudales, proporciona una línea base necesaria para el diseño de estrategias de manejo sostenible. Entender cómo los acuíferos interactúan con las fuentes superficiales permite identificar áreas de recarga y zonas vulnerables a la contaminación. Estas estrategias no solo aseguran una gestión eficiente del agua, sino que también son fundamentales para la mitigación de los impactos generados por las actividades mineras.

A través del análisis hidrogeológico realizado en el área de estudio, se ha identificado que la formación Pariahuanca desempeña un rol fundamental como el principal acuífero. Esta formación geológica, compuesta predominantemente por calizas y dolomitas fracturadas, facilita la infiltración y almacenamiento de aguas subterráneas. Las fracturas y fisuras presentes en la roca permiten que el agua de precipitación se filtre hacia el subsuelo, contribuyendo a la recarga de acuíferos locales. Además, los inventarios de fuentes de agua indican que varios manantiales y pozos están directamente asociados a esta formación. Esta capacidad de almacenamiento y recarga confirma la importancia de la Pariahuanca como un acuífero clave para el suministro de agua en la región.

Los resultados de los ensayos de calidad de agua muestran niveles elevados de metales como hierro (Fe) y cobre (Cu), junto con valores de pH bajos, que reflejan una mayor acidez. Estos valores superan los límites permisibles de la normativa ambiental peruana y confirman la influencia de procesos naturales de drenaje ácido de mina (DAM). Esta condición se debe a la geología particular de la zona, donde los minerales sulfurosos, al estar expuestos a agentes geológicos externos como la humedad y el oxígeno, se oxidan de forma natural, liberando metales al ambiente. Estas características geológicas

aumentan la susceptibilidad del área a la acidificación del agua en ciertos cuerpos hídricos cercanos, lo cual puede tener implicancias para el ecosistema local.

Los estudios de flujo subterráneo y la caracterización geológica identifican al sector Riqueza como una zona estratégica para la recarga de acuíferos, gracias a su topografía y a las características geológicas que facilitan la infiltración de agua de lluvia y nieve. Este acuífero, compuesto por rocas permeables y fracturadas, permite que el agua fluya hacia áreas vecinas, como Arabia y Sinchi Roca. La conectividad hidrogeológica de estas zonas contribuye al balance hídrico regional, aunque también las hace sensibles a posibles alteraciones naturales en la calidad del agua, lo que subraya la importancia de un monitoreo y manejo adecuado para proteger estos recursos hídricos.

La combinación de la identificación de fuentes de agua, la caracterización de unidades hidrogeológicas y los resultados de los ensayos de calidad de agua establece una base sólida para el desarrollo de un plan de gestión sostenible. Este plan debería enfocarse en la mitigación del drenaje ácido, la protección de zonas de recarga y el control de los contaminantes en puntos críticos, asegurando así la integridad del sistema hídrico en la Unidad Minera Pachapaqui.

7. CAPITULO VII: RECOMENDACIONES

Implementar un Programa de Monitoreo Continuo de Calidad de Agua, la naturaleza geológica de la Unidad Minera Pachapaqui, con sus acuíferos en formaciones de calizas y dolomitas fracturadas, incrementa la susceptibilidad a cambios químicos en el agua debido a la interacción con minerales sulfurosos. Se recomienda establecer estaciones de monitoreo permanentes en las principales zonas de descarga y recarga, y medir parámetros críticos como el pH, conductividad eléctrica, sulfatos y metales pesados (Fe, Cu, Zn). El monitoreo en tiempo real de estas variables permitirá la detección temprana de procesos de drenaje ácido de mina (DAM) y proporcionará información sobre el estado hidroquímico del sistema acuífero.

Proteger y Gestionar las Zonas de Recarga de Acuíferos, las áreas de recarga, especialmente en el sector Riqueza y la formación Pariahuanca, están constituidas por rocas permeables con una fracturación intensa que facilita la infiltración. Para asegurar que el agua de precipitación ingrese de forma limpia y libre de contaminantes, es esencial implementar estrategias de conservación. Esto incluye el uso de vegetación nativa en las zonas de recarga, que permite aumentar la infiltración y reducir la erosión superficial. Se recomienda el establecimiento de zonas de protección alrededor de estas áreas críticas, evitando actividades industriales y agrícolas que generen compuestos contaminantes que pudieran migrar hacia el sistema acuífero por infiltración a través de las fracturas.

Mitigación y Manejo de Efluentes Ácidos en zona vulnerables, la estructura hidrogeológica del área de estudio, caracterizada por acuíferos fisurados y zonas de contacto geológico con minerales sulfurosos, facilita la oxidación de sulfuros y la generación de DAM. En estos puntos críticos, se recomienda el uso de sistemas de neutralización de pH mediante la adición de agentes alcalinizantes como cal o carbonato cálcico en el flujo de agua ácida. Además, la implementación de barreras reactivas permeables en las rutas de flujo subterráneo afectadas puede ayudar a reducir la movilidad de los metales. Estas barreras contienen materiales reactivos que precipitan y retienen los metales pesados, evitando su transporte hacia las fuentes de agua cercanas.

Desarrollar un Plan de Gestión para el Recurso Hídrico, la complejidad hidrogeológica de la Unidad Minera Pachapaqui, con acuíferos sedimentarios y detríticos de conductividad variable, requiere un enfoque integral en el manejo de los recursos

hídricos. El plan de gestión debe incluir la zonificación de áreas de recarga, tránsito y descarga, así como la priorización de zonas vulnerables a la contaminación por su exposición a las fracturas y contactos litológicos. Además, es importante realizar estudios isotópicos de las aguas para comprender la antigüedad y origen de los flujos subterráneos, lo que permitirá diseñar acciones de mitigación más específicas y adaptadas a las características de cada unidad hidrogeológica.

Fomentar la Investigación y Adaptación de Técnicas de Mitigación Ecológica, la presencia de vegetación y suelos en las zonas de recarga puede ayudar a la fitorremediación de aguas afectadas por metales pesados y a la estabilización de suelos vulnerables al DAM. Investigaciones recientes en hidrogeología y geoquímica han demostrado que algunas especies vegetales pueden absorber y acumular metales en sus tejidos, actuando como filtros naturales. Se recomienda investigar la viabilidad de esta técnica en la microcuenca Huishcash y fomentar la revegetación en zonas alteradas por actividades mineras, utilizando especies adaptadas a suelos ácidos y con capacidad de retención de metales.

Fortalecer la Conectividad Hidrogeológica y sus Beneficios para el Balance Hídrico, la conectividad hidrogeológica entre el sector Riqueza y las zonas adyacentes como Arabia y Sinchi Roca es esencial para mantener el balance hídrico en la microcuenca. La presencia de rocas permeables y fracturadas permite el flujo natural de agua subterránea, contribuyendo al abastecimiento de las áreas colindantes. Sin embargo, esta conectividad también conlleva riesgos de transporte de contaminantes. Se recomienda implementar un sistema de monitoreo interconectado que permita rastrear la calidad y cantidad del flujo entre estas áreas, y realizar modelaciones de flujo subterráneo para prever y controlar posibles impactos ambientales.

Divulgar y Capacitar sobre Buenas prácticas de Gestión Hídrica en la Unidad Minera, la adecuada gestión de los recursos hídricos depende en gran medida del conocimiento y compromiso de todos los actores involucrados, incluidos el personal de la unidad minera y las comunidades cercanas. Se recomienda desarrollar programas de capacitación sobre la importancia de las unidades hidrogeológicas, el papel de la geología en la dinámica hídrica y la influencia del DAM. También se sugiere incluir estudios sobre el ciclo del agua en zonas mineras y la influencia de las fracturas y fisuras en la infiltración y recarga

de acuíferos. Una capacitación bien fundamentada ayuda a la comprensión y gestión de los riesgos hídricos en la unidad minera.

8. CAPITULO VIII: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Astorga, A. (2016). Los problemas de efectividad en el proceso de evaluación de impacto ambiental de Costa Rica y sus consecuencias para la gestión del geólogo.

Astorga, A. (2016). Los problemas de efectividad en el proceso de evaluación de impacto ambiental de Costa Rica y sus consecuencias para la gestión del geólogo. Costa Rica. Obtenido de https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0256-70242016000200197

Cazorla, A. 1997. "La nueva Planificación: Hacia una estrategia de Desarrollo basada en el Aprendizaje Social". En "Experiencias de desarrollo rural en una iniciativa LEADER" 1997 (2 Ed). Dirección General de Agricultura y Alimentación. Comunidad de Madrid. Madrid.

Bocanegra C. (1998) *"Contaminación del Litoral Marino".* Trujillo - Perú. Edit. EPG - UNT. Primera edición Págs. (37-38).

Custodio, E. y M. R. Llamas (Eds.) (1983) .- Hidrología Subterránea. (2 tomos). Omega, 2350 pp.

Custodio, E. y M. R. Llamas (Eds.) (1983) .- Hidrología Subterránea. (1 tomos). Omega, 1753 pp.

Custodio, E. y M. R. Llamas (Eds.) (1983) .- Hidrología Subterránea. (1 tomos). Omega, 1754 pp.

Dammert, Alfredo y Fiorella Molinelli 2006 «¿Qué significa el Proyecto Camisea?». osinergmin, Oficina de Estudios Económicos, documento de trabajo N° 23. Lima https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/geologia/v03_n5/ind_min.htm

FAUSTINO, J. Notas de clase para el curso identificación, evaluación y manejo de zonas de recarga hídrica. San Salvador, 2006. CATIE.113 p

Kamran, S., Shafaqat, A., Samra, H., Sana, A., Samar, F., Muhammad, B. S., Saima, A. B., & Hafiz, M. T. (2013). Heavy Metals Contamination and what are the Impacts on Living Organisms. *Greener Journal of Environmental Management and Public Safety*, *2*(4), 172–179.https://doi.org/10.15580/GJEMPS.2013.4.060413652

Matveyev y Bashmakova (1967) revista de asociación tecnológica Argentina .30 de mayo 1994 Pg 97

More T.G., R. R. (2003). Impact of heavy metals on DNA content in the whole body of freshwater bivalve. Environmental Science and Pollution Research.

Organismo Internacional de energía atómica (2022). Aguas subterráneas. http:Gestión de los recursos hídricos subterráneos | OIEA (iaea.org)

Rivera Uria, M.Y. et. al. (2020). Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Carbonatos pedogénicos para el tratamiento del drenaje ácido de mina (DAM). Experimentos de laboratorio. http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2020v72n1a250919

Rojas, v. (2015). contaminación del agua. Obtenido de http://contaminacionagua.org/causas-contaminacion-agua/Rojas, V. (22 de agosto de 2015). contaminación del agua. Recuperado el 13 de septiembre de 2016, de http://cuidatuaguacuidatuvidacolom.blogspot.mx

Roldan Ibañez, M. A. (noviembre de 2012). el agua. Recuperado el 14 de septiembre de 2016, de http://cmc1bachagua.blogspot.mx/2012/11/consecuencias.htm

Sangita, G. U., & Prasad, B. (2010). Studies on environmental impact of acid mine drain. Indian Journal of Environmental Protection, 30(11), 953–966.

Shabalala & Ekolu (2019). Department of Civil Engineering Science, University of Johannesburg & University of Mpumalanga, South Africa. *Quality of water recovered by treating acid mine drainage using pervious concrete adsorbent. https://doi.org/10.17159/wsa/2019.v45.i4.7545*

https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Ciencias_Ambientales_y_Recursos_Naturales/vol2num5/Revista_de_Ciencias_Ambientales_y_Recursos_Naturales_V2_N5_1.pdf

Bocanegra C. (1998) *"Contaminación del Litoral Marino".* Trujillo – Perú. Edit. EPG – UNT. Primera edición Págs. (37–38).

Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros. (s.f.). Guía Ambiental para el Manejo de Drenaje Acido de Minas. http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/guias/manedrenaje.pdf

Guevara J. (2015) *GENERACIÓN DE ACIDEZ POR LA PRESENCIA DE SULFUROS ENEL FUTURO TAJO DEL PROYECTO MINERO "EL GALENO".* [Tesis de Maestría en Gestión y Auditorías Ambientales, Universidad de Piura].

https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2782/MAS_GAA_030.pdf?sequence=1&isAllowed=y

López J. (2013) *Tratamiento de aguas ácidas provenientes del pad de Lixiviación conNAOH-Almidon; en Cia Minera Sipan Sac, durante Cierre Ambiental. distrito de Llapa, Cajamarca, Perú, 2011-2012.* [Tesis para optar el grado de Doctor en Ciencias Ambientales,Universidad Nacional de Trujillo]. https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/5011/TESIS%20DOCTORAL%20-%20JOSE%20LOPEZ%20GOICOCHEA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Palacios C. (2012) *Valoración económica de la oferta del servicio ambiental hídrico en elbosque de neblina de Mijal, Chalaco – Morropón – Piura.* [Tesis para optar el gradode Doctora en Ciencias Ambientales, Universidad Nacional de Trujillo]. https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/5101/TESIS%20DOCTORAL%20CLAUDIA%20MABEL%20PALACIOS%20ZAPATA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Paredes V. (2005) *Impactos ambientales y económicos generados por las plantas de tratamiento de agua de cola de las fábricas de harina y aceite de pescado del Perúen el ambiente marino, años 1950-2022.* [Tesis para optar el grado Maestro enCiencias con Mención en Gestión Ambiental, Universidad Nacional de Trujillo]. https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/2171/TESIS%20MAESTRIA%20%20%20VICTOR%20PAREDES%20MENDEZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Domenico, P. A., & Schwartz, F. W. (1998). *Physical and chemical hydrogeology* (2nd ed.). Wiley.

Hiscock, K. M. (2005). *Hydrogeology: Principles and practice*. Blackwell Publishing.

Fitts, C. R. (2012). *Groundwater science* (2nd ed.). Academic Press.

Sophocleous, M. (2004). The evolution of groundwater management paradigms in Kansas and the High Plains. *Journal of Hydrology*, 299(1-2), 85-112. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.04.022

9. CAPITULO IX: ANEXOS

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 034

INFORME DE ENSAYO Nº 0044-22

Solicitante : ICM PACHAPAQUI S.A.C.
Dirección del Solicitante : Calle Los Tulipanes N°147-Dpto. 701 Int. a Otr. El Polo (Centro Empresarial Blu Building) - Santiago de Surco
Atención : ICM PACHAPAQUI S.A.C.
Proyecto : Expediente Técnico a Nivel de Ingeniería de Detalle para 07 Bocaminas en La Unidad Minera "Pachapaqui"
Lugar de Muestreo : Región Ancash
Tipo de Muestra : Agua Residual (Industrial), Agua Natural (Superficial/Laguna)
Fecha de Monitoreo : 26/01/22
Fecha de Recepción de Muestra : 27/01/22
Fecha de Inicio de Análisis : 27/01/22
Fecha de Término de Análisis : 01/02/22
Fecha de Emisión : 02/02/22

MEDICIONES IN SITU

Código de Cliente	Descripción	COORDENADAS UTM	
		Norte	Este
AR-01	BOCAMINA 465A (Zona Riqueza)	8901867	0275379
AR-02	BOCAMINA 465B (Zona Riqueza)	8901867	0275379
AR-03	BOCAMINA 460 (Zona Riqueza)	8901842	0275301
AR-04	BOCAMINA 455 (Zona Riqueza)	8901793	0275409
AR-05	BOCAMINA 070 (Zona Sinchi Roca)	8901112	0274364
AS-01	Laguna El Burro	8901841	0275976

Agua Residual (Industrial)

Código de Laboratorio	0044-1	0044-2	0044-3	0044-4	0044-5	*Límite Detección*	*Unidad*
Código de Cliente	AR-01	AR-02	AR-03	AR-04	AR-05		
Parámetros de Campo (In Situ: Datos tomados en campo.)							
pH	3,21	3,20	3,36	3,33	5,02	---	Unid. pH
Conductividad Eléctrica	3999	3998	1881	1804	391	---	uS/cm
Parámetros Físicoquimicos							
TSS	10	9	131	76	27	4	mg/L
Calcio	19,7	24,8	25,1	24,6	22,1	1,5	mg $CaCO_3$/L
Cloruros	427	427	197	94	18	1	mg Cl^-/L
Nitratos	1,15	1,12	0,94	0,90	0,17	0,05	mg NO_3^-N/L
Sulfatos	5229,2	5165,4	1326,8	1294,9	118,2	0,5	mg $SO_4^=$/L
Metales Totales							
Magnesio	1,53	1,49	1,48	1,35	1,36	0,02	mg/ Mg/L
Sodio	1,07	1,11	0,89	0,93	0,93	0,02	mg Na/L

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

Av. Víctor Alzamora 348, Urb. Barrio Medico
Surquillo - Lima
Teléfonos: 242-2696 / 444-8987
web: www.labecoperu.com
e-mail:labeco@labecoperu.com, labecoperu@gmail.com

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 034

Agua Natural (Superficial/Río)

Código de Laboratorio	0044-6	Límite Detección	Unidad
Código de Cliente	AS-01		
Parámetros de Campo (In Situ: Datos tomados en campo.)			
Temperatura	6,80	0,1	°C
pH	5,24	---	Unid. pH
Conductividad Eléctrica	309	---	uS/cm
Oxígeno Disuelto	8	1	mg O/L
Parámetros Físicoquimicos			
Aceites y Grasas	<0,5	0,5	mg/L
Cianuro Wad	0,002	0,001	mg CN^-/L
Cloruros	4	1	mg Cl^-/L
DBO_5	<1	1	mg/L
Fenoles	<0,001	0,001	mg/L
Nitratos	0,17	0,05	mg NO_3^-N/L
Nitritos	<0,002	0,002	mg NO_2^-N/L
SAAM	<0,01	0,01	mg/L
Sulfatos	51,7	0,5	mg $SO_4^=$/L
Metal Total			
Mercurio	<0,001	0,001	mg Hg/L
Parámetros Microbiológicos			
Coliformes Totales	<1,8	<1,8	NMP/100mL
Coliformes Fecales	<1,8	<1,8	NMP/100mL

- Muestreado por el área de monitoreo según procedimiento LB-P-07: Ejecución de Muestreo de Agua.
- La fecha de muestreo es dato proporcionado por el área de monitoreo.
- Lugar y condiciones ambientales del muestreo: Indicado en el acta.
- Condición y Estado de la muestra ensayada: Las muestras llegaron refrigeradas.
- El cliente renuncia al derecho de la dirimencia.

Método de Análisis:

Temperatura: APHA AWWA WEF 2550 B 23rd Edition 2017, Temperature. Laboratory and Field Methods.
pH: APHA AWWA-WEF Part 4500-H+B, 23rd Edition 2017, pH Value. Electrometric Method.
Conductividad Eléctrica: APHA AWWA-WEF Part 2510 B, 23rd Edition. 2017 Conductivity. Laboratory Method.
Oxígeno Disuelto: APHA AWWA-WEF Part 4500-O G, 23rd Edition 2017 Oxygen (Dissolved). Membrane Electrode Method.
TSS: APHA AWWA-WEF Part 2540 D, 23rd Edition 2017 Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105 °C.
Calcio: APHA AWWA-WEF Part 3500-Ca B, 23rd Edition 2017 Calcium. EDTA Titrimetric Method.
Cloruros: APHA AWWA-WEF Part 4500-Cl-B, 23rd Edition 2017 Chloride. Argentometric Method.
Nitratos: APHA AWWA – WEF 4500 – NO-3 – E, 23rd Edition 2017, Nitrogen (Nitrate) Cadmiun Reduction Method.
Sulfatos: APHA AWWA-WEF Part 4500-SO4=E, 23rd Edition 2017, Sulfate.Turbidimetric Method.
Magnesio: APHA AWWA-WEF Part 3111 B, 23rd Edition 2017, Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry. Direct Air-Acetylene Flame Method.
Sodio: APHA AWWA-WEF Part 3030 - E; APHA AWWA-WEF Part 3111 - B, 23rd Edition 2017, Preliminary Treatment of Samples. Nitric Acid –
Aceites y Grasas: APHA AWWA-WEF Part 5520 B, 23rd Edition 2017 Oil and Grease. Liquid-Liquid, Partition-Gravimetric Method.
Cianuro Wad: APHA AWWA-WEF Part 4500-CN^- C, I, E, 23rd Edition 2017 Cyanide. Total Cyanide after Distillation. Weak Acid Dissociable Cyanide. Colorimetric Method.

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

Av. Víctor Alzamora 348, Urb. Barrio Medico
Surquillo - Lima
Teléfonos: 242-2696 / 444-8987
web: www.labecoperu.com
e-mail:labeco@labecoperu.com, labecoperu@gmail.com

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 034

DBO_5: APHA AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Edition 2017 Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test.
Fenoles: EPA METHOD 9065 Rev. 0. Phenolics (Spectrophotometric manual 4 AAP with distillation).
Nitritos: APHA AWWA WEF 4500- NO2- B 23rd Edition 2017, Nitrogen (Nitrite) Colorimetric Method.
SAAM: APHA AWWA WEF 5540 C 23rd Edition 2017, Surfactants, Anionic Surfactants as MBAS.
Mercurio Total: APHA AWWA-WEF Part 3112B, 22nd Edition 2012 VALIDADO, Metals by Cold-Vapor Atomic Absorption Spectrometry. Cold-Vapor Atomic Absorption Spectrometric Method.
Coliformes Totales: APHA AWWA WEF Part 9221 B, 23rd Edition. 2017 Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique.
Coliformes Fecales: APHA AWWA-WEF Part 9221 E, 23rd Edition. 2017 Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure.

Quim. Ellen Liliana Deza Montoya
CQP N° 1328
Director Técnico

LABECO GERENCIA ANALISIS AMBIENTALES

Blga. Milagros Taype Villegas
CBP 10623
Coordinador ISO

Ing. Pedro Torrel Talavera
CIP 144914
Supervisor de Emsión de Informes de Ensayo C/CA

Lima, 02 de Febrero de 2022.

Nota 1: El presente documento sólo es válido para la(s) muestra(s) de la referencia.
Nota 2: Este resultado no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de productos **"o como certificado del sistema de Calidad de la entidad que lo produce".**
Nota 3: La(s) muestra (s) y contramuestras se mantendrán por un período de siete (7) días de emitido el presente Informe de Ensayo.
Nota "4": Toda corrección o enmienda física al presente Informe de Ensayo será emitida con "un nuevo informe que haga referencial al corregido".
Nota "5": Está prohibido la reproducción total y/o parcial del presente informe, salvo autorización escrita por LABECO Análisis Ambientales S.C.R.L.
Nota "6": Se adjunta el LB-F-13: Cadena de Vigilancia correspondiente a este informe.
Nota "7": "Para los parámetros in situ, en matriz agua, se realizan las mediciones por duplicado y se reporta el promedio de las mediciones"
Anexo 1: Condiciones de recepción.

---oooOooo---

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

Av. Víctor Alzamora 348, Urb. Barrio Medico
Surquillo - Lima
Teléfonos: 242-2696 / 444-8987
web: www.labecoperu.com
e-mail:labeco@labecoperu.com, labecoperu@gmail.com

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 034

INFORME DE ENSAYO Nº 0045-22

Solicitante	: ICM PACHAPAQUI S.A.C.
Dirección del Solicitante	: Calle Los Tulipanes N°147-Dpto. 701 Int. a Otr. El Polo (Centro Empresarial Blu Building) - Santiago de Surco
Atención	: ICM PACHAPAQUI S.A.C.
Proyecto	: Expediente Técnico a Nivel de Ingeniería de Detalle para 07 Bocaminas en La Unidad Minera "Pachapaqui"
Lugar de Muestreo	: Región Ancash
Tipo de Muestra	: Agua Natural (Superficial/Laguna), Agua Residual (Industrial)
Fecha de Monitoreo	: 27/01/22
Fecha de Recepción de Muestra	: 28/01/22
Fecha de Inicio de Análisis	: 28/01/22
Fecha de Término de Análisis	: 02/02/22
Fecha de Emisión	: 03/02/22

MEDICIONES IN SITU

Código de Cliente	Descripción	COORDENADAS UTM	
		Norte	Este
AS-02	Cuerpo de agua: Quebrada	8901862	0274613
AR-06	BOCAMINA 415 (Zona Arabia)	8901993	0274012
AR-07	BOCAMINA 315 (Zona Arabia)	8901674	0273964

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

Av. Víctor Alzamora 348, Urb. Barrio Medico
Surquillo - Lima
Teléfonos: 242-2696 / 444-8987
web: www.labecoperu.com
e-mail:labeco@labecoperu.com, labecoperu@gmail.com

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 034

Agua Natural (Superficial/Río)

Código de Laboratorio	0045-1	Límite Detección	Unidad
Código de Cliente	AS-02		
Parámetros de Campo (In Situ: Datos tomados en campo.)			
Temperatura	12,7	0,1	°C
pH	5,17	---	Unid. pH
Conductividad Eléctrica	191	---	uS/cm
Oxígeno Disuelto	8	1	mg O/L
Parámetros Físicoquimicos			
Aceites y Grasas	<0,5	0,5	mg/L
Cianuro Wad	<0,001	0,001	mg CN^-/L
Cloruros	3	1	mg Cl^-/L
DBO_5	<1	1	mg/L
Fenoles	<0,001	0,001	mg/L
Nitratos	0,17	0,05	mg NO_3^-N/L
Nitritos	<0,002	0,002	mg NO_2^-N/L
SAAM	<0,01	0,01	mg/L
Sulfatos	14,1	0,5	mg $SO_4^=$/L
Metal Total			
Mercurio	<0,001	0,001	mg Hg/L
Parámetros Microbiológicos			
Coliformes Totales	<1,8	<1,8	NMP/100mL
Coliformes Fecales	<1,8	<1,8	NMP/100mL

Agua Residual (Industrial)

Código de Laboratorio	0045-2	0045-3	Límite Detección	Unidad
Código de Cliente	AR-06	AR-07		
Parámetros de Campo (In Situ: Datos tomados en campo.)				
pH	3,09	3,6	---	Unid. pH
Conductividad Eléctrica	3096	398	---	uS/cm
Parámetros Físicoquimicos				
TSS	44	102	4	mg/L
Calcio	25,4	17,6	1,5	mg $CaCO_3$/L
Cloruros	283	23	1	mg Cl^-/L
Nitratos	0,18	0,17	0,05	mg NO_3^-N/L
Sulfatos	883,7	166,5	0,5	mg $SO_4^=$/L
Metales Totales				
Magnesio	1,52	1,39	0,02	mg/ Mg/L
Sodio	1,04	1,19	0,02	mg Na/L

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

Av. Víctor Alzamora 348, Urb. Barrio Medico
Surquillo - Lima
Teléfonos: 242-2696 / 444-8987
web: www.labecoperu.com
e-mail:labeco@labecoperu.com, labecoperu@gmail.com

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 034

- Muestreado por el área de monitoreo según procedimiento LB-P-07: Ejecución de Muestreo de Agua.
- La fecha de muestreo es dato proporcionado por el área de monitoreo.
- Lugar y condiciones ambientales del muestreo: Indicado en el acta.
- Condición y Estado de la muestra ensayada: Las muestras llegaron refrigeradas.
- El cliente renuncia al derecho de la dirimencia.

Método de Análisis:

Temperatura: APHA AWWA WEF 2550 B 23rd Edition 2017, Temperature. Laboratory and Field Methods.
pH: APHA AWWA-WEF Part 4500-H+B, 23rd Edition 2017, pH Value. Electrometric Method.
Conductividad Eléctrica: APHA AWWA-WEF Part 2510 B, 23rd Edition. 2017 Conductivity. Laboratory Method.
Oxígeno Disuelto: APHA AWWA-WEF Part 4500-O G, 23rd Edition 2017 Oxygen (Dissolved). Membrane Electrode Method.
Aceites y Grasas: APHA AWWA-WEF Part 5520 B, 23rd Edition 2017 Oil and Grease. Liquid-Liquid, Partition-Gravimetric Method.
Cianuro Wad: APHA AWWA-WEF Part 4500-CN^- C, I, E, 23rd Edition 2017 Cyanide. Total Cyanide after Distillation. Weak Acid Dissociable Cyanide. Colorimetric Method.
Cloruros: APHA AWWA-WEF Part 4500-Cl-B, 23rd Edition 2017 Chloride. Argentometric Method.
DBO_5: APHA AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Edition 2017 Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test.
Fenoles: EPA METHOD 9065 Rev. 0. Phenolics (Spectrophotometric manual 4 AAP with distillation).
Nitratos: APHA AWWA – WEF 4500 – NO-3 – E, 23rd Edition 2017, Nitrogen (Nitrate) Cadmiun Reduction Method.
Nitritos: APHA AWWA WEF 4500- NO2- B 23rd Edition 2017, Nitrogen (Nitrite) Colorimetric Method.
SAAM: APHA AWWA WEF 5540 C 23rd Edition 2017, Surfactants, Anionic Surfactants as MBAS.
Sulfatos: APHA AWWA-WEF Part 4500-SO4=E, 23rd Edition 2017, Sulfate.Turbidimetric Method.
Mercurio Total: APHA AWWA-WEF Part 3112B, 22nd Edition 2012 VALIDADO, Metals by Cold-Vapor Atomic Absorption Spectrometry. Cold-Vapor Atomic Absorption Spectrometric Method.
Coliformes Totales: APHA AWWA WEF Part 9221 B, 23rd Edition. 2017 Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique.
Coliformes Fecales: APHA AWWA-WEF Part 9221 E, 23rd Edition. 2017 Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure.
TSS: APHA AWWA-WEF Part 2540 D, 23rd Edition 2017 Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105 °C.
Calcio: APHA AWWA-WEF Part 3500-Ca B, 23rd Edition 2017 Calcium. EDTA Titrimetric Method.
Magnesio: APHA AWWA-WEF Part 3111 B, 23rd Edition 2017, Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry. Direct Air-Acetylene Flame Method.
Sodio: APHA AWWA-WEF Part 3030 - E; APHA AWWA-WEF Part 3111 - B, 23rd Edition 2017, Preliminary Treatment of Samples. Nitric Acid –

Quim. Ellen Liliana Deza Montoya
CQP N° 1328
Director Técnico

LABECO GERENCIA ANALISIS AMBIENTALES

Blga. Milagros Taype Villegas
CBP 10623
Coordinador ISO

Ing. Pedro Torrel Talavera
CIP 144914
Supervisor de Emsión de Informes de Ensayo C/CA

Lima, 03 de Febrero de 2022.

Nota 1: El presente documento sólo es válido para la(s) muestra(s) de la referencia.
Nota 2: Este resultado no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de productos **"o como certificado del sistema de Calidad de la entidad que lo produce".**
Nota 3: La(s) muestra (s) y contramuestras se mantendrán por un período de siete (7) días de emitido el presente Informe de Ensayo.
Nota "4": Toda corrección o enmienda física al presente Informe de Ensayo será emitida con "un nuevo informe que haga referencial al corregido".
Nota "5": Está prohibido la reproducción total y/o parcial del presente informe, salvo autorización escrita por LABECO Análisis Ambientales S.C.R.L.
Nota "6": Se adjunta el LB-F-13: Cadena de Vigilancia correspondiente a este informe.
Nota "7": "Para los parámetros in situ, en matriz agua, se realizan las mediciones por duplicado y se reporta el promedio de las mediciones"
Anexo 1: Condiciones de recepción.

---oooOooo---

Av. Víctor Alzamora 348, Urb. Barrio Medico
Surquillo - Lima
Teléfonos: 242-2696 / 444-8987
web: www.labecoperu.com
e-mail:labeco@labecoperu.com, labecoperu@gmail.com

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"