



RED DESIR

MÁSTER INTERNACIONAL APROVECHAMIENTO SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS MINERALES

TESIS DE MAESTRÍA

**“CARACTERIZACION DEL FUNCIONAMIENTO
HIDROGEOLOGICO DE LA UNIDAD MINERA A
CIELO ABIERTO COMARSA – PERU.
APLICANDO TECNOLOGIAS GEOMATICAS”**

Cristian Rainaldo Cabello Antonio

Marzo 2008



**MÁSTER INTERNACIONAL
APROVECHAMIENTO SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS
MINERALES**

Como director del Trabajo,

Autorizo la presentación de la Tesis de Maestría

**“CARACTERIZACION DEL FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLOGICO
DE LA UNIDAD MINERA A CIELO ABIERTO COMARSA – PERU.
APLICANDO TECNOLOGIAS GEOMATICAS”**

Realizado por

Cristian Rainaldo Cabello Antonio

Bajo mi dirección



Firmado: **Prof. Roberto Rodríguez Pacheco**

Fecha: 31 de Marzo de 2008



Red DESIR

Constituido el tribunal nombrado por el Coordinador Internacional del Programa de Máster Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Minerales, el día 22 de abril del 2008

Presidente: Picardo Gutierrez Bolibar
Vocal: Nestor Chacón Abad
:
Secretario: José Antonio Espi Rodríguez

Realizado el acto de defensa y lectura de la Tesis de Maestría el día el día 22 de abril de 2008

EL PRESIDENTE

LOS VOCALES

EL SECRETARIO



AGRADECIMIENTO

La idea de la presente investigación tuvo su origen hace algunos años, a raíz de mi participación en una evaluación hidrogeológica de una concesión minera, solicitado por el Ministerio de Energía y Minas a los titulares de la concesión, ubicado en el mismo distrito donde se ejecutó el presente estudio. Viene a mi memoria el momento en que me planteé la necesidad de hacer un estudio de la contaminación de aguas como consecuencia de la actividad minera, desde entonces no he cesado en alcanzar más conocimientos acerca de las materias necesarias para manejar este tema de hidrogeología, enfocado principalmente en el entorno de la actividad minera a cielo abierto, siendo la que presenta los mayores impactos al ambiente, en relación a otras actividades.

Es en este sentido, la caracterización hidrogeológica de la unidad minera Santa Rosa haciendo uso de la geomática, es una aproximación al objetivo de mi planteamiento, que espero en un tiempo no lejano pueda concretarlo.

Ahora es el momento de recordar y expresar mi agradecimiento a quienes de una u otra forma, me han colaborado a lo largo del desarrollo de esta investigación. Pido disculpas a aquellos que por olvido deje de citar.

Por las valiosas revisiones, críticas y comentarios realizados al presente trabajo, sin ánimo de establecer ninguna prioridad, agradezco al Dr. Roberto Rodríguez Pacheco por su dirección acertada, al Dr. José Antonio Espí por su orientación, al Dr. Ricardo Castroviejo por los alcances realizados hacia mi persona en reiteradas ocasiones a mi solicitud de becas de exención de matriculas en la Especialización Universitaria y el Master, al Dr. Juan Baquero Úbeda, José Luís Rojas Guillen, Guillermo Aguilar, Jorge Tovar, Dimas Apaza, Hugo Sovero por su aporte especializado en los temas hidrogeológicos y especialmente a Agustín Vilchez, por las largas y duras jornadas de campo, inventariando manantiales, bofedales, cogiendo muestras de agua, realizando la toma de datos in situ, etc.

A mi compañera Eliana Landauro por su incesante ayuda en la concretización de la presente tesis, por su valiosa opinión, correcciones y por darme ánimos constantemente en la finalización de la investigación.

A mis hermanos, a Héctor Landauro, a la familia Landauro Sotelo, por su ayuda, que han estado siempre presentes de una u otra manera, deseo extender también mi agradecimiento a todas aquellas personas que de diversa manera colaboraron en esta investigación.

DEDICATORIA

A MIS PADRES,

ANDRES, RUFINA Y NELLY

Quienes con amor y ejemplo,
me enseñaron que todo en la vida
se logra con esfuerzo y dedicación.

A MI HIJO

CRISTHIAN CABELLO DE LA TORRE

Quien con su comprensión
hizo posible este logro, para quien dejo como
ejemplo a seguir.

A

ELIANA LANDAURO SOTELO

Que llego a mi vida como una
maravillosa bendición de Dios.

A MIS HERMANOS

EGUAVIL, MARCIAL, MIGUEL Y AMERICA

Quienes siempre están conmigo
aunque nos separe la distancia.

RESUMEN

El objetivo de esta tesis es la caracterización del funcionamiento hidrogeológico de la Unidad Minera Santa Rosa (UMSR). Para lograrlo se ha empleado información de cartografía geológica, hidrogeológica, datos mineros y diferentes mapas temáticos, así como mapas derivados obtenidos con técnicas geomáticas y modelos numéricos. En diferentes campañas de campo fueron inventariado 270 puntos de agua, cuatro tajos abiertos dos tipos de residuos mineros en un área de 878 Ha.

De acuerdo con los resultados en la UMSR se diferencian dos unidades acuíferas de importancia: Acuífero fisurado Formación Chimú y acuífero cárstico formación Inca Chulec. La cartografía geológica y el mapa de alineamientos muestra que el área de la UMSR esta cortada por diferentes tipos de fallas y fracturas en 4 direcciones principales. Los tajos abiertos y las zonas fracturadas controlan la recarga de los acuíferos. El Drenaje ácido de minas (AMD) fue observado en dos talos abiertos (Sacalla con pH=3.0 y Seductora con pH=3.8). De acuerdo a los resultados analíticos de los componentes mayoritarios de 21 muestras de agua en la UMSR se pueden identificar tres tipos de agua: HCO₃-Mg (2), HCO₃B-Ca (2) and HCO₃-Na (17).

Palabras claves: Sistema de Información Geográfica, Hidrogeología, Tratamiento Digital de Imágenes, Modelización, Modflow, Comarsa, Perú.

ABSTRACT

The aim of this thesis is hydro-geological characterized a Santa Rosa Mining District (SMD). Digital Elevation Model (DEM), geological cartography, hydrogeological, mine data and different thematic maps, generated with Geographical Information Systems (GIS) and numerical models were used to characterize the hydrology of SMD. In several field campaigns were cartographies and inventoried 270 water point, four open pit and two types of metallurgical waste in an area of 878 Ha.

According to the results two aquifers wear delimited: Formation Chimú fractured aquifer and formation Inca Chulec karstic aquifer. Geological cartography and lineament maps show that the study area is cut by several faults and fractures in four main directions Open pit and fracture area controlled the aquifers recharge. Acid mine drainage (AMD) were observe in two open pit (Sacalla with pH=3.0 and Seductora with pH=3.8). According to main component obtained in 21 samples analysis in ground water in UMSR in possible observe three type of water: $\text{HCO}_3\text{-Mg}$ (2), $\text{HCO}_3\text{B-Ca}$ (2) and $\text{HCO}_3\text{-Na}$ (17).

Keywords: Digital Elevation Model, GIS, groundwater flow, structural geology, hardrock aquifer, mining activities, numerical model, Modflow, Comarsa, Perú

INDICE GENERAL

INDICE GENERAL

RESUMEN

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción	1
1.2. Planteamiento del problema	1
1.3. Objetivos	2
1.4. Conceptos y definiciones fundamentales	3
14.1. Hidrogeología	3
14.2. Modelo hidrogeológico	3
14.3. Nociones de sistemas de información geográfica	3
1.4.3.1. Subsistema de un SIG	3
14.4. La teledetección	4
14.5. Polución y contaminación de aguas subterráneas	4

CAPITULO 2. ANTECEDENTES EN LA APLICACIÓN DE LAS TECNICAS GEOMATICAS A ESTUDIOS HIDROGEOLOGICOS EN MINERIA

2.1. Tecnología geomática	5
2.1.1. Sistemas de información geográfica (SIG)	5
2.1.2. Diseño asistido por computadora (CAD)	6
2.1.3. Teledetección	6
2.1.4. Modelación hidrogeológica	6
2.2. Programas	7
2.2.1. ArcView	7
2.2.2. ArcGis	7
2.2.3. Autocad Land	8
2.2.4. AquaChem	8
2.2.5. Envi	8
2.2.6. Visual Modflow	9
2.3. Aplicaciones prácticas y casos de estudio	9
2.3.1. Proyecto CIREN: Determinación de zonas homogéneas de existencia de aguas subterráneas en los interfluvios de los ríos Elqui, Limari y Choapa (México,2002).	9
2.3.2. Modelización del flujo hídrico del agua subterránea en el área industrial de Ravennate (Italia, 2001)	10
2.3.3. Actualización Hidrogeológica de la unidad Guadix-Marquesado como apoyo a la modelación matemática del acuífero (IGME-CHG, 1999)	10
2.3.4. Delimitación de perímetros de protección de pozos tubulares (PPP) empleando la técnica de modelización numérica (Sao Paulo, 1999)	10
2.3.5. Estudio para la mejora de la caracterización hidrogeológica de la Unidad 08 - 49 “Agost-Monnegre” (Madrid, 2005)	11
2.3.6. Estudio del funcionamiento hidrogeológico y elaboración de un modelo numérico de flujo subterráneo en el acuífero Jumilla – Villena (Alicante y Murcia, 2005)	11

CAPITULO 3. AREA DE ESTUDIO

3.1. Ubicación y acceso	12
3.2. Infraestructura de la unidad minera	12
3.2.1. Mina	12
3.2.2. Botaderos	12
3.2.3. Pilas de lixiviación	13
3.2.4. Instalaciones de procesamiento metalúrgico	13

3.2.5 Vías de acceso y otros	13
3.3. Climatología	14
3.4. Meteorología	14
3.4.1. Estaciones meteorológicas	14
3.4.2. Temperatura	14
3.4.3. Humedad relativa	17
3.4.4. Evaporación	18
3.4.5. Vientos	19
3.4.6. Precipitación	19
3.4.6.1. Precipitación media	19
3.5. Suelos, vegetación. y agricultura	20
3.6. Geología	23
3.6.1. Geología Regional	23
3.6.1.1. Características geomorfológicas de la zona	23
3.6.1.2. Estratigrafía	24
3.6.1.3 Rocas intrusivas	25
3.6.1.4 Depósitos cuaternarios	26
3.6.2. Geología estructural	26
3.6.2.1. Pliegues	28
3.6.2.2. Fallamientos de orientación NNO – SSE	28
3.6.2.3. Fallamientos de orientación ENE – OSO	30
3.6.3. Yacimientos minerales	30
CAPITULO 4. MATERIALES Y METODOS	33
4.1. Materiales y equipos	33
4.1.1. Materiales cartográficos	33
4.1.2. Equipos	33
4.2. Metodología	34
4.2.1. Trabajo de gabinete	34
4.2.1.1. Procedimiento realizado en el trabajo de gabinete	35
4.2.2. Trabajo de Campo	36
4.2.3. Trabajo de laboratorio	36
CAPITULO 5 RESULTADOS Y DISCUSION	38
5.1. Relieve del terreno	38
5.2. Suelos	38
5.3. Vegetación	39
5.4. Hidrología superficial y subterránea	40
5.4.1. Hidrología superficial	40
5.4.1.1 Parámetros geomorfológicos	41
5.4.1.2. Área de intervención minera	44
5.4.1.3. Sub cuenca del río Angasmarca – Hijadero - Rayambal	47
5.4.1.4. Sub cuenca del río Piscochaca – San Francisco - Ucumul	47
5.4.1.5. Situación de los recursos hídricos	48
5.4.1.6. Análisis de caudales	48
5.4.1.7. Escurrimiento superficial	52
5.4.2. Hidrología subterránea	54
5.4.2.1. Descripción de los puntos de agua inventariados	54
5.4.2.2. Pozos de monitoreo y piezómetros	56
5.4.2.3. Tajos abiertos	57
5.5. Unidades hidrogeológicas	58
5.5.1. Acuíferos regionales	59
5.5.2. Acuíferos	61
5.5.2.1. Acuíferos fisurados	61
5.5.2.2. Acuíferos carsticos	62

5.5.2.3. Acuitardos	64
5.5.2.4. Acuífugos	64
5.5.3. Geometría y límites del acuífero	65
5.5.4. Parámetros hidrogeológicos del acuífero	65
5.5.4.1. Información hidráulica subterránea disponible	65
5.5.4.2. Insolineas de niveles freáticos (hidroisohipsas)	67
5.5.4.3. Parámetros hidráulicos preliminares del acuífero	70
5.6. Hidrología subterránea	72
5.6.1. Piezometría y flujo racional	72
5.6.2. Morfología de la napa y flujo en el área de la mina	73
5.6.3. Funcionamiento hidrogeológico del acuífero	73
5.6.3.1. Evaluación de la recarga	73
5.6.3.2. Sistemas de descarga	75
5.6.4. Balance hídrico	77
5.6.4.1. Metodología	78
5.6.4.2. Precipitación media	79
5.6.4.3. Evapotranspiración potencial real (ETR)	79
5.6.4.4. Escorrentía	81
5.6.4.5. Infiltración	81
5.7. Hidroquímica	92
5.7.1. Red de monitoreo del agua	92
5.7.1.1. Red temporal de monitoreo	92
5.7.1.2. Red permanente de monitoreo	93
5.7.1.3. Resultados de los análisis de agua del laboratorio	94
5.7.1.4. Interpretación de los resultados	95
5.7.2. Balance iónico o error	97
5.7.3. Caracterización química de las aguas	98
5.7.3.1. Aguas bicarbonatado sodicas	99
5.7.3.2. Aguas bicarbonatado magnesicas	99
5.7.3.3. Aguas sodico bicarbonatadas	99
5.7.3.4. Aguas bicarbonatado calcicas	99
5.8. Modelación del sistema acuífero	99
5.8.1. Modelo conceptual del sistema acuífero	100
5.8.2. Límites impermeables	100
5.8.3. Marco hidrológico	101
5.8.4. Factores antropogénicos	101
5.8.5. Selección del código de modelamiento	101
5.8.6. Diseño del modelo matemático	102
5.8.6.1. Discretización del sistema acuífero	102
5.8.6.2. Números de capas y tipo de acuíferos	103
5.8.6.3. Condiciones de frontera	106
5.8.6.4. Parámetros de entrada del modelo	106
5.8.7. Fuentes de agua	107
5.8.8. Modelo de régimen estacionario	113
5.8.9. Modelo de régimen transitorio	115
CAPITULO 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	118
6.1. Conclusiones	118
6.2. Recomendaciones	121
CAPITULO 7 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	123

LISTADO DE FIGURAS

Figura N° 1: Ubicación de las estaciones meteorológicas mas cercanas al area de estudio	16
Figura N° 2: Tipos de suelos del área de estudio	21
Figura N° 3: Tipo de vegetación del área de estudio	22
Figura N° 4: Estratigrafía y mineralización en el distrito Santa Rosa.	29
Figura N° 5: Modelos digitales del terreno	45
Figura N° 6: Isoconductividad – área de la unidad minera Santa Rosa	63
Figura N° 7: Morfología del nivel freático en noviembre del 2007. Acuífero de la unidad minera Santa Rosa	66
Figura N° 8: Modelo conceptual del acuífero de unidad minera Santa Rosa	92
Figura N° 9: Modelo conceptual del acuífero de unidad minera Santa Rosa	101
Figura N° 10: Discretización del sistema acuífero	104
Figura N° 11: Unidades hidroestratigraficas del acuífero – Orientación Norte - Sur	105
Figura N° 12: Unidades hidroestratigraficas del acuífero – Orientación Oeste - Este	105
Figura N° 13: Condiciones del sistema de modelo	108
Figura N° 14: Variación espacial de la conductividad hidráulica	109
Figura N° 15: Ubicación de los afloramientos de agua subterránea	111
Figura N° 16: Dirección de flujo de aguas subterráneas	112
Figura N° 17: Cargas calculadas y observadas – modelo en Régimen estacionario	113
Figura N° 18: Sección Hidrogeológica Este - Oeste	114
Figura N° 19: Variación de las cargas hidráulicas en los afloramientos de agua subterránea – Modelo Régimen Transitorio	116
Figura N° 20: Fluctuaciones de los caudales de descarga de los afloramientos de agua	117

LISTADO DE FOTOGRAFÍAS

Fotografías N° 5.1-5.2 A la izquierda manantial sector Sacalla. A la derecha manantial del sector Cochavara SO.	54
Fotografías N° 5.3 y 5.4 A la izquierda bofedal sector Ingacorral (Aliso). A la derecha bofedal del sector Huacascorral (Loma Colorada).	50
Fotografías N° 5.5 Vista del piezómetro de observación ubicado en el sector denominado Cochavara.	51
Fotografías N° 5.6 y 5.7 A la izquierda nivel freático en el tajo Sacalla. A la derecha nivel freático en el tajo Seductora.	52

LISTADO DE GRÁFICOS

Gráfico 5.1 Cambio de la morfología – unidad minera Santa Rosa	46
Gráfico 5.2 Unidades hidrogeológicas – unidad minera Santa Rosa	60

LISTADO DE TABLAS

Tabla N° 3.1: Estaciones meteorológicas cercanas a mina COMARSA	15
Tabla N° 3.2: Temperatura media mensual	17
Tabla N° 3.3: Evaporación mensual media	18
Tabla N° 3.4: Precipitación media mensual	20
Tabla N° 5.1: Superficie y porcentaje de las clases pendientes	38
Tabla N° 5.2: Superficie y porcentaje de las clases de suelos	39
Tabla N° 5.3: Superficie y porcentaje de las clases de vegetación	39
Tabla N° 5.4: Parámetros geomorfológicos sin la intervención minera	42
Tabla N° 5.5: Parámetros geomorfológicos con la intervención minera	43
Tabla N° 5.6: Descargas media mensuales estación Chuquicara	50

Tabla N° 5.7: Descargas media mensuales subcuenca del ámbito – minera Santa Rosa	50
Tabla N° 5.8: Coeficiente de escurrimiento del método racional	51
Tabla N° 5.9: Caudales máximos	51
Tabla N° 5.10: Características generales microcuencas área de influencia directa – de la actividad de la UMSR	52
Tabla N° 5.11 Coeficiente de escurrimiento	53
Tabla N° 5.12 Inventario de manantiales mas importantes	55
Tabla N° 5.13: Resumen de bofedales	56
Tabla N° 5.14: Resumen de pozos de monitoreo y piezómetros	57
Tabla N° 5.15: Resumen de tajos abiertos con agua subterránea	58
Tabla N° 5.16: Unidades hidrogeológicas del área de la mina	59
Tabla N° 5.17: Métodos de interpolación para obtener las hidroisohipsas	69
Tabla N° 5.18: Permeabilidades estimados	72
Tabla N° 5.19: Balance hídrico de la microcuenca Sacalla	83
Tabla N° 5.20: Balance hídrico de la microcuenca Hijadero	83
Tabla N° 5.21: Balance Hídrico de la microcuenca Huacascorral	84
Tabla N° 5.22: Balance Hídrico de la microcuenca Cochavara SO	85
Tabla N° 5.23: Balance Hídrico de la microcuenca Cementerio	85
Tabla N° 5.24: Balance Hídrico de la microcuenca Jordy	86
Tabla N° 5.25: Balance Hídrico de la microcuenca Cochavara SE	87
Tabla N° 5.26: Balance Hídrico de la microcuenca Desaguadero	87
Tabla N° 5.27: Balance Hídrico de la microcuenca Potrero	88
Tabla N° 5.28: Balance Hídrico de la microcuenca Ucumali	89
Tabla N° 5.29: Balance Hídrico de la cuenca Angasmarca	89
Tabla N° 5.30: Balance Hídrico de la microcuenca Ucumal	90
Tabla N° 5.31: Red de muestreo de agua	92
Tabla N° 5.32: Resumen de estaciones de monitoreo de calidad de agua	93
Tabla N° 5.33: Resultado de los análisis físicos químicos de las aguas muestreadas	94
Tabla N° 5.34: Equilibrio químico en unidades absolutas	97
Tabla N° 5.35: Tipos de agua por iones dominantes	98
Tabla N° 5.36: Sistema de inicialización	103
Tabla N° 5.37: Valores de conductividad hidráulica asignadas	107
Tabla N° 5.38: Características de las fuentes de agua	110
Tabla N° 5.39: Periodos e intensidades de recarga Modelo en Régimen Transitorio	115
Tabla N° 5.40: Balance hídrico subterráneo Modelo en régimen Transitorio	117

LISTADO DE MAPAS

- Mapa N° 001.** Ubicación del área de estudio
- Mapa N° 002.** Instalaciones mineras
- Mapa N° 003.** Hidrología actual del área de estudio
- Mapa N° 004.** Plano Geológico Mostrando el limite de estudio
- Mapa N° 4-A.** Alineamientos y diagramas de rosetas
- Mapa No 4-B.** Perfil transversal sector Sacalla – Pampa Larco – Cochavara
- Mapa N° 005.** Plano Hidrologico mostrando el limite del estudio
- Mapa N° 006.** Fuentes de agua
- Mapa N° 007.** Red de muestreo de agua para caracterización hidrogeológica
- Mapa N° 008.** Perfiles hidrogeológicos
- Mapa N° 009.** Hidroquímica diagrama de stiff

ANEXOS

ANEXO A – Datos Meteorológicos de las Estaciones cercanas a la Unidad Minera Santa Rosa

LISTADO DE TABLAS

Tabla A3-1: Registro de temperatura media mensual - estación meteorológica Santa Rosa

Tabla A3-2: Registro de humedad relativa media mensual - estación meteorológica Santa Rosa

Tabla A3-3: Registro de evaporación total mensual (mm)- estación meteorológica Huamachuco

Tabla A3-4: Registro de evaporación total mensual - estación meteorológica Santiago de Chuco

Tabla A3-5: Registro de viento promedio mensual - estación meteorológica Santa Rosa.

Tabla A3-6: Registro de precipitación total mensual - estación meteorológica Santa Rosa.

ANEXO B – Datos Geológicos Unidad Minera Santa Rosa

LISTADO DE TABLAS

Tabla N° B3.1: Descripción litológica – columna geológica unidad minera Santa Rosa

Tabla N° B3.2: Registros geológicos de taladros de perforaciones RCD unidad minera Santa Rosa

ANEXO C – Relieve y suelo Unidad Minera Santa Rosa

LISTADO DE FIGURAS

Figura C5.1: Mapa Pendientes área de estudio UMSR

Figura C5.2: Mapa de tipo suelos del área de estudio UMSR

ANEXO D – Hidrología Unidad Minera Santa Rosa

LISTADO DE FIGURAS, GRAFICOS Y TABLAS

Figura D.3.1: Isoyetas de la Media Anual de la cuenca Tablachaca

Grafico D.3.1: Regionalización de la temperatura media mensual

Tabla D.3.1: Regionalización de la temperatura mensual

Tabla D 3.2: Regionalización de la temperatura mensual

Grafico D.3.2: Regionalización de la precipitación total mensual

Grafico D.3.3: Regionalización de la precipitación total anual

Grafico D.3.4: Regionalización de la precipitación total anual

Figura D.5.1: Mapa de Coeficiente de Escurrimiento UMSR

ANEXO E – Hidroquímica Unidad Minera Santa Rosa

LISTADO DE TABLAS

Tabla E.5.1: Balance Geoquímico Mayoritarios

Tabla E.5.2: Análisis físico químico de aguas subterráneas Unidad minera Santa Rosa

Tabla E.5.2a: Análisis físico químico de aguas subterráneas Unidad minera Santa Rosa

Tabla E.5.3 Iones disueltos muestras UMSR

Anexo E.5.3 Cantidad de iones disueltos muestras unidad minera Santa Rosa

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción

La actividad minera a nivel mundial y en especial en las áreas de climas semiáridos requiere del uso y gestión de los recursos hídricos sin dañar su calidad y los ecosistemas que lo integran. En las condiciones actuales en el Perú nos encontramos en un escenario de creciente demanda de información para la gestión eficiente de los recursos hídricos superficiales y subterráneos. Además hay una necesidad de disponer de herramientas para el apoyo en la gestión y uso racional de los recursos en función de lograr un desarrollo sostenible. La investigación científico-técnica en el campo de la hidrología ha sistematizado el uso y gestión de la información haciendo uso de las técnicas Geomáticas. Las herramientas más usadas dentro de estas en los estudios hidrogeológicos son los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Tratamiento Digital de Imágenes (TDI). El uso de modelos numéricos acoplados a los SIG es otra de las aplicaciones y el procesamiento de flujo de aguas subterráneas para integrar la información geológica, hidrológica, climática y ambiental para desarrollar una correcta caracterización hidrogeológica del medio. En esta tesis se harán uso de estas herramientas para realizar el estudio del funcionamiento hidrogeológico de la unidad minera Santa Rosa (COMARSA- Perú). La cual presenta diferentes problemas que detallaremos a continuación.

1.2. Planteamiento del problema

Tras unos 14 años de actividad minero-metalúrgica en la unidad minera Santa Rosa (COMARSA- Perú), se han generado millones de toneladas de residuos que se encuentran distribuidos en toda la unidad minera. Los estériles y residuos se encuentran en acumulaciones de muy diversas peculiaridades. Durante el desarrollo de la unidad, se ha excavado 4 tajos mineros, los que cuentan con áreas de depósito (botadero) que contienen el material de desmonte y el mineral estéril de baja ley. Este cambio en la morfología del terreno ha originado una modificación en las subcuencas hidrográficas de los ríos y quebradas, tanto por las excavaciones como por el vertido y acumulación de Residuos Sólidos Mineros (RSM).

La actividad minera que desarrolla la unidad minera Santa Rosa, ha favorecido la alteración de las características hidroquímicas del agua superficial y subterránea, debido a la gran cantidad de material movilizado, exponiendo la mineralización que se encontraba en profundidad en equilibrio en estado reducido a las condiciones atmosféricas. El contacto de la mineralización de sulfuros con los agentes de meteorización (agua y oxígeno), ha favorecido la oxidación de los minerales presentes. En el caso de la oxidación de la pirita en algunos lugares ha llevado asociada la generación de lixiviado de aguas ácidas. La oxidación de los sulfuros se produce en la mineralización expuesta “in situ” y en las acumulaciones de residuos mineros. Los lixiviados generados pueden presentar altos contenidos de sulfatos y metales pesados. Estos drenajes son uno de los problemas ambientales más graves de la zona minera que serán abandonadas.

1.3. Objetivos

El principal objetivo de esta tesis es realizar la caracterización del funcionamiento hidrogeológica de la unidad minera Santa Rosa (UMSR) con la aplicación de técnicas geomáticas.

La materialización de este estudio requiere del desarrollo de un conjunto de tareas u objetivos específicos entre las que se encuentran:

- Realizar un inventario de las aguas superficiales y subterráneas (riachuelos, arroyos, manantiales, bofedales y efluentes) mediante el cartografiado, muestreo, aforo y medición de las propiedades físicas in situ de los cursos de agua.
- Determinación de la morfología de la superficie piezométrica, además de las direcciones de flujo del agua subterránea.
- Caracterizar las condiciones hidroquímicas del agua subterránea.
- Determinación de red de piezómetros, para la evaluación y complementación de datos geológicos, pruebas hidráulicas para conocer las condiciones hidráulicas del subsuelo en el área de estudio.
- Elaborar el modelo de flujo de las aguas subterráneas del acuífero COMARSA con el propósito de simular escenarios de drenaje o recarga de la zona en estudio.

- Formular planes de monitoreo de niveles y calidad de las aguas subterráneas.

1.4. Conceptos y definiciones fundamentales

Con el objetivo de facilitar la comprensión del texto en este apartado se define una serie de conceptos que facilitaran la comprensión del texto.

1.4.1. Hidrogeología

Ciencia de las aguas subterráneas que estudia el origen y la formación de estas, las formas de yacimiento, su difusión, su movimiento, régimen y reservas, su interacción con los suelos y las rocas, incluidas la eternamente congeladas, su estado (líquido, sólido y gaseoso) y propiedades (física, químicas, bacteriológicas y radiactivas), así como las condiciones que determinan las medidas para su aprovechamiento, regulación y evacuación.

1.4.2. Modelo hidrogeológico

Es un conjunto de datos (geométricos, geológicos, geodinámicos, etc.) y códigos (programas de cálculo), que permiten simular el movimiento del agua subterránea, en clara interacción con su entorno, tras haber verificado su similitud con la evolución real del sistema que representa.

1.4.3. Nociones de sistemas de información geográfica

Un SIG, en su sentido más amplio, es un grupo de procedimientos utilizados para almacenar y manipular datos referenciados geográficamente, ya sea en forma manual o basada en el computador.

1.4.3.1. Subsistema de un SIG

Los subsistemas de un SIG, son la entrada de datos, el almacenamiento y administración de los mismos, el modelamiento y análisis de estos y la representación de los datos; estos se distinguen de acuerdo con su funcionalidad.

El subsistema de entrada de datos, convierte los datos desde su formato original, análogo o digital, a uno que pueda ser usado por el SIG. Los datos a que se hace referencia se encuentran generalmente en la

forma de mapas, tablas de atributos, aerofotografía, imágenes de satélite, observaciones de campo y puntos de control topográfico, entre otros. En este subsistema se construyen grandes bases de datos, las cuales implican costos e inversión muy superiores a los de equipos y programas que utiliza el SIG.

El subsistema de almacenamiento y administración, o de manejo de datos, incluye aquellas funciones que son usadas para almacenar y recuperarlos desde la denominada base de datos. La estructura de la base de datos y la organización de estas dentro del SIG, determinan la eficiencia del sistema en la realización de todas las operaciones que se han de realizar con ellos:

1.4.4. La teledetección

La teledetección o sensores remotos es una tecnología que nos permite obtener información de un objeto, sin estar en contacto directo con él; los sensores remotos son los instrumentos utilizados para obtener dicha información, el ejemplo más sencillo de sensor remoto es la cámara fotográfica.

El procesamiento digital de imágenes nos permite manipular las imágenes obtenidas mediante sensores remotos a través de un computador, pudiendo efectuar en ellas, realces, mejoramientos de contraste, filtrajes, entre otros, con la finalidad de obtener imágenes de fácil interpretación, que nos permiten elaborar los mapas temáticos y derivados. Entre los mapas temáticos podemos señalar: uso actual de la tierra, geomorfología, geología, fisiografía y suelos. En los mapas derivados se pueden señalar los mapas de pendientes, coeficiente de escurrimiento, hidrogeológico, isopiezas, entre otros.

1.4.5. Polución y contaminación de aguas subterráneas

Cualquier alteración de las propiedades químicas, físicas o bacteriológicas del agua subterránea, de origen antrópico en un sistema acuífero, es denominada polución, cuando esta alteración puede potencialmente perjudicar a la salud del

hombre o de los animales que lo consumen, es denominada contaminación (IST, 2008).

CAPITULO 2

ANTECEDENTES EN LA APLICACIÓN DE LAS TECNICAS GEOMATICAS A ESTUDIOS HIDROGEOLOGICOS EN MINERIA

2.1. Tecnología geomática

Geomática es el término científico moderno que hace referencia a un conjunto de ciencias en las cuales se integran los medios para la captura, tratamiento, análisis, interpretación, difusión y almacenamiento de la información geográfica, también llamada información espacial o geoespacial. El término «geomática» esta compuesto por dos ramas "GEO" por Geoide, y MATICA por Informática, Es decir estudio del Geoide o globo terrestre a través de la informática (tratamiento automático de la información). Este término nacido en Canadá ya es parte de las normas de estandarización ISO (Organización Internacional para la Estandarización) y esta siendo reconocido en Europa, Asia, África, América Central y del Sur, como una nueva disciplina de la Geografía Matemática. Otros organismos, en especial en los E.E.U.U, han optado por el término **tecnología geoespacial**.

Las herramientas que hace uso la geomática para organizar y sistematizar geográficamente datos, objetos y eventos para poder analizarlo, se indican seguidamente:

2.1.1. *Sistemas de información geográfica (SIG)*

El uso de herramientas y tecnologías ha experimentado un gran auge en los últimos años. El uso de esta herramienta en hidrogeología ha demostrado su aplicabilidad, si bien puede considerarse aun incipiente en comparación con otros sectores.

Los SIG son una herramienta muy potente para combinar información espacial (y temporal) procedente de varias fuentes, como Modelos Digitales del Terreno (MDT), Teledetección o Modelos Hidrogeológicos, especialmente útiles en zonas con pocos datos.

2.1.2. Diseño asistido por computadora (CAD)

Casi sin excepción todos los procesos de diseño involucran computadoras. Los clientes de las compañías consultoras exigen a sus consultores que todo plano que se entregue en papel también incluya una copia digital, lo que fuerza a la utilización de herramientas computacionales para el dibujo. Según una encuesta el 99% de las compañías consultoras de ingeniería y arquitectura usan alguna herramienta de diseño asistido por computador (CAD por sus siglas en inglés) (Zweig White, 2002).

2.1.3. Teledetección

Es una técnica de medida eficaz que permite generar datos y la información para el desarrollo de estudios hidrogeológicos, como son el mapa preliminar de interpretación de imágenes de satélite para demarcar el límite litológico, lineamientos, características estructurales y caracterización de las distintas unidades geomorfológicas.

La teleobservación como procedimiento de la teledetección permite también obtener los mapas que representan los suelos presentes en el área de estudio, así como la vegetación y el uso actual de la tierra que son integrados posteriormente en el análisis del balance hídrico de las micro cuencas consideradas en la zona estudiada.

2.1.4. Modelación hidrogeológica

Comprende de un conjunto de datos (geométricos, geológicos, geodinámicos, entre otros) y códigos (programas de cálculo), que permiten simular el movimiento del agua subterránea y/o contaminantes, en clara interacción con su entorno, tras haber verificado su similitud con la evolución real del sistema representado.

La respuesta del modelo será tanto más representativa del sistema, cuanto mas fielmente reproduzca su comportamiento, en función de sus principales características (inputs, parámetros característicos del sistema y outputs).

2.2. Programas

2.2.1. ArcView

El ArcView versión 3.2a es un software SIG (Esri, 1996), sobre el cual se han implantado una serie de aplicaciones y funcionalidades las cuales automatizan y sistematizan procesos. Estas funcionalidades abarcan desde una selección condicionada de puntos, espacial y temporal; la generación y exportación de tablas y gráficos de evolución de diversos parámetros hidrogeológicos hasta la generación de composiciones de mapas prediseñados. Estas aplicaciones también permiten la consulta y análisis de la información incorporada, así como a la elaboración automática de cartografía hidrogeológica y temática.

El SIG ArcView de ESRI, software que se distribuye libremente con la extensión (avx) CartoErosion (Cartografía de erosión), que permite a partir de los GRIDs obtener los mapas de red de drenaje, límites de cuencas, que forman los mapas base para el análisis de la hidrogeología de la zona en estudio.

2.2.2. ArcGis

El software ArcGis 9.2, es una versión actualizada del ArcView versiones 3.x, así como de las versiones ArcGis 8.x. Para el tratamiento de información Raster a este software se le ha incluido la extensión del Spatial Analyst (análisis espacial) y el Geostatistical Analyst (análisis geoestadístico), que permite realizar interpolaciones de los datos (niveles piezométricos) hidrogeológicos siguiendo diversas ecuaciones, aplicadas de acuerdo a los objetivos de cada estudio y/o investigación.

La Modelación hidrológica mediante el ArcGis se realiza a partir del modelo digital del terreno (MDT) en formato raster, se genera la red de drenaje para posteriormente obtener los límites de cuencas, direcciones de flujo de los cauces hídricos, zonas de acumulación de flujos. Asimismo, permite realizar el cálculo de parámetros (área, perímetro, centroides, entre otros) hidrológicos siendo esta

información la base para la modelización del acuífero, en el programa Modflow Premium versión 4.2.

2.2.3. Autocad land

Programa de Diseño Asistido por Computadora cuya sigla es conocida como CAD, cuyos formatos de trabajo más comunes son dxf y dwg, compatibles con la mayoría de software SIG y programas de tratamiento de imágenes digitales como el Envi.

Existe información para realizar estudios diversos en formatos de este programa, debido a que es el más difundido y conocido por la versatilidad de su manejo, aunado a su internalización en entidades y empresa del sector público y privado.

2.2.4. AquaChem

El establecimiento del banco de datos sobre información hidrogeológica permite elaborar los mapas hidrogeológicos e hidrogeoquímicos, que cumplen con las expectativas de uso en la planificación y ordenamiento de los recursos hídricos, previamente concebidos. Además, estos mapas temáticos, como producto final de un estudio podrán ser utilizados por diferentes usuarios del recurso agua.

El programa, permite caracterizar la composición química natural de las aguas subterráneas, mediante la interpretación de análisis químicos. Permite el estudio de la calidad del agua, mediante el conocimiento de las fuentes y mecanismos de incorporación de sus diversos constituyentes.

2.2.5. Envi

El Envi es un programa de tratamiento de imágenes, que permite mediante la combinación adecuadas de las bandas de una imagen (RGB), presentar una escena que resalta las características objeto del estudio, que son agrupadas generalmente por el principio de áreas homogéneas, de acuerdo al nivel digital (ND) que presenta cada píxel de la escena dentro del espectro electromagnético.

El programa también permite importar archivos vectoriales, con los que se pueden interactuar mapas desarrollados propiamente con Envi y mapas de otras herramientas SIG. En general en este programa para estudios hidrogeológicos se desarrollan los mapas específicos como los de vegetación, usos actuales de la tierra y suelos.

2.2.6. Visual modflow

Después de haberse realizado la caracterización hidrogeológica de una determinada área de estudio, el Software visual Modflow permite aplicar el modelo matemático de flujo tridimensional con diferencia finita. El software permite reconstruir varias situaciones, utilizando varias condiciones de contorno.

De los datos e información de la zona de estudio se puede proceder a realizar el análisis del balance hidrológico, siendo este resultado un instrumento valido de control, que se puede utilizar para la simulación de la evolución del acuífero con diversas condiciones de contorno.

2.3. Aplicaciones prácticas y casos de estudio

2.3.1. Proyecto CIREN: Determinación de zonas homogéneas de existencia de aguas subterráneas en los interfluvios de los ríos Elqui, Limari y Choapa (México,2002).

Modelización con el manejo de datos satelitales y sistemas de información geográfica (SIG), basado en dos fases; el primero definido a partir del procesamiento de datos satelitales ópticos (Landsat TM+) en conjunto con datos auxiliares topográficos (curvas de nivel cada 25 metros), clima y red de drenaje, de donde se obtienen los datos para la construcción de los índices litológicos, de lineamientos, de infiltración superficial y el índice climático.

A partir de los dos primeros índices (litológico y de lineamientos) reobtiene un Índice Potencial de Almacenamiento (IPEA) y con los dos últimos (Infiltración superficial y climático) se obtiene el Índice Potencial de Recarga (IPRA). Los indicadores resultantes se jerarquizan en 4 rangos y posteriormente se combinan mediante un modelo matricial, de cuyo resultado, debidamente

clasificado en 4 rangos: 1.Baja; 2. Media; 3. Alta y 4 Muy Alta., se obtienen las Zonas Potenciales de existencia de Acuíferos (ZPA).

La segunda fase corresponde a la validación de las ZPA, mediante la determinación y descripción de Zonas Hidrológicas Homogéneas (ZHH). El resultado determinara la fiabilidad del modelo. La ZPA que resulte con mayor jerarquización será objeto del modelamiento en Modflow.

2.3.2. Modelización del flujo hídrico del agua subterránea en el área industrial de Ravennate (Italia, 2001)

Estudio que busca ilustrar los pasos y requerimientos necesarios en la elaboración de un modelo numérico para simular y verificar un ambiente hidrogeológico complejo y prevenir una eventual respuesta debido a la variación de contorno del modelo.

Para modelizar un área es necesario conocer, de la mejor forma posible, todos los elementos que intervienen en un sistema hidrogeológico, los continuos cambios que presentan el sistema físico estudiado en contraste de lo que ocurre en su interior, los problemas que presentan la adquisición de datos para la modelización.

En el estudio se ha analizado varios elementos que definen el sistema que permiten construir el modelo conceptual del territorio. De cada elemento se ha reconstruido la distribución espacial (horizontal y vertical) gracias a la tecnología SIG, directamente integrada al software grafico utilizado (GMS).

2.3.3. Actualización Hidrogeológica de la unidad Guadix-Marquesado como apoyo a la modelación matemática del acuífero (IGME-CHG, 1999)

Trabajos previos a la modelación matemática realizada en el acuífero Guadix, para la evaluación preliminar de la finalización de las labores mineras de la explotación “Minas del Marquesado”, consistente en la recopilación , análisis y tratamiento de la información , previo al modelamiento matemático, que permita calibrar el proceso de modelación.

2.3.4. Delimitación de perímetros de protección de pozos tubulares (PPP) empleando la técnica de modelización numérica (Sao Paulo, 1999)

Modelización de área constituida de 4 unidades acuíferas, sedimentación superior e inferior, manto de alteración cristalino; con flujo subterráneo predominantemente suroeste hacia noreste. Modelo calibrado para un periodo de 10 años, a través de técnicas de trazado de partículas, estableciendo un perímetro de alerta contra la polución (PPP), correspondiente a 50 días de tránsito de partículas en una zona saturada; perímetro de prevención (PP), correspondiente a 150 días de tránsito y un perímetro de contribución (PC), correspondiente a una zona de captura del referido pozo en régimen de equilibrio.

2.3.5. Estudio para la mejora de la caracterización hidrogeológica de la Unidad 08 - 49 "Agost-Monnegre" (Madrid, 2005)

Realización de la cartografía hidrogeológica de la Unidad a escala 1:25,000 en soporte digital, con diferentes capas de información, para su incorporación a la base de datos hidrogeológicos (BDH) y al Sistema de Información Geográfico (SIG), del IGME en ArcInfo y al de la Diputación de Alicante (DPA).

Todo ello para obtener la caracterización geométrica (cartografía geológica, series estratigráficas, cortes geológicos, determinaciones micro paleontológicas, mapas de delimitación de las principales formaciones. El flujo subterráneo ha sido calibrado con el modelo hidrogeológico conceptual de funcionamiento de la unidad 08-49.

2.3.6. Estudio del funcionamiento hidrogeológico y elaboración de un modelo numérico de flujo subterráneo en el acuífero Jumilla – Villena (Alicante y Murcia, 2005)

Caracterización hidrogeológica del acuífero Jumilla – Villena, identificación de las áreas de recarga y descarga: mapa de isopiezas, evolución histórica de los niveles piezométricos y composición química del agua subterránea.

Definición geométrica del modelo y calibración en régimen estacionario, calibración en régimen transitorio y validación del modelo numérico.

CAPITULO 3

AREA DE ESTUDIO

3.1. Ubicación y acceso

La unidad minera Santa Rosa propiedad de la Compañía Minera Aurífera Santa Rosa S.A. (COMARSA), está ubicada en el distrito de Angasmarca, provincia de Santiago de Chuco, departamento de La Libertad, a una altitud aproximada de 3,600 m.s.n.m. (Mapa N° 001).

Las operaciones de la unidad minera Santa Rosa se iniciaron en el año 1994, y en la actualidad se estima que las mismas continuarán hasta el año 2011.

3.2. Infraestructura de la unidad minera

La unidad minera consta de una mina con tajos abiertos, pilas de lixiviación, botaderos de desmonte, instalaciones de procesamiento minero-metalúrgico para recuperar oro y plata, así como infraestructura minera auxiliar.

3.2.1. Mina

La mina, está constituida por los siguientes tajos abiertos:

- Sacalla.
- Tentadora.
- Seductora.
- Cochavara.

Estos tajos abiertos cubren una área total de 630 hectáreas, se comportan como áreas de recarga (captación e infiltración) de agua de lluvias hacia el subsuelo.

3.2.2. Botaderos

Las instalaciones para el manejo de residuos sólidos mineros, están constituidas por los siguientes botaderos de desmonte instalados en las cercanías de los tajos abiertos:

- Botaderos Sacalla (1 al 6).
- Botaderos Tentadora (Norte y Sur).
- Botaderos Seductora (Norte y Sur).
- Botadero Cochavara (de estériles).

Estos botaderos, que cubren un área total de 132 hectáreas, se comportan como áreas que retienen las escorrentías (flujo de agua superficial).

3.2.3. Pilas de lixiviación

Las pilas de lixiviación (Pads), se ubican en áreas cercanas a los tajos abiertos. En el área de la unidad minera se ubican los siguientes:

- Pads Tentadora (No 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9 y 10).
- Pads Seductora (Nº 7 y 11),
- Pad Sacalla (Nº 7, 12 y 20).
- Pad Cochavara (Pad 14).

Los Pads, que en conjunto cubren un área total de 80 hectáreas, se comportan como “sombrillas” o áreas que impiden la infiltración de aguas de lluvias, donde las escorrentías son derivadas y recirculadas hacia las pilas de lixiviación, como se muestra en el Mapa N°. 002.

3.2.4. Instalaciones de procesamiento metalúrgico

Son las siguientes:

- Dos plantas de adsorción y desorción.
- Planta de reactivación química y térmica.
- Fundición.

3.2.5 Vías de acceso y otros

Las demás instalaciones en el área de estudio son las siguientes:

- Carreteras y caminos de acceso.
- Áreas para el material de préstamo.
- Oficinas, talleres, almacenes.

- Suministro eléctrico, instalaciones de tratamiento de aguas, laboratorios, tanques de combustibles.

Estas instalaciones, en general se comportan como áreas que retienen las escorrentías, cubren un área aproximada de 15 hectáreas.

3.3. Climatología

La zona de estudio se caracteriza por presentar un clima semi – seco, de frío moderado, con deficiencias de lluvia en otoño, invierno y primavera.

Este clima típico de la sierra del bosque húmedo montano tropical, presenta dos estaciones bien definidas: una estación lluviosa de octubre a abril con un nivel alto de humedad; y una estación seca, de mayo a septiembre, con temperaturas bajas y sequedad durante el día.

3.4. Meteorología

3.4.1. Estaciones meteorológicas

Para la elaboración del presente estudio se consideró varias estaciones meteorológicas por encontrarse cercanas a la zona de estudio como se muestra en la Tabla N° 3.1 y la ubicación de las estaciones en la Figura N° 1.

3.4.2. Temperatura

La temperatura es el parámetro meteorológico mas ligado al factor altitudinal, encontrándose por consiguiente asociada a las “zonas de vida” las cuales son definidas por rangos de temperatura para cada piso ecológico.

Para el área de estudio, se ha determinado las siguientes zonas de vida: bosque húmedo Montano Tropical (bh-MT) y páramo muy húmedo Subalpino Tropical (pmh-SaT). Según el Mapa Ecológico del Perú (INRENA ,1995) en la zona de vida bh-MT la temperatura media anual máxima es de 13.1 °C y la media anual mínima de 7.3 °C. Asimismo, en la zona de vida pmh-SaT la temperatura media anual máxima estimada es de 6 °C y la media anual mínima es de 3.8 °C.

Tabla N° 3.1: Estaciones meteorológicas cercanas a mina COMARSA

ESTACION	PROVINCIA	DISTRITO	CATEGORIA	PERIDO REGISTRO (años)	COORDENADAS (m)		ALTITUD (msnm)	FUENTE
					ESTE	NORTE		
La Libertad								
Cachicadan	Santiago de Chuco	Cachicadan	MAP	1967-2006	814377	9103913	2901	Senamhi
Mollepata	Santiago de Chuco	Mollepata	CO	1964 - 2006	834532	9094541	2726	Senamhi
Comarsa	Santiago de Chuco	Angasmarca	PLU	2004-2006	829098	9105652	3500	Unidad minera Santa Rosa
Quiruvilca	Santiago de Chuco	Quiruvilca	CO	1964 - 2006	796067	9115106	3950	Senamhi
Laguna Huangacocha	Sánchez Carrión	Huamachuco	PLU	1964 - 2006	825554	9124129	3950	Senamhi
Quiruvilca NPMC	Santiago de Chuco	Quiruvilca	CO	1964-1996	797881	9111404	3950	Mina Quiruvilca
Huamachuco	Sánchez Carrión	Huamachuco	CO	1965-1990	825632	9135198	3030	Senamhi
Santiago de Chuco	Santiago de Chuco	Santiago de Chuco	PLU	1967-1981	812512	9100237	3129	Senamhi
Cajamarca								
Cajabamba	Cajabamba	Cajabamba	CO	1964-2006	825785	9157337	2480	Senamhi
Ancash								
Chuquicara	Huaylas	Caraz	HID	1953-1997	865005	9003861	4800	Senamhi

CO: Climatológica Ordinaria PLU: Pluviométrica HID: Hidrométrica MAP: Meteorológica Agrológica Principal

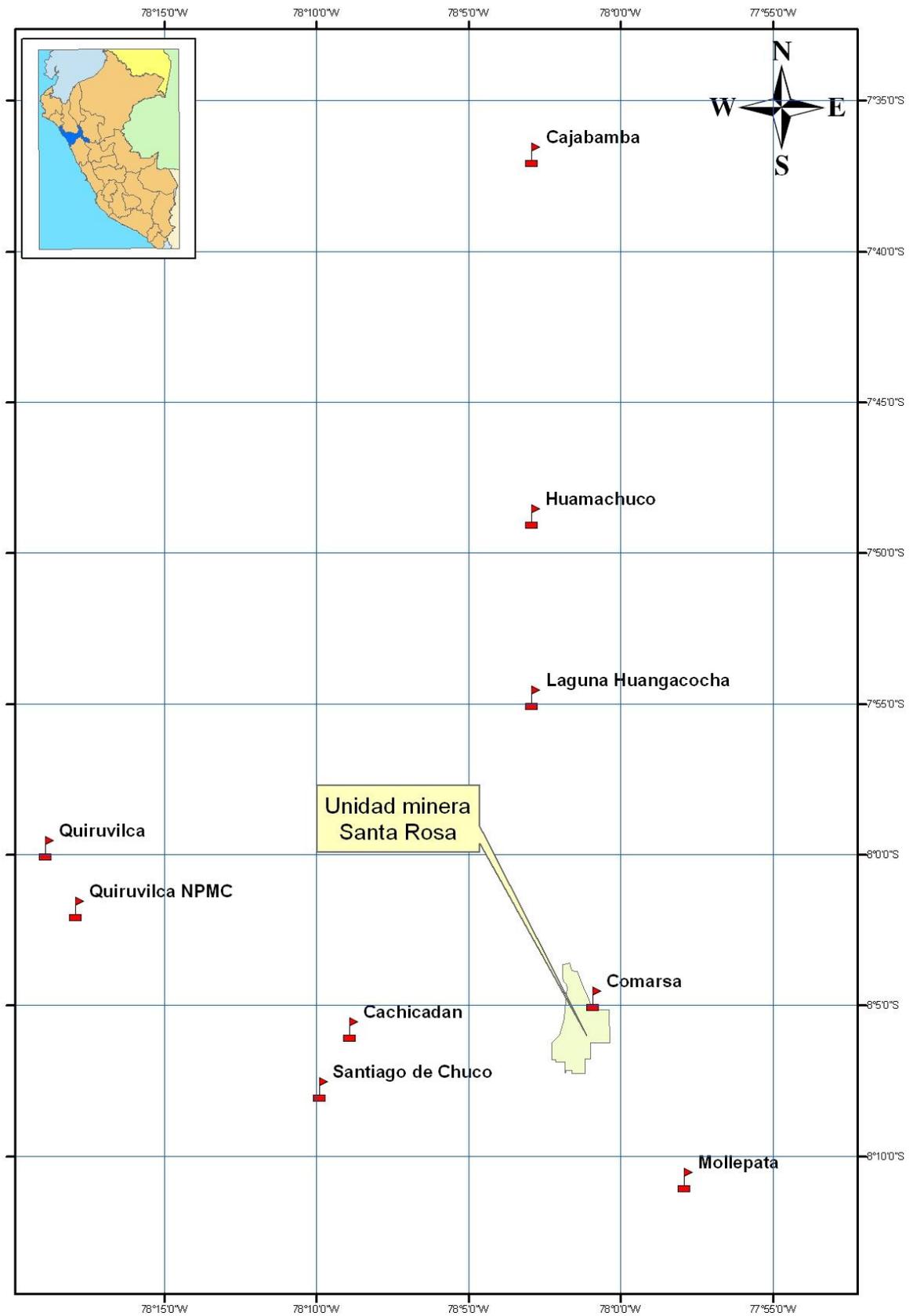


Figura N° 1: Ubicación de las estaciones meteorológicas mas cercanas al área de estudio

Teniendo los valores referenciales de la estación meteorológica Santa Rosa de la mina COMARSA, se estima una temperatura media de 9.29°C, presentando fluctuaciones mayores durante el estiaje, siendo más estable durante la época de lluvias. Según los registros de la referida estación meteorológica, las temperaturas promedio registradas durante los años 2005, 2006 y 2007 son 9.42, 9.15 y 9.28°C, respectivamente como se puede observar en la Tabla A 3.1 del Anexo A.

De acuerdo a los datos obtenidos de temperatura media anual y altitud de las estaciones Huamachuco, Cajabamba y Santa Rosa se realizó una correlación lineal con la finalidad de obtener la temperatura media mensual predominante en el área de estudio, como se muestra en la Tabla N° 3.2.

Tabla N° 3.2: Temperatura media mensual

MESES	TEMPERATURA MEDIA (°C)
Enero	11.55
Febrero	12.11
Marzo	11.38
Abril	12.12
Mayo	12.45
Junio	12.59
Julio	12.90
Agosto	12.56
Septiembre	12.20
Octubre	11.59
Noviembre	11.80
Diciembre	11.17
Media	12.04

3.4.3. Humedad relativa

Según los datos proporcionados por la estación meteorológica Santa Rosa, la humedad media relativa en la zona de estudio es de 62.5% (Véase Tabla N° A.3.2 del Anexo A).

Los valores de humedad relativa son fluctuantes a lo largo del año, siendo la humedad relativa media para los meses húmedos 69.9% (Octubre – Abril) y 52.10% entre los meses secos.

3.4.4. Evaporación

Se ha tomado registros de evaporación de las estaciones Huamachuco desde el año de 1965 al 2001 y de Santiago de Chuco desde el año de 1967 al 1986, teniendo en cuenta su distancia, sus condiciones geográficas y su nivel altitudinal; como se muestra en las tablas N° A.3.3 y A.3.4 del Anexo A.

El procedimiento empleado para estimar la evaporación promedio mensual, se ha realizado a partir de un promedio aritmético de los registros existentes entre las estaciones antes mencionadas y luego se ha aplicado un factor de corrección de 1.10. (Consortio LhMeyer. Salzgitter LIS, 1980). El estudio de Salzgitter provee un factor de corrección de evaporaciones medidas con evaporímetro tipo Piché para convertirlas a evaporaciones en tanque A. Según dicho estudio, aprovechando 35 estaciones que ambos instrumentos, se determinó el referido factor de corrección.

La evaporación promedio obtenida de 3.42 mm/día corresponde al periodo 1965-2001 de la estación Santiago de Chuco

De acuerdo a los datos obtenidos la evaporación promedio mensual asignada al área del proyecto corresponde a 1 248.42 mm, como se muestra en la Tabla N° 3.3.

Tabla N° 3.3: Evaporación mensual media

MESES	EVAPORACION MEDIA (mm)
Enero	72.06
Febrero	52.50
Marzo	61.36
Abril	75.64
Mayo	116.31
Junio	155.71
Julio	155.93
Agosto	138.26
Septiembre	126.09
Octubre	100.64
Noviembre	99.93
Diciembre	93.98
Total	1,248.42

3.4.5. Vientos

Según la estación Santa Rosa, la dirección del viento predominante es hacia el S-SE y SE y una velocidad promedio anual de 5.50 km/h (años 2005 - 2006). (Véase Tabla N° A.3.5 del Anexo A).

3.4.6. Precipitación

3.4.6.1. Precipitación media

Para el estudio se ha considerado los datos de las estaciones meteorológicas Santa Rosa, Laguna Huangascocha, Santiago de Chuco, Huamachuco y Mollepata.

La precipitación se origina de masas de aire de tipo tropical con alto contenido de humedad, provenientes de la cuenca Amazónica, las cuales son elevadas por los vientos del noreste sobre la Cordillera de los Andes traspasando el macizo andino y ocasionando la pluviosidad en la zona. Las masas son de características inestables acentuándose estas condiciones de inestabilidad durante el verano austral como resultado del desplazamiento hacia el Sur de la zona de convergencia intertropical.

Según los datos obtenidos de las estaciones meteorológicas, el régimen de las precipitaciones es alto para los periodos octubre - abril denominado periodo de lluvias, coincidente con el periodo de avenidas y creciente de los ríos. Para el periodo mayo – septiembre valores mínimos o de estiaje. La precipitación anual asignada al proyecto es de 975.60 mm que corresponde al periodo 2004-2007 de la estación Santa Rosa (Véase Tabla N° A.3.6 del Anexo A).

Las precipitaciones tienen una relación directa con la altitud, notándose esta característica al hacer la comparación de los valores con las estaciones meteorológicas ubicadas en las inmediaciones del área de estudio.

La finalidad es encontrar valores aproximados de precipitación mensual en el área de estudio (Tabla N° 3.4), lo cual permitirá hallar las descargas medias mensuales de las quebradas delimitantes y de las demás quebradas ubicadas dentro del área de estudio.

Tabla N° 3.4: Precipitación media mensual

MESES	PRECIPITACION MEDIA (mm)
Enero	145.80
Febrero	142.93
Marzo	269.53
Abril	125.53
Mayo	19.13
Junio	13.63
Julio	6.97
Agosto	8.63
Septiembre	24.33
Octubre	87.20
Noviembre	44.83
Diciembre	112.13
Total	1,000.67

3.5. Suelos, vegetación y agricultura

La vegetación en el área de estudio y en toda la región de la mina Santa Rosa consiste en pastos naturales, así como en pequeños arbustos típicos de esta altitud, los cuales sirven como alimento para el escaso ganado que se cría en los alrededores, a diferencia de la vegetación que se origina en las partes más bajas donde se produce cultivos de pan llevar como maíz, papa, entre otros, para consumo humano (Figuras 2 y 3).

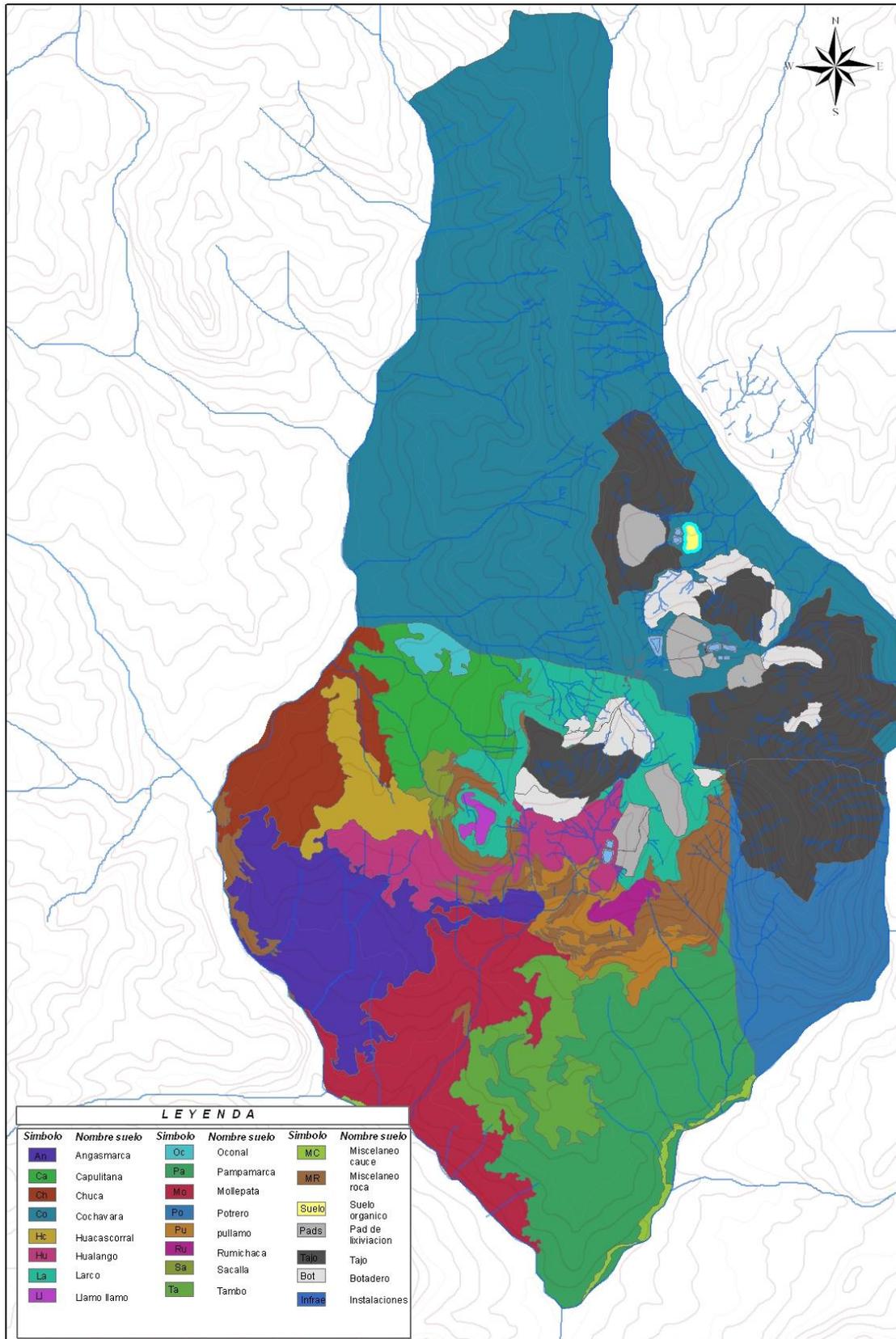


Figura N° 2. Tipos de suelos del área de estudio

3.6. Geología

3.6.1. Geología Regional

El marco geológico regional está constituido por rocas sedimentarias del jurasico superior y cretáceo inferior. Lutitas de la formación Chicama en la base y sobrepuestas por contacto erosional por la formación Chimú, constituido por cuarcitas, areniscas, limonitas, lutitas y calizas. El grupo Goyllarisquizga, compuesto por las formaciones Santa, Carhuaz y Farrat, como se muestra en el Mapa No 004 – geológico.

3.6.1.1. Características geomorfológicas de la zona

El área de estudio en general presenta una topografía de pendientes suaves, donde las geoformas positivas se manifiestan como cerros escarpados de cimas redondeadas a subredondeadas y geoformas negativas, como declives con pendientes suaves (laderas de los cerros) y quebradas.

Regionalmente el área de estudio se encuentra dentro de una altiplanicie, comúnmente denominada superficie de puna, conformada por extensas pampas, delimitadas por el río Angasmarca hacia el este y por los ríos Ucumal y San Francisco por el oeste.

- Los cerros escarpados están localizados en las partes más altas del área de estudio y en su mayoría están compuestas por unidades rocosas con topografía abrupta y pendientes más empinadas que el entorno conformado por una topografía de pendientes suaves. Los más resaltantes son los lugares con afloramientos de rocas intrusivas como el caso del cerro Llamo llamo.
- Las laderas se caracterizan por su pendiente moderada, conformada principalmente por un substrato rocoso, con una cobertura mayormente de suelo coluvial.

Las quebradas están restringidas a los cauces de los ríos y arroyos con márgenes de pendientes muy empinadas, que en algunos lugares llegan hasta 45 grados

3.6.1.2. *Estratigrafía*

Formación chicama

Esta unidad esta constituida por lutitas gris oscuras a negras, estratificada en finas capas fuertemente foliadas, deleznales. Ocasionalmente presentan delgadas intercalaciones de areniscas de color gris parduzco. En el fondo de las quebradas por donde discurren los ríos San Francisco, Michiquilca y Ucumal, se presentan lutitas en finas capas foliadas y deleznales de color gris oscuro negro con diseminación de pirita diagenética y nódulos de Chert.

Formación chimu

La formación Chimú sobre yace concordante sobre la formación Chicama que aflora en el distrito de Cachicadan y Angasmarca. La base de esta unidad esta constituida por una alternancia de areniscas, cuarcitas y lutitas y la parte superior esta constituida por una secuencia de cuarcitas blancas compactas de grano grueso intensamente fracturado. Las cuarcitas Chimú, de acuerdo a las prospecciones geológicas regionales tienen una potencia media de 600 metros. Esta formación está dividida en tres unidades (Jacay, 2000):

- **Miembro A.-** Caracterizado por presentar grandes secuencias de areniscas de grano grueso, intercaladas con delgados niveles de lutitas o limolitas, de 0.50 a 1.0 metro de espesor. La base de esta secuencia es netamente erosiva.
- **Miembro B.-** Caracterizado por presentar una secuencia rítmica de intercalaciones de areniscas de hasta 2 metros de espesor de granulometría gruesa a media con lutitas o limolitas de 1 a 2 metros de espesor.

- **Miembro C.-** Caracterizado por presentar dos subhorizontes. El inferior es una secuencia con un mayor predominio de niveles finos como lutitas y limolitas finamente laminadas, intercaladas con delgados niveles de areniscas de grano fino con presencia de rizaduras y ondulaciones bidireccionales. En algunas secuencias presenta niveles de calizas gris claras de hasta 3 metros de espesor con fina laminación horizontal. El superior es un horizonte de areniscas de grano fino a medio.

Los dos primeros miembros de areniscas, presentan permeabilidad secundaria debido al intenso fracturamiento, lo cual permite el flujo del agua subterránea por su interior.

3.6.1.3 Rocas intrusivas

En diversos sectores del área de estudio afloran cuerpos subvolcánicos de naturaleza andesítica y dacítica. Frecuentemente se hallan emplazados a lo largo de los ejes de los pliegues y zonas de fallas. Las dimensiones de los cuerpos son variables, así en el área de estudio se distinguen dos afloramientos de intrusivos que siguen la dirección del sinclinal que tiene su eje entre los tajos Sacalla y Tentadora y afloran en los cerros Llamo llamo y Urungada (Bermúdez, 2006).

Los cuerpos subvolcánicos son de textura porfirítica con fenocristales de plagioclasa, anfíboles, óxidos, biotita y anfíbol, ocasionalmente con biotita y cuarzo.

Tanto las rocas intrusivas como los subvolcánicos, frecuentemente presentan intenso fracturamiento y meteorización en superficie, lo cual les otorga cierta permeabilidad.

3.6.1.4 Depósitos cuaternarios

Depósitos fluvio-coluviales

En las márgenes de las quebradas, así como al pie de las laderas, se encuentran suelos residuales (eluviales), consistentes en depósitos de material inconsolidado, cuyo origen es la roca madre preexistente como consecuencia del intemperismo y la meteorización.

El material coluvial está constituido por clastos angulosos de cuarcitas y areniscas de diversos tamaños, mezclado con arenas limos y arcillas. En algunos lugares como la quebrada Potreros este material se encuentra mezclado con material fluvioaluvional en la parte distal del pie de monte. Debido a su contenido de limos y arcillas, estos depósitos presentan baja permeabilidad.

Depósitos Fluvioglaciares

En el área donde todavía no se ha desarrollado la actividad minera, como la zona de Cochavara, se presentan depósitos de material morrenico, cubriendo las unidades rocosas. Este material es de alta permeabilidad por tratarse de depósitos mal clasificados.

Depósitos Aluviales

En las áreas de influencia de las quebradas y los ríos Ucumal, Piscochaca, Angasmarca, especialmente en el área del río San Francisco, existen depósitos aluvionales y fluviales, en forma de terrazas de hasta ocho metros de altura, los cuales tienen mayor desarrollo en el área donde confluyen los ríos Piscochaca y Angasmarca. Los depósitos aluvionales y fluviales están compuestos por gravas y arenas estratificadas y de granulometría variada.

3.6.2. Geología estructural

La evolución magmática postectónica del volcánico Calipuy de carácter efusivo y posterior al emplazamiento del batolito costanero, ha generado esfuerzos compresivos de dirección SO-NE, produciendo el arqueamiento e intenso plegamiento de toda la secuencia sedimentaria mesozoica, originando cabalgamientos e imbricaciones en el lado oriental de la cuenca.

Subsecuentemente, el fracturamiento tensional radial del arco, ha generado fallas o alineamientos de transferencia.

La intersección con fallas de arco paralelas a la orientación andina, ha dado origen a zonas de debilidad, favorables para la inyección de los sistemas de intrusión-alteración mineralización.

Los intrusivos, generalmente de mediana acidez, han aprovechado los ejes de los pliegues sedimentarios para su emplazamiento. La parte axial del arco, parece ser el sector de mayor actividad magmática hidrotermal asociada a la mineralización, tanto dentro del campo volcánico Terciario, como a través de la secuencia sedimentaria Mesozoica.

Aunque no esta claro si los yacimientos de oro y plata y polimetálicos de la región están controlados por alineamientos NO-SE o por el sistema NE-SO, estos últimos parecen controlar la mineralización, como ocurre en el alineamiento de los principales centros mineros Salpo, Machacala y Quiruvilca (en las rocas de los volcánicos Calipuy), La Arena, La Virgen, Maria Angola, El Toro y COMARSA (generados en la franja sedimentaria Mesozoica).

En resumen se infiere que la región ha sido sometida a una intensa actividad tectónico magmática, intenso plegamiento y fallamiento andino, actividad magmática efusiva e intrusiva, arqueamiento como consecuencia del plegamiento andino y generación de fallas de transferencia.

La secuencia sedimentaria Mesozoica, es abruptamente interrumpida por la ocurrencia de geoformas domicas, asociadas a intrusiones hipabisales terciarias, que cortan a las formaciones Jurasico-Cretácicas que han sido intensamente plegadas y falladas.

Estas intrusiones afloran aisladamente como pequeños Stocks, pero en profundidad parecen formar un solo cuerpo intrusivo mayor. Los domos, se evidencian claramente por su mayor elevación topográfica y drenaje radial centrifugo. Dentro de los domos es posible observar afloramientos tipo Roof

Pendientes de rocas sedimentarias. La ocurrencia de estas intrusiones dómicas, parecen tener relación directa con la mineralización de la región, como se muestra en la Figura N° 4.

3.6.2.1. *Pliegues*

Las rocas sedimentarias que afloran en el área de la región, están afectadas por plegamientos, que tienen una orientación preponderante NO-SE, coincidente con la dirección de la cordillera de los Andes. Aparentemente los pliegues están controlados por las fallas regionales, donde el eje de los pliegues tanto sinclinales como anticlinales son paralelos o perpendiculares a la dirección de las fallas regionales.

Considerando la dirección de la cordillera de los Andes y la dirección de las fallas principales, se evidencia la existencia de un sinclinal en el área de influencia de los tajos Tentadora y Seductora. Asociada a esta estructura existen pequeños plegamientos tanto en la zona de Cochavara como en el área de influencia de Sacalla, concomitante con el intrusivo Llamollamo.

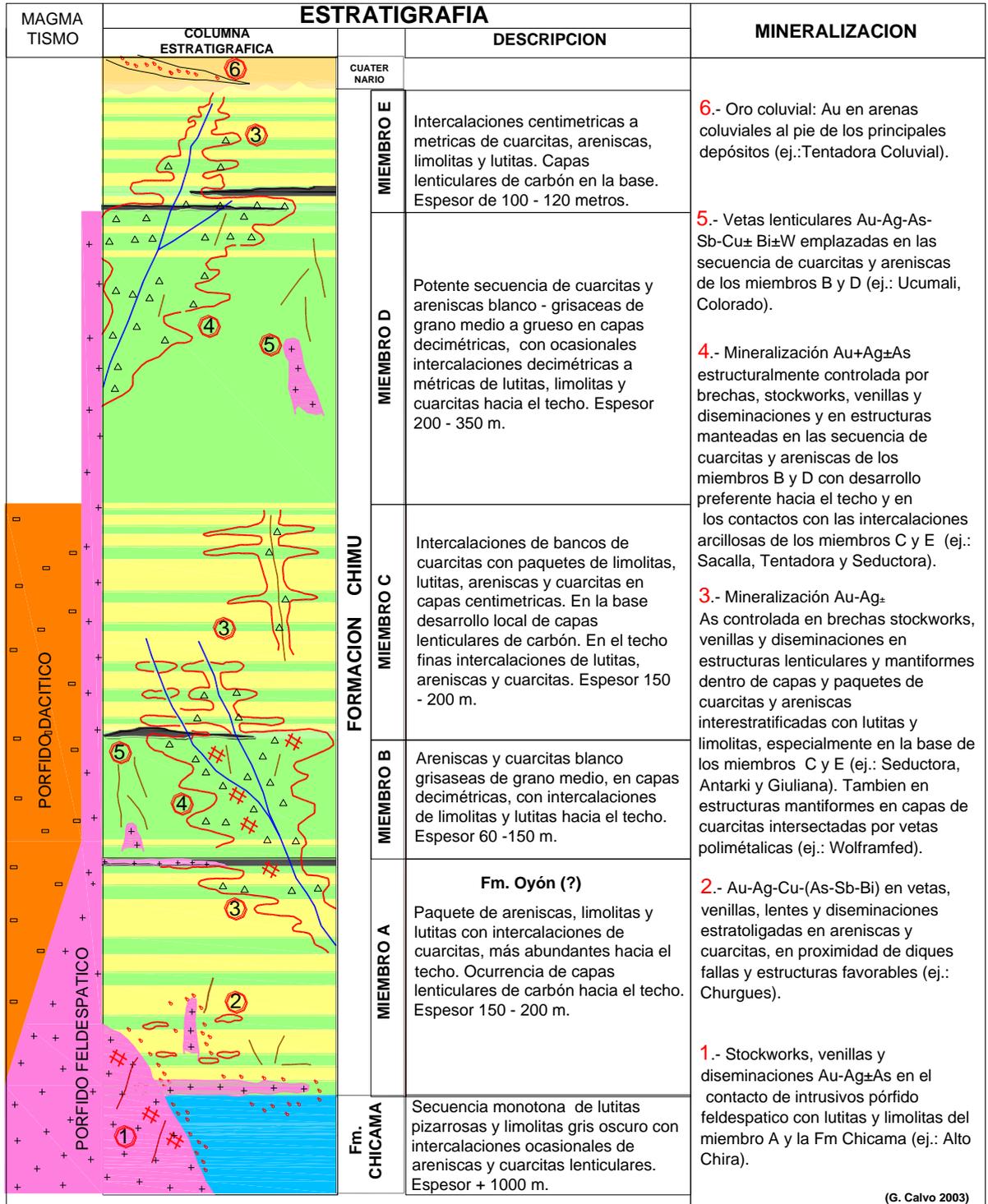
En su conjunto, estas fallas constituyen importantes conductos que favorecen el flujo regional del agua subterránea.

3.6.2.2. *Fallamientos de orientación NNO – SSE*

Las estructuras con orientación NNO-SSE son las más antiguas, razón por la cual existen fracturamientos sobre impuestos en algunos lugares, originando mejores condiciones tanto para la mineralización como para la hidrogeología. Las fallas más importantes de orientación NNO-SSE del área de estudio, son:

- Falla Ucumal N 30° O, con movimiento normal aparentemente.
- Falla Giuliana N 35° O y buzamiento 70° NE, con movimiento normal.
- Falla Mummy N 20° O y buzamiento 60° SO, con movimiento inverso.

ESTRATIGRAFIA Y MINERALIZACION EN EL DISTRITO DE SANTA ROSA



(G. Calvo 2003)

Figura N° 4. Estratigrafía y mineralización en el distrito Santa Rosa.

Asociado a estas fallas de gran magnitud, posiblemente se encuentre las pequeñas fallas y fracturas, cuya presencia se asocia a la mineralización.

El funcionamiento de estas fallas estuvo asociado a la orientación del esfuerzo principal, funcionando como fallas de rumbo, durante periodos de colisión oblicua de las placas y como fallas inversas durante episodios de colisión ortogonal, o como fallas normales durante periodos de relajamiento de los esfuerzos.

3.6.2.3. Fallamientos de orientación ENE – OSO

Las estructuras ENE-OSO son fallas de transferencia, aproximadamente perpendiculares al rumbo del arco andino y la importancia metalogenética de estas estructuras ha sido recientemente reconocida en el sector Norte de la cordillera y en otros importantes distritos mineros como Yanacocha, Antamina, etc. Las fallas más importantes del área de estudio, son:

- Falla Jordy N 45° E, con buzamiento 50° NO y movimiento dextral.
- Falla Cementerio N 60° E, con buzamiento 80° NO y movimiento sinistral.
- Falla Cruce N 70° E, con buzamiento 80° NO y movimiento dextral.
- De la misma forma que en el primer grupo se encuentran fallas de menor magnitud.

La intersección de fallas de ambos sistemas ha generado condiciones adecuadas para el emplazamiento de los domos volcánicos así como la presencia de los intrusivos hipabisales de edad terciaria que controla la localización de los principales yacimientos minerales en el distrito minero de Santa Rosa (Véase Mapa N° 4-A) .

3.6.3. Yacimientos minerales

Los yacimientos metálicos, en el área ocurren en forma de vetas y cuerpos irregulares de reemplazamiento dentro de las rocas volcánicas y

sedimentarias. La mineralización está asociada al flujo mineralizante ocurrida con la intrusión de los subvolcanicos.

Vetas, diques y sills

Las vetas mineralizadas en el área de influencia del proyecto están constituidas por óxidos de hierro y arsénico (jarosita, goethita y escoradita), que dan valores de oro de hasta 20 gr/Tm. Las estructuras de vetas mineralizadas tienen un rumbo promedio N20°-35°O y buzamiento de 30° – 70° NE y potencias de 10 hasta 30 cm, emplazadas en las rocas de la formación Chimú.

En cuanto a diques, en el área de Sacalla aflora uno, posiblemente asociado al intrusivo Llamo Llamo, este dique se encuentra argilizado y con ciertas manchas de óxidos limoníticos. En profundidad, se presentan relictos de pórfidos de feldespato, además de diseminación de pirita fina (3% - 5%). Estos diques tienen potencias promedio de 3 m y 1 m respectivamente.

En el tajo Tentadora se presenta el dique Josefina, acompañado de una veta de óxidos de hierro con valores de 3.00 grAu/Tm, donde se presenta totalmente obliterado, argilizado y con manchas de óxidos limoníticos, con una potencia promedio de 0.60 m.

En algunos casos estos diques se interdigitan entre los estratos de la formación Chimú y se comportan a manera de Sills. Al parecer estos pequeños cuerpos intrusivos están relacionados con la mineralización aurífera en estos depósitos.

No se ha podido evidenciar la existencia de Sills en el área del proyecto, pero no se descarta la posibilidad de que existan en profundidad o bajo zonas de cobertura, dado que en el distrito minero Santa Rosa si afloran, principalmente en los tajos en operación.

Brechas

Las brechas están asociadas a las fallas menores y de acuerdo al estudio realizado por COMARSA, existirían dos tipos de brechas:

- Las brechas tectónicas que constan de fragmentos subangulosos y centimétricos de cuarcita y arenisca, en una matriz arenosa con cierta manifestación de material fino semi-deleznable (milonita); al parecer por estas estructuras ascendieron los fluidos hidrotermales, originando fuerte alteración sericítica. En las cuarcitas, se presentan como material detrítico con coloraciones blancas a blanco-amarillentas, que generalmente no presentan contenidos de oro.
- Las brechas hidrotermales, están compuestas de fragmentos de cuarcita y arenisca subangulosos centimétricos, englobados en una matriz afanítica compacta de sílice con óxidos de hierro, mayormente hematita y con goethita parda oscura en menor cantidad; estas brechas son pobres en valores de oro.

En el Mapa N° 4-B, se puede apreciar un perfil transversal SO – NE donde se muestra el nivel de agua subterránea que se presenta en el sector Sacalla, obtenido a partir de las perforaciones RCD (circulación de aire reversa) realizadas para obtener niveles freáticos con sus respectivas columnas geológicas (Véase descripción columna geológica Anexo B) .

CAPITULO 4

MATERIALES Y METODOS

4.1. Materiales y equipos

La presente investigación, consiste en la caracterización del funcionamiento Hidrogeológico de la unidad minera a cielo abierto COMARSA, con la aplicación de herramientas disponibles de la geomática. Para el logro de esta meta se hizo necesario contar con los materiales cartográficos que se detallan seguidamente.

4.1.1. *Materiales cartográficos*

Para la ejecución del presente trabajo de investigación, se emplearon los siguientes documentos cartográficos:

- Dos juegos de fotografías aéreas, verticales, pancromáticas, U.S.A.F – 1948, de escala aproximada 1:20,000, adquirida al Servicio Aerofotográfico Nacional (SAN).
- Imagen Landsat 7 ETM, vertical, multiespectral, fusionadas a 15 m, con una cobertura de 185 Km x 185 Km, Path 008 / Row 069 en formato tiff – PSAD 56 / WGS84, adquirida a BMP Geomática, 2007.
- Seis planos del Proyecto Especial de Titulación de Tierras (Restitución Fotogramétrica), a escala 1:25,000 con curvas de nivel cada 25 metros.
- Mapa Geológico del Perú del cuadrángulo de Santiago de Chuco, levantado por el Servicio de Geología y Minería (1967), reimpresso por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET – 2002).
- Mapa Ecológico Actualizado del Perú (INRENA), a escala 1:50,000.
- Mapa Geomorfológico de la cuenca de Angamarca, escala 1:25,000, del estudio de exploraciones de la unidad minera Santa Rosa.

4.1.2. *Equipos*

En la presente investigación se utilizaron los siguientes equipos:

- Estereoscopio de espejo Wild ST4.
- GPS Navegador Garmín Etrex Legend.

- Computadora Pentium IV (softwares ArcView 3.2a, ArcGis 9.2, Envi 3.6 ArcInfo 3.5.2, visual basic for application, Modflow versión 4.2).
- Impresora formato A3.
- Cámara fotográfica.
- Cámara filmadora.
- Escáner formato Oficio.
- Grabador de DVD y tarjeta de video.
- Equipo Diver (Schlumberger), de monitoreo de parámetros in situ de las características físico químicas del agua.

4.2. Metodología

4.2.1. Trabajo de gabinete

Para la formulación y elaboración del informe de la presente investigación se ha tomado la bibliografía de diversos estudios anteriores realizados en el área de la unidad minera. Siendo estos estudios, el hidrológico, geológico, geotécnico, diseño de Pilas de lixiviación (PADs), diseño de botaderos, estudios de impactos ambientales. La información hidrogeológica es escasa.

Adicionalmente, durante esta tarea se desarrollaron las siguientes actividades:

- Selección y contraste de información del área de exploraciones mina (pozos, piezómetros, taladros, etc.).
- Evaluación de fuentes de agua subterránea inventariadas, determinación de sus caudales y parámetros físico químicos.
- Recopilación y selección de información de niveles de agua en los piezómetros y pozos de observación implementados.
- Revisión de información de pruebas hidráulicas realizadas con posterioridad a las perforaciones.
- Evaluación e interpretación de laboratorio de la calidad del agua.
- Obtención de información de estudios realizados en el ámbito de la UMSR.
- Elaboración de planos e informe de investigación.

4.2.1.1. Procedimiento realizado en el trabajo de gabinete

Este procedimiento ha sido subdividido en dos fases principales de trabajo: **(1)** la fase de **fotointerpretación**, mediante la utilización de los pares estereoscópicos a escala 1:20,000; durante esta fase básica, se hizo la separación de unidades de mapeo (unidades fisiográficas) en base a elementos interpretativos: formas del terreno, pendientes, tonalidad, erosión, vegetación, patrones de drenaje o hidrográfico y uso de la tierra, **(2)** la fase de **procesamiento y compilación** en la cual se integro toda la información obtenida durante la etapa de campo, se realizaron los reajustes necesarios a la fotointerpretación inicial, con ayuda de la imagen de satélite del ámbito de la subcuenca con la resolución espacial de 15 metros. Permitiendo la confección de mapas de suelos, los documentos cartográficos afines y un conjunto de gráficos, cuadros y laminas ilustrativos. La fase de gabinete final se realizo teniendo en cuenta las correcciones y la integración de información complementaria.

A continuación, se anota un esquema de los pasos que comprendió la fase de la etapa de gabinete (2) y gabinete final:

- Interpolación y extrapolación de la información obtenida en campo, mediante ajustes de la fotointerpretación efectuada inicialmente.
- Traslado de la información de las fotografías y la imagen de satélite Landsat 7 ETM, al mosaico (digital georeferenciado) elaborado sobre la base de los planos del PETT, a escala 1:25,000 con el uso de los softwares Envi 3.6, ArcView 3.2a y ArcGis 9.2.
- Digitalización del mapa Geológico, Ecológico, Geomorfológico, y Fisiográfico.
- Digitalización de los mapas de Suelos y Vegetación, determinando la superficie ocupada por cada unidad y preparación de las leyendas respectivas.
- Elaboración del mapa de pendientes

- Elaboración del mapa de coeficiente de escurrimiento, hidrogeológico, hidroisohipsas, isoconductividad, entre otros.
- Elaboración de cuadros y laminas ilustrativos
- Elaboración y redacción del informe de investigación.

4.2.2. Trabajo de campo

En esta etapa se realizaron investigaciones de campo en la zona de estudio de la unidad minera Santa rosa, el cual se presenta de dos fases definidas: **(1)** un reconocimiento preliminar o generalizada de la zona, con el fin de tomar contacto con las características físico-topográficas mas saltantes, obteniéndose así una primera aproximación de dichas características; **(2)** el reconocimiento sistemático de campo, que constituye la etapa fundamental del examen del terreno del área investigada. La evaluación permitió confirmar, corregir, completar e inclusive generar información no existente, necesaria para la elaboración de los mapas temáticos correspondientes, considerados en la etapa de gabinete de procesamiento.

En la Figura N° 5, se aprecia las etapas consideradas en el presente estudio de caracterización hidrogeológica.

4.2.3. Trabajo de laboratorio

En el desarrollo de la investigación, la etapa del trabajo de laboratorio se realizo con la aplicación de diferentes técnicas que se indican a continuación:

- Empleo de la técnica de fotointerpretación de pares estereoscópicos.
- Técnica de interpretación (fotolectura) de imágenes de satélite (tratamiento digital de imágenes).
- Técnicas de automatización cartográfica (Sistema de Información Geográfica).
- Técnicas de interpretación de la hidroquímica de los resultados de análisis de las fuentes de agua subterránea.
- Técnicas de modelización para simularon del acuífero de la UMSR.

Caracterización del funcionamiento Hidrogeológico de la unidad minera a cielo abierto COMARSA-Perú. aplicando tecnologías geomáticas.

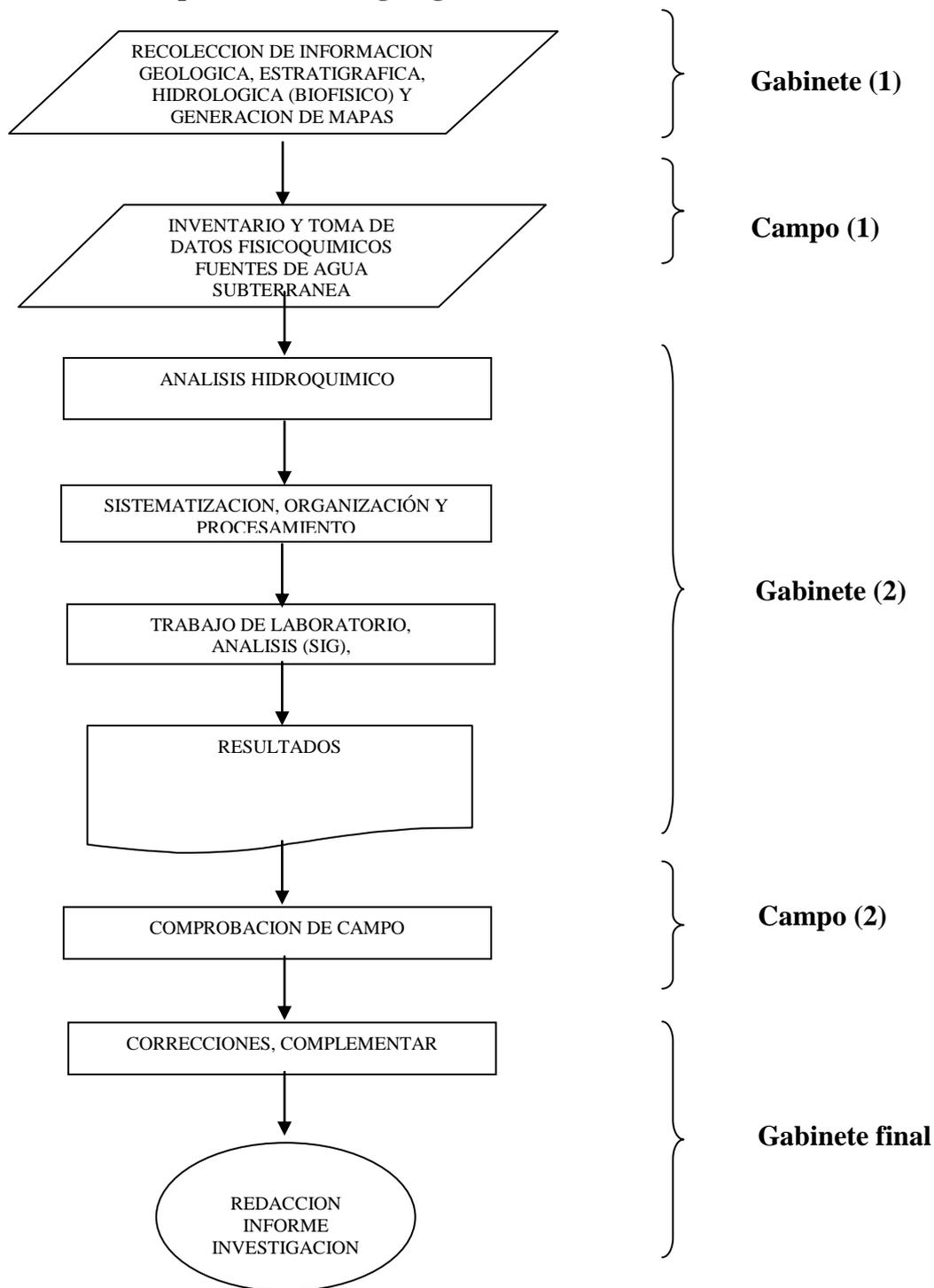


Figura N°. 5. Esquema lógico de la investigación hidrogeológica

CAPITULO 5

RESULTADOS Y DISCUSION

5.1. Relieve del terreno

Los resultados de la clasificación de pendientes del área de estudio se muestran en la Tabla N° 5.1 y se representan en el Mapa de Clases de Pendiente a escala 1:50000. (Véase Figura C5.1 del Anexo C).

Tabla N° 5.1: Superficie y porcentaje de las clases de pendientes

Rango (%)	Pendiente	área (has)	%
< 1	Despreciable	146.5	2.6
1 - 5	Suave	5.4	0.1
5 - 20	Media	1307.5	23.3
20 -50	Alta	2735.9	48.7
> 50	Pronunciada	1420.6	25.3
TOTAL		5615.9	100.0

Los resultados indican la predominancia de la pendiente del rango 20-50% que cubre una superficie de 2735.9 Has, la pendiente de rango > 50% cubre una superficie de 1420.6 Has, la pendiente de rango 5 –20% cubre una superficie de 1307.5 Has, la suma de estos tres rangos de pendientes (5464 has), representa el 97.3% del área total estudiada. De los resultados se puede indicar que la mayor superficie del área estudiada presenta una pendiente mediana a una pronunciada.

5.2. Suelos

Los datos de suelos obtenidos en este estudio se muestra en la Tabla N° 5.2, de acuerdo a la clasificación asumida, de tal forma que pueda ser superpuesta al tema (capa) de pendiente y vegetación para obtener el mapa de coeficiente de escurrimiento.

Tabla N° 5.2: Superficie y porcentaje de las clases de suelos

Descripción	área (has)	%
Impermeable	308.7	5.5
Permeable	5285.8	94.1
semipermeable	21.2	0.4
TOTAL	5615.7	100.0

Los resultados mostrados en Tabla N° 5.2, indican que el 94.1% de suelo presente en el área estudiada, se ha considerado como permeable, es decir ocurre el proceso de infiltración. Los suelos de tipo impermeables y semipermeables representan un 5.9% de la superficie estudiada, el suelo de tipo impermeable ha sido considerado las áreas ocupadas por las pilas de lixiviación (PADs), debido a que estos en su construcción presentan una base de geomembranas que son impermeables. (Véase Figura C5.2 del Anexo C).

5.3. Vegetación

Los resultados se muestran en la Tabla N° 5.3, de la vegetación evaluada en el área de estudio se han agrupada en 6 clases, presentándose en mayor superficie los cultivos (1855 Has) y 33% del área de estudio. Estos suelos se encuentran presentes en la zona Oeste y Suroeste del área intervenida por la actividad de la UMSR, la producción de estas áreas de cultivo se basan en productos de pan llevar (papa, trigo, cebada, entre otros).

Tabla N° 5.3: Superficie y porcentaje de las clases de vegetación

Tipo de vegetación	área (has)	%
Vegetación	748.4	13.3
Cultivos	1855.1	33.0
Pastos, vegetación ligera	533.7	9.5
Hierva, grama	1436.6	25.6
Bosque, densa vegetación	69.0	1.2
Zona urbana, componentes mina	973.0	17.3
TOTAL	5615.7	100.0

La hierva – grama, ocupa un superficie de 1436.6 has, que corresponde al 25.6% del área total estudiada.

5.4. Hidrología superficial y subterránea

El agua subterránea en el área de estudio está evidenciada en forma natural por la presencia de numerosos manantiales y bofedales que generalmente se presentan en forma aislada. Sin embargo en forma artificial, también se manifiesta dentro de los pozos de monitoreo, dentro de algunos taladros de exploración minera y en el fondo de algunos tajos abiertos.

El agua subterránea tiende a brotar con mayor caudal en las partes bajas del área de estudio, razón por la cual, en estas zonas se ubican terrenos de cultivo y en algunos casos viviendas rurales.

5.4.1. Hidrología superficial

Hidrografía.

La zona de influencia de la unidad minera está limitada por el lado Oeste por el Río Angasmarca, por el lado Este por los Ríos Ucumal, San Francisco, Piscochaca. El Río Angasmarca a su vez presenta como afluentes principales a los ríos Hijadero y Piscochaca. Todas las quebradas que drenan sus aguas a estos ríos antes de iniciarse las explotaciones mineras presentan un patrón de flujo paralelo. En la actualidad las que se encuentran dentro del área de influencia directa, han sido modificadas durante la operación minera y presentan un patrón de drenaje radial.

Todas estas subcuencas, están comprendidas dentro de la cuenca del Río Tablachaca el cual forma parte de la cuenca del Río Santa, que desemboca en el Océano Pacífico.

El drenaje principal del área es el Río Ucumal cuyo caudal estimado para época de estiaje (Agosto) es de 450 L/s, considerando que este caudal puede aumentar en época de lluvias.

Los ríos Angasmarca y Tablachaca se caracterizan por tener un flujo permanente, incrementándose su caudal en los meses de Octubre a Abril. El cuerpo receptor, Río Santa presenta todo el año un caudal permanente.

Las microcuencas mencionadas en el Tabla N° 5.4 pertenecen a la subcuenca del Río Angasmarca que se encuentra en el área de influencia de las operaciones mineras.

5.4.1.1. *Parámetros geomorfológicos*

Los parámetros geomorfológicos de las microcuencas de las quebradas encontradas en la zona de estudio permiten determinar el grado de riesgo que tiene sobre los componentes que se podrían proyectar sobre el emplazamiento de las cuencas. A efectos de conocer y analizar dichos parámetros, se presentan sus características en la Tabla N° 5.4. y Tabla N° 5.5, antes y después de la intervención minera.

Factor de forma (F)

El factor de forma expresa la relación entre el ancho del cauce del rectángulo que encierra la cuenca (b) y la longitud del cauce proyectado en el rectángulo que encierra la cuenca (L).

Los factores de forma de las cuencas son inferiores a la unidad, por lo que corresponden a cuencas más bien extensas, en el sentido de la corriente. El coeficiente de compacidad, es indicador de la regularidad geométrica de la forma de la cuenca. Es la relación entre el perímetro de la cuenca y la circunferencia de un círculo con igual superficie que la cuenca.

Tabla N° 5.4: Parámetros geomorfológicos sin la intervención minera

ECOSISTEMA CUENCA	AREA DE LA CUENCA (Ha)	PERIMETRO DE LA CUENCA (km)	INDICE DE COMPACIDAD	FACTOR DE FORMA	LONGITUD DEL CAUCE (km)	PENDIENTE DEL CAUCE (%)
Subcuenca						
Angamarca	35321.16	94.62	1.41	0.94	33.87	5.48
<i>Microcuenca Sector Oeste</i>						
Hijadero	253.43	8.63	1.52	0.46	2.15	14.41
Cochavara SO	211.86	7.11	1.37	0.38	2.88	16.79
Huacacorral	282.92	8.51	1.42	0.49	1.23	17.70
Sacalla	715.27	13.21	1.38	0.39	5.37	14.11
Cenegavara	150.89	5.61	1.28	0.52	1.91	15.61
Loma Colorada	73.54	4.81	1.57	0.35	1.03	20.70
Pachagón	77.49	4.04	1.29	0.55	1.26	19.80
<i>Microcuenca Sector Este</i>						
Cementerio	44.81	3.21	1.34	0.53	0.66	22.93
Jordy	62.35	3.66	1.30	0.78	0.79	21.29
Cochavara SE	95.59	4.59	1.31	0.55	1.88	19.51
Desaguadero	235.58	7.45	1.36	0.86	2.04	15.42
Potrero	333.91	10.45	1.60	0.47	3.21	18.41
Ucumalí	76.70	4.35	1.39	0.67	1.54	17.50
Aliso	60.15	3.17	1.14	0.59	0.89	21.84
Cruce	80.98	3.86	1.20	0.93	0.95	24.34

Tabla N° 5.5: Parámetros geomorfológicos con la intervención minera

ECOSISTEMA CUENCA	AREA DE LA CUENCA (Ha)	PERIMETRO DE LA CUENCA (km)	INDICE DE COMPACIDAD	FACTOR DE FORMA	LONGITUD DEL CAUCE (km)	PENDIENTE DEL CAUCE (%)
Subcuenca						
Angamarca	35321.16	94.62	1.41	0.94	33.87	5.48
<i>Microcuenca Sector Oeste</i>						
Hijadero	161.30	6.01	1.32	0.70	2.50	14.41
Cochavara SO	214.40	7.45	1.42	0.51	3.10	16.79
Huacascorral	359.40	8.63	1.27	0.69	3.01	17.70
Sacalla	660.60	13.21	1.44	0.63	5.59	14.11
Cenegavara	150.89	5.61	1.28	0.52	1.91	15.61
Loma Colorada	73.54	4.81	1.57	0.35	1.03	20.70
Pachagón	77.49	4.04	1.29	0.55	1.26	19.80
<i>Microcuenca Sector Este</i>						
Cementerio	33.50	2.72	1.32	0.74	0.97	22.93
Jordy	25.40	2.28	1.27	0.55	0.94	21.29
Cochavara SE	252.40	7.12	1.25	0.89	2.10	19.51
Desaguadero	148.20	7.87	1.81	0.83	2.22	15.42
Potrero	431.40	11.43	1.54	0.42	4.80	18.41
Ucumalf	76.70	4.35	1.39	0.67	1.54	17.50
Aliso	60.15	3.17	1.14	0.59	0.89	21.84
Cruce	80.98	3.86	1.20	0.93	0.95	24.34

Nota: Las microcuencas escritas en azul son las que han sufrido modificación en su morfología, debido a su intervención en el desarrollo de la unidad minera, los mismos que han sido evaluados y analizados en la presente investigación.

5.4.1.2 Área de intervención minera

Se ha considerado con este termino a los espacios ocupados por los PADs, botaderos, tajos, pozas de tratamiento hidro-metalúrgico y las instalaciones de campamentos, laboratorios, oficinas administrativas, viviendas entre otros de la UMSR., en esta investigación para obtener el modelo digital del terreno antes y después de la intervención minera, ha sido generada a partir de información de curvas de nivel con equidistancias de 5 metros, de los años 1994 (Antes intervención) y el 2007 (Durante intervención). Estos cambios se puede visualizar en la Figura 5.1.

Como resultado de la intervención estos componentes han originado cambios en la morfología del terreno, en la red de drenaje, en las pendientes, gradiente hidráulico, alteración de la vegetación y el uso del suelo.

Para identificar los cambios en la morfología relacionado al ámbito de las microcuencas de influencia directa de la UMSR, se ha logrado con el uso de los sistemas de tratamiento de imágenes digitales y del SIG. El programa usado para tratamiento de imágenes es el Envi versión 4.1 y el software SIG el ArcGis versión 9.2.

La imagen empleada es el LANDSAT TM7, combinación de bandas 741 (estudios hidrológicos, vegetación), superpuesto al Modelo Digital del Terreno (MDT), obtenido de la topografía a gran escala permite componer las escenas que se observa en la Figura N° 5.

El Gráfico N° 5.1, muestra en barras las superficies de las microcuencas seleccionadas que han sido impactadas por la actividad de la UMSR. Por la dinámica de la mina, algunas microcuencas como resultado aumentan en superficie, otras disminuyen.

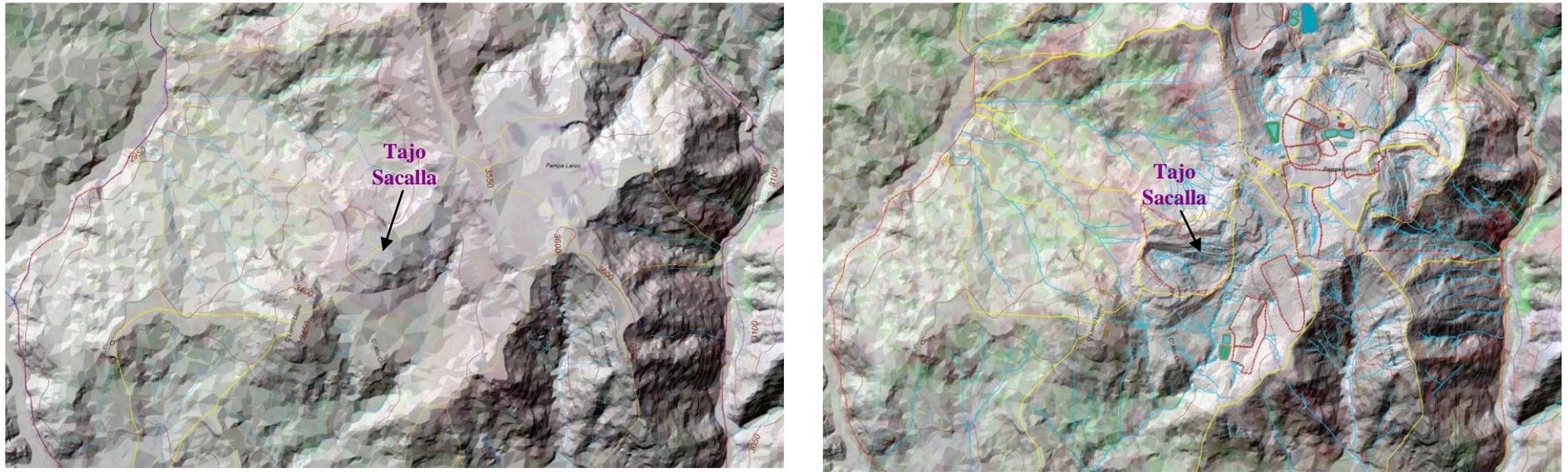


Figura 5: Modelos digitales del terreno. A la derecha antes de la actividad minera (1994). A la izquierda actualmente durante el desarrollo de la etapa de operación y explotación de la unidad minera (2007).

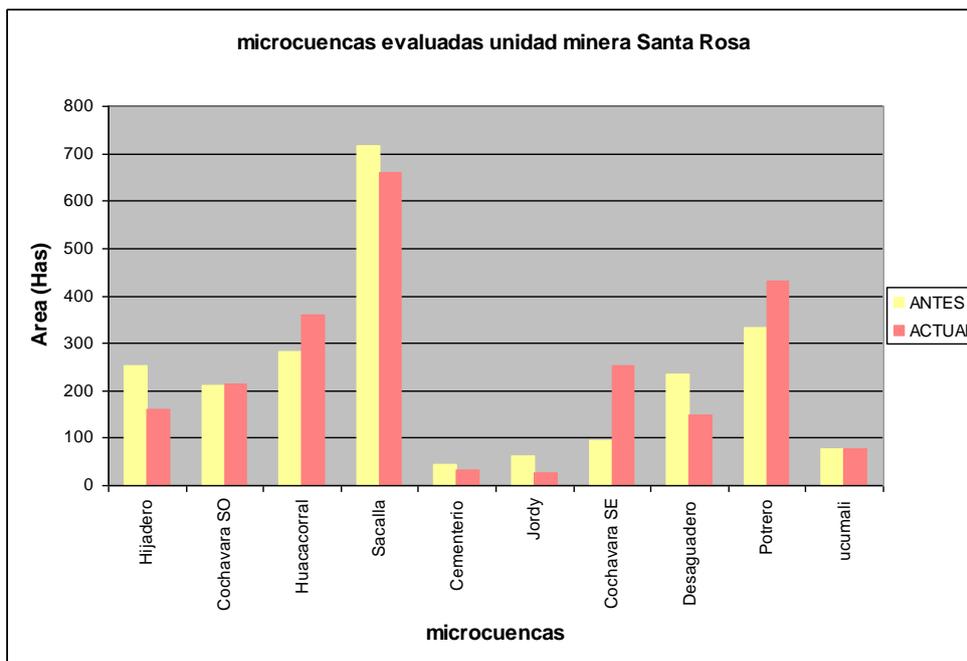


Gráfico 5.1: cambio de la morfología antes y durante la actividad de la unidad minera Santa Rosa

Índice de Compacidad (K)

La forma superficial de las cuencas hidrográficas tiene interés por el tiempo que tarda en llegar el agua de los límites de la cuenca a la salida de la misma. Uno de los índices para determinar la forma es el Coeficiente de Compacidad (Gravelius, 1914) que es la relación “K” existente entre el perímetro de la cuenca “P” y el perímetro de un círculo que tenga la misma superficie “A” que dicha cuenca:

$$K = \frac{P}{2\sqrt{\pi \cdot A}} = 0,28 * \frac{P}{\sqrt{A}}$$

El índice será mayor o igual a la unidad, de modo que cuanto más cercano a ella se encuentre más se aproximará su forma a la del círculo, en cuyo caso la cuenca tendrá mayores posibilidades de producir crecientes con mayores picos (caudales). Por otra parte “K” es un número adimensional independiente de la extensión de las cuencas.

Los valores del índice de compacidad del Río Angasmarca y todas las quebradas son mayores a la unidad, lo que indica que las cuencas

son de tipo alargada, los cuales tienen la característica que reduce dicha probabilidad (Véase Tabla N° 5.4 y 5.5).

Todas las quebradas presentan fuertes pendientes, indicando que dichas quebradas son jóvenes, sin embargo los ríos Angasmarca, San Francisco, Ucumal, Piscochaca y Hijadero presentan una pendiente suave que indica que son ríos de formación madura.

5.4.1.3. Subcuenca del río Angasmarca-Hijadero-Rayambal

La subcuenca del Río Angasmarca tiene un área de 353.2 km², su cauce principal tiene una longitud de 33.9 km y una pendiente promedio de 6%.

Localmente, el área donde se desarrollan las operaciones mineras, ocupa las cabeceras de los ríos Angasmarca y Ucumal. El área de drenaje de la concesión hacia el río Angasmarca es de 700 Ha.

Las quebradas Cochavara SO, Huacascorral y Sacalla que drenan hacia el río Angasmarca durante los trabajos de campo, manifestaron caudales para época de lluvias desde 1.20 a 56 L/s (J. Tovar, 1999).

La subcuenca del Río Angasmarca capta las aguas provenientes de las subcuencas Hijadero y Piscochaca, los cuales se ven influenciados de manera indirecta con el área de estudio.

5.4.1.4. Subcuenca del río Piscochaca-San francisco-Ucumal

La subcuenca del río Ucumal, tiene un área de 84.9 km² antes de su confluencia con el río San Francisco, su cauce principal tiene una longitud de 14.3 km. y una pendiente de 6.50%. El río presenta una pendiente moderada y en consecuencia su potencial erosivo es de mediana intensidad.

El Río Ucumal constituye un cuerpo hídrico de régimen variable, que solo presenta flujos de agua significativos en el periodo Octubre-

Abril y en el resto del año presenta flujos de agua que se filtran de los acuíferos que fueron recargos durante la época de lluvia.

La subcuenca del río Ucumal capta aguas provenientes de la microcuencas Aliso, Cruce, Cementerio, Jordy y Cochavara SE, relacionadas directamente con el área de estudio.

5.4.1.5. Situación de los recursos hídricos

El área de emplazamiento de las operaciones minero-metalúrgicas tiene recursos de agua superficial y subterránea, producto de las precipitaciones y almacenamiento subterráneo.

La fuente principal de abastecimiento de agua a la unidad minera se obtiene del Canal Inchame, la cual se almacena en una poza denominada Nandito de 1,500 m³ de capacidad para luego ser bombeada a la poza Lucas la que tiene una capacidad de 1,000 m³ ubicada en el cerro Clarita desde donde se distribuye el agua por gravedad para el uso industrial y doméstico.

5.4.1.6. Análisis de caudales

Caudales

Para la estimación de los Caudales medios en las cuencas involucradas en el ámbito de la unidad minera, se recurrió a la información hidrométrica de la estación Chuquicara (Ancash) que controla las descargas del río Tablachaca(Véase Tabla N° 5.6).

Con la información de descargas medias mensuales de la estación Chuquicara y la Precipitación Media Mensual de a cuenca Tablachaca se ha estimado las descargas medias mensuales de la cuencas: Angasmarca, San Francisco, Ucumal, Rusuybamba, Uruganda, Monteron e Inchame cuyos resultados son mostrado en la Tabla N° 5.7.

Caudales Pico (Avenidas)

Para el cálculo de caudales se ha realizado el análisis de frecuencias de eventos hidrológicos máximos, aplicables a caudales de avenida y la precipitación máxima, al no contar con registros de aforo en el lugar de estudio, se consideró el siguiente procedimiento:

- Uso de valores de precipitaciones máximas en 24 horas.
- Procesamiento de las distribuciones de frecuencia más usuales y obtención de la distribución de mejor ajuste a los registros históricos.
- Análisis estadístico de precipitaciones máximas para períodos de retorno de 10, 25, 50, 150 y 500 años.

Los flujos máximos que podría tener las quebradas para eventos de máximas avenidas fueron calculados utilizando el método racional, dada la reducida extensión de las áreas de drenaje.

El concepto básico del Método Racional, asume que el máximo porcentaje de escurrimiento de una cuenca pequeña ocurre cuando la intensidad de tal cuenca está contribuyendo al escurrimiento y que el citado porcentaje de escorrentía es igual a un porcentaje de la intensidad de lluvia promedio (Tabla N° 5.8). Lo anterior en forma de ecuación resulta:

$$Q = 0.278 * C * I * A$$

Donde:

- Q : caudal de diseño en m³/s.
 C : coeficiente de escorrentía.
 I : intensidad de la lluvia en mm/hr.
 A : área de la cuenca en km².

Tabla N° 5.6: Descargas medias mensuales de la estación Chuquicara

Latitud:	08° 38' 49" S	ESTACION CHUQUICARA-RIO CHUQUICARA										Dist. :	La Pampa
Longitud:	78° 14' 11" W	CAUDALES MEDIOS MENSUALES (m3/s)										Prov. :	Corongo
Altitud:	480 msnm	SERIE HISTORICA - PERIODO 1953/58-1966/97										Dpto. :	Ancash
Area Colectora:	3184 km2.												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1953	51.09		63.39	66.69	25.47	16.06	12.85	10.47	9.85	8.67	22.80	33.16	
1954	44.84	44.41	43.13	34.37	27.01	13.75	11.34	9.50	8.44	13.15	22.96	13.54	23.87
1955	37.69	91.54	74.40	53.72	36.81		9.16	7.09	7.06	10.99	6.79	17.60	
1956	32.50	78.63				16.94	12.48	12.24	11.35	18.09	11.68	12.57	
1957	20.92	50.22	78.97	79.46	36.59	26.98	11.74	10.27	10.87	13.22	20.78	18.02	31.50
1958	31.76	31.30	68.57	51.21	16.05	10.58							
1959													
1960													
1961													
1962													
1963													
1964													
1965													
1966		32.03	31.46	22.70	16.73	9.72	7.79	7.00	6.70	10.63	12.81	13.08	
1967	29.34	78.18	89.62	35.29	22.61	13.47	11.70	9.42	8.79	18.84	12.61	11.76	28.47
1968	15.55	25.55	43.19	20.14	9.62	8.01	7.23	6.18	5.97	11.96	13.64	11.74	14.90
1969	8.61	16.74	39.96		13.28	12.07	9.98	7.70	7.06	7.27	16.26		
1970													
1971	24.91	52.22	134.54		23.75	16.17	12.25	11.22	9.90	16.22	13.64	32.05	
1972	40.15	46.82	127.91	70.75	24.41	10.08			10.41	8.60	9.14	17.09	
1973	57.22	63.08	102.24	122.35	43.30	19.60	14.77	12.99	16.76	28.85	34.03	26.60	45.15
1974	63.58	88.16	104.63	58.03	22.92	18.59	15.32	11.55	12.39	14.68	11.82	14.60	36.36
1975	29.71	97.56	220.19	158.16	30.00	24.45	16.13	14.96	15.18	22.04	18.89	12.60	54.99
1976	53.21	60.88	78.18	63.80	20.93	16.36	12.32	10.39	9.05	8.52	8.83	10.87	29.45
1977	32.44	66.42	64.14	54.33	22.30	13.51	10.23	8.25	6.24	6.78	13.78	17.50	26.33
1978	9.45	17.53	15.52	18.79	14.99	7.22	5.24	4.57	4.95	4.57	7.53	9.56	9.99
1979	11.03	36.15	98.63	75.00	14.44	8.03	6.12	5.43	6.75	4.98	5.67	5.09	23.11
1980	8.35	8.44	9.21	15.89	5.10	4.18	3.89	3.57	3.13	8.03	16.45	51.59	11.49
1981	20.50	129.11	147.85	30.88	14.46	11.06	9.05	8.04	7.61	10.33	18.14	34.12	36.76
1982	20.33	61.88	29.63	35.08	16.54	10.13	8.41	7.40	7.65	17.82	21.78	41.26	23.16
1983	52.24	20.30	96.20	109.99	34.64	18.60	12.14	10.15	10.50	14.95	11.49	32.91	35.34
1984	19.32	166.78	107.37	63.34	40.56	18.85	13.19	9.71	10.23	18.74	14.74	31.51	42.86
1985	20.07	19.66	33.27	44.39	17.04	10.58	8.53	8.75	9.74	9.79	6.78	12.73	16.78
1986	38.70	29.56	40.19	68.00	21.27	11.64	9.51	8.45	6.67	7.18	11.53	23.09	22.98
1987	68.30	55.99	51.51	33.48	23.57	9.85	8.36	7.28	6.94	6.71	14.23	22.43	25.72
1988	44.40	65.50	40.22	53.98	27.82	14.23	11.56	8.50	8.42	10.80	11.70	19.00	26.34
1989	40.87	78.14	71.45	71.10	29.76	17.02	13.36	10.26	11.46	24.38	18.41	8.22	32.87
1990	21.80	22.56	17.84	20.43	7.43	9.96	6.54	4.46	3.43	13.77	31.59	21.88	15.14
1991	14.72	21.83	55.75	30.04	21.13	6.22	4.29	4.70	4.36	3.14	5.82	8.22	15.02
1992	12.79	7.28	16.17	16.08	7.12	5.68	3.98	1.66	5.60	12.84	10.35	3.58	8.59
1993	8.63	72.17	195.17	107.44	34.07	18.60	14.00	11.40	11.02	18.38	37.71	41.93	47.54
1994	76.70	121.22	99.16	103.85	37.20	18.72	10.99	9.44	7.65	7.32	11.02	18.62	43.49
1995	19.66	29.01	37.09	48.01	13.96	7.02	5.89	5.00	9.48	11.74	26.41	24.63	19.83
1996	50.82	92.29	101.52	85.16	23.68	12.72	8.63	7.36	6.82	10.04	12.48	7.75	34.94
1997	9.84	30.39	21.50	12.64	10.67	6.08		4.64	4.37	6.31	18.31	67.39	
N°ANOS	36.00	36.00	36.00	34.00	36.00	36.00	34.00	35.00	36.00	36.00	36.00	35.00	28.00
MEDIA	31.72	55.82	73.60	56.90	22.42	13.13	9.97	8.29	8.41	12.23	15.63	21.38	27.96
D. Est.	18.60	36.50	48.90	34.30	9.90	5.40	3.30	2.90	3.00	5.80	7.70	13.90	12.10
C. V. %	58.60	65.40	66.40	60.30	44.20	41.10	33.10	35.00	35.70	47.40	49.30	65.00	43.30
MAX.	76.70	166.78	220.19	158.16	43.30	26.98	16.13	14.96	16.76	28.85	37.71	67.39	54.99
MIN.	8.35	7.28	9.21	12.64	5.10	4.18	3.89	1.66	3.13	3.14	5.67	3.58	8.59

Tabla N° 5.7: Descargas medias mensuales de las subcuencas del ámbito de la unidad minera Santa Rosa.

Cuenca	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MEDIA	Area (km²)
Tablachaca	31.72	55.82	73.60	56.90	22.42	13.13	9.97	8.29	8.41	12.23	15.63	21.38	27.46	3,184.00
Angamarca	1.53	2.69	3.55	2.74	1.08	0.63	0.48	0.40	0.41	0.59	0.75	1.03	1.32	153.53
Uruganda	0.32	0.56	0.74	0.57	0.22	0.13	0.10	0.08	0.08	0.12	0.16	0.21	0.27	31.81
Rusuybamba	0.25	0.44	0.59	0.45	0.18	0.10	0.08	0.07	0.07	0.10	0.12	0.17	0.22	25.31
Pisochaca	1.62	2.85	3.76	2.90	1.14	0.67	0.51	0.42	0.43	0.62	0.80	1.09	1.40	162.47
Ucumal	0.84	1.47	1.94	1.50	0.59	0.35	0.26	0.22	0.22	0.32	0.41	0.56	0.72	83.96
San Francisco	0.33	0.58	0.77	0.60	0.23	0.14	0.10	0.09	0.09	0.13	0.16	0.22	0.29	33.33
Inchama	0.11	0.19	0.25	0.19	0.07	0.04	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07	0.09	10.60
Monteron	0.42	0.73	0.96	0.75	0.29	0.17	0.13	0.11	0.11	0.16	0.20	0.28	0.36	41.73

Tabla N° 5.8: Coeficiente de escorrentía del método racional

Cobertura Vegetal	Tipo de Suelo	Pendiente del Terreno				
		Pronunciada > 50%	Alta > 20 %	Media > 5 %	Suave > 1 %	Despreciable < 1 %
Vegetación	Impermeable	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
	Semipermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Permeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Cultivos	Impermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Semipermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Permeable	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
Pastos Vegetación ligera	Impermeable	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Semipermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Permeable	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
Hierva Grama	Impermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Semipermeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	Permeable	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
Bosque Densa vegetación	Impermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Semipermeable	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	Permeable	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05
Zona urbana Componentes mina	Impermeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	Semipermeable	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
	Permeable	0,20	0,15	0,10	0,05	0,02
Fuente:	VEN et al, 1993					

Para determinar el coeficiente de escurrimiento final, se ha considerado las características del relieve topográfico, tipos de suelo y precipitaciones máximas en 24 horas de las áreas drenantes de los ríos y quebradas del área de estudio. En la Tabla N° 5.9 se observa los caudales pico de las quebradas relacionadas con el área de estudio.

Tabla N° 5.9: Caudales máximos

RIO / QUEBRADA	CAUDAL (m ³ /s)
Río Angasmarca	220.93
Río Ucumal	95.59
Quebrada Sacalla	14.32
Quebrada Potrero	9.19
Quebrada Huacacorral	11.68
Quebrada Cushpinga	7.93
Quebrada Cochavara SO	5.83
Quebrada Cenegavara	4.91
Quebrada Loma Colorada	3.68
Quebrada Pachagón	3.20
Quebrada Aliso	3.01

RIO / QUEBRADA	CAUDAL (m ³ /s)
Quebrada Cruce	4.05
Quebrada Cementerio	2.80
Quebrada Jordy	3.12
Quebrada Cochavara SE	3.59
Quebrada Bellota	7.66

5.4.1.7 Escurrimiento superficial

Las variables más importantes que afectan los escurrimientos, son el coeficiente de escurrimiento y el tiempo de concentración, variables que se presentan con las letras: C y t_c . El coeficiente de escurrimiento (C) es la relación del caudal que fluye sobre el terreno, al caudal llovido (Cadena, 1998).

El coeficiente de escurrimiento, para obtener el escurrimiento superficial que se utiliza en el balance hídrico de las microcuencas evaluadas: Hijadero, Potrero, Sacalla, Huacascorral, Cochavara oeste, Cementerio, Jordy, Cochavara este, Potrero y Ucumalí, siendo estas las mas intervenidas por la actividad de la unidad minera Santa Rosa, debido a que los componentes de la mina (tajos, botaderos, pads, entre otros), son los que han incidido en el cambio de la morfología del terreno, así como la generación de nuevas redes de drenaje. La Tabla N° 5.10, muestra las características generales de las microcuencas evaluadas así como sus altitudes medias correspondiente.

Tabla N° 5.10: Características generales microcuencas área de influencia directa de la actividad de la UMSR.

Item	MICROCUENCA	AREA (Has)	Altitud_media
1	Hijadero	161.3	2730.0
2	Potrero	431.4	2807.8
3	Sacalla	660.6	3132.0
4	Huacascorral	359.4	2789.9
5	Cochavara SO	214.4	2805.0
6	Cementerio	33.5	2807.0
7	Jordy	25.4	2758.0
8	Cochavara SE	252.4	2808.0
9	Desaguadero	148.2	2799.5
10	Ucumalí	76.7	2811.0

Utilizando las herramientas del SIG, se ha obtenido el coeficiente de escurrimiento para cada microcuenca y cada tema (pendiente, suelos, vegetación) considerado en el desarrollo de la obtención del coeficiente de escurrimiento (Véase Figura D5.1 del Anexo D).

Se ha identificado 39 valores, realizando la superposición de los tres parámetros (cobertura vegetal, tipo de suelo y pendiente). Como se puede observar los valores presentes en los registro de la tabla es el valor de cada unidad de resultado (polígono). Como valor de coeficiente de escurrimiento, es importante para los cálculos de las obras que se realicen en la UMSR, En la generación de los balances hídricos. se ha utilizado una metodología, adecuada a la zona de investigación y a la actividad minera. En la Tabla 5.11, se puede observar los valores determinados en la evaluación de coeficiente de escurrimiento en el área de la UMSR. Se ha considerado hallar el coeficiente de escurrimiento para el ámbito de una actividad minera.

Tabla 5.11 Coeficiente de Escorrentía
(valores encontrados área de estudio)

Cobertura	Tipo de Suelo	Pronunciada	Alta	Media	Suave	Despreciable
Vegetal		> 50%	> 20 %	> 5 %	> 1 %	< 1 %
Vegetación	Impermeable	0,80	0.75	0,70	0.65	0,60
	Semipermeable	0,70	0.65	0,60	0.55	0,50
	Permeable	0,50	0.45	0,40	0.35	0,30
Cultivos	Impermeable	0,70	0.65	0,60	0.55	0,50
	Semipermeable	0,60	0.55	0,50	0.45	0,40
	Permeable	0,40	0.35	0,30	0.25	0,20
Pastos	Impermeable	0.65	0,60	0.55	0,50	0.45
Vegetación Ligera	Semipermeable	0.55	0,50	0.45	0,40	0.35
	Permeable	0,35	0,30	0.25	0,20	0.15
Hierva	Impermeable	0,60	0.55	0,50	0.45	0,40
Grama	Semipermeable	0,50	0.45	0,40	0.35	0,30
	Permeable	0,30	0.25	0,20	0.15	0,10
Bosque Densa vegetación	Impermeable	0.55	0,50	0.45	0,40	0.35
	Semipermeable	0.45	0,40	0.35	0,30	0.25
	Permeable	0.25	0,20	0.15	0,10	0.05
Zona urbana Componente mina	Impermeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
	Semipermeable	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20
	Permeable	0.20	0.15	0.10	0.05	0.02

Nota . De acuerdo a la interacciones de los tres parámetros en la determinación del coeficiente de escurrimiento, los valores en negrita del cuadro no se encuentran presentes en el área investigada.

5.4.2. Hidrología subterránea

5.4.2.1. Descripción de los puntos de agua inventariados

Manantiales

Local y regionalmente, el agua subterránea aflora a modo de manantiales aislados, los cuales son parte del sustento de la actividad humana y silvestre.

Los manantiales de mayor caudal se ubican en las partes bajas y los efímeros en las cumbres. Según los lugareños aumentan en número y caudal durante la época de lluvia y tienden a desaparecer hacia el final del estiaje.

Los manantiales cuyo número y caudal aumentan durante la época de lluvia, tienden a desaparecer hacia el final del estiaje. Los manantiales de mayor caudal se ubican en las partes bajas y los efímeros en las cumbres, aparentemente el agua subterránea tiende a brotar con mayor caudal en las partes bajas del área de estudio. Las Fotografías 5.1 y 5.2, muestra algunas escenas de los manantiales inventariados para el estudio.



Fotografías N° 5.1-5.2 A la izquierda manantial sector Sacalla. A la derecha manantial del sector Cochavara SO.

Durante los trabajos de campo del presente estudio, se ha logrado identificar los manantiales más importantes mostrados en la

Tabla N° 5.12 y en el Mapa N° 005 (hidrogeológico) los cuales en conjunto representan la superficie piezométrica del acuífero local. Las aguas que afloran por estos manantiales fluyen a través de estratos permeables de la formación Chimú y son conducidas por fallas regionales.

El agua subterránea de algunos manantiales es captada para los siguientes usos:

- El manantial ubicado entre el polvorín y la caseta de vigilancia, en Pampa de Larco, se utiliza para consumo humano y para refuerzo de las demandas de agua industrial en la planta hidro-metalúrgica. El agua del manantial en la quebrada Seductora se usa para consumo industrial.
- El resto de manantiales no tienen uso.

Tabla N° 5.12: Inventario de manantiales más importantes

CÓDIGO	UBICACIÓN		ALTITUD (msnm)	CAUDAL (L/S)	
	ESTE	NORTE		AGO 2007	NOV 2007
CO-M25	826083	9102870	3245	0.05	
CO-M27	825935	9103176	3185	2.00	
CO-M29	825480	9105486	3120	0.05	
CO-M30	825887	9106636	3205	0.05	
CO-M31	825646	9106820	3170	0.20	
CO-M32	825936	9107414	3215	0.05	
CO-M33	826051	9107568	3190	50.00	
CO-M34	825171	9106694	3050	1.00	
CO-M42	825087	9105222	3020	2.00	
CO-M43	825548	9109284	3255	0.10	
CO-M59	825841	9103024	3178.0		0.02
CO-M60	825611	9102924	3169.0		0.15
CO-M72	824076	9102760	3068.0		0.05
CO-M73	823883	9102742	3036.0		0.15
CO-M74	823629	9102448	3030.0		0.02
CO-M78	824182	9101740	3082.0		0.02
CO-M86	826053	9100180	2837.0		0.03
CO-M97	828786	9099766	2801.0		0.05

Bofedales

A pesar de que las condiciones naturales del área de estudio han sido perturbadas por la actividad minera, varias áreas aún se mantienen

húmedas debido a que están asociadas o alimentadas por manantiales. Estos humedales o bofedales se ubican principalmente en algunas laderas, desde donde el agua drena hacia las quebradas más próximas, dando lugar al caudal base de los ríos y arroyos del entorno (Fotografías N° 5.3 y 5.4).



Fotografías N° 5.3 y 5.4 A la izquierda bofedal sector Ingacorrall (Aliso). A la derecha bofedal del sector Huacascorrall (Loma Colorada).

La mayoría de estos bofedales no tienen uso, pero los que están ubicados a mayor distancia de la operación minera, aún se usan como áreas de pastoreo de las comunidades vecinas (Tabla N° 5.13).

Tabla N° 5.13: Resumen de bofedales

CÓDIGO	UBICACIÓN		ALTITUD (msnm)	EXTENSION (Has)	USO
	ESTE	NORTE			
CO-M24	826989	9103726	3325	0.0006	pecuario
CO-M26	826024	9102994	3215	0.0030	pecuario
CO-M28	824877	9104042	3000	0.0004	pecuario
CO-M35	825077	9106164	3040	0.0005	agrícola
CO-M36	825036	9105886	3025	0.0006	agrícola
CO-M37	825145	9105806	3045	0.0010	agrícola
CO-M38	825178	9105556	3050	0.0002	pecuario
CO-M40	825093	9105440	3030	0.0008	agrícola
CO-M41	825146	9105326	3030	0.0020	agrícola
CO-M51	827329	9102244	3300	0.0020	pecuario

5.4.2.2 Pozos de monitoreo y piezómetros

En general, la unidad minera Santa Rosa carece de una red de pozos de observación o piezómetros para el monitoreo del agua subterránea de su entorno, existiendo puntualmente algunos piezómetros de control puntual en la zona de las pozas de solución rica (pregnant) del proceso minero-metalúrgico (Fotografía N° 5.5).



Fotografías N° 5.5 Vista del piezómetro de observación ubicado En el sector denominado Cochavara.

Los únicos piezómetros que han sido construidos para el monitoreo del nivel freático, se muestran en la Tabla 5.14, siendo algunos de ellos, perforaciones realizadas por el área de exploración mina, donde eventualmente se puede medir el nivel freático estático. En el referido cuadro se muestra el comportamiento del nivel freático desde el año 2006.

Tabla N° 5.14: Resumen de pozos de monitoreo y piezómetros

CÓDIGO	UBICACIÓN		PROFUNDIDAD DEL POZO (m)	ALTITUD (msnm)	ELEVACION NIVEL DEL AGUA	
	ESTE	NORTE			Nov 2007	Feb 2008
CO-M47	829005	9104152	30.0	3520	3506.0	
CO-M48	828001	9104272	30.0	3491	3474.0	
CO-M99	828325	9105302	22.0	3400	SR	
CO-M52	828403	9105368	25.0	3387	SR	
CO-M100	827512	9101996	70.0	3257		3191

SR: sin registro de nivel freático.

5.4.2.3. Tajos abiertos

El agua subterránea también aflora en forma artificial en el fondo de algunos tajos abiertos debido al proceso de excavación o minado que al penetrar por debajo de la napa freática (superficie piezométrica), ocasiona la aparición del agua subterránea (fotografías N° 5.6 y 5.7) a modo de pequeños manantiales ubicados en las laderas del tajo, lo cual indica además que el movimiento del agua subterránea ocurre en forma radial desde el perímetro hacia el interior del mismo.



Fotografías N° 5.6 y 5.7 A la izquierda nivel freático en el tajo Sacalla. A la derecha nivel freático en el tajo Seductora.

El agua procedente del drenaje de los tajos abiertos es utilizada para el riego de carreteras y vías de acceso de cada tajo (Véase Tabla No 5.15).

Tabla N° 5.15 Resumen de tajos abiertos con agua subterránea

CODIGO	TAJO	PROFUNDIDAD DEL TAJO (m)	ELEVACIÓN DEL ESPEJO DE AGUA (msnm)
CO-M22	Sacalla	3296	3308
CO-M23	Seductora	3305	3315

5.5. Unidades hidrogeológicas

El ámbito de la unidad minera Santa Rosa se caracteriza por encontrarse fundamentalmente en una zona constituida por rocas sedimentarias detríticas del Cretáceo Inferior, de un ambiente sedimentario de arenas fluviales a deltaicas, con cierta influencia de arenas eólicas. Los sedimentos son distribuidos en capas rítmicas grano creciente y estrato creciente, lo que le da una característica de potentes estratos de relativa homogeneidad horizontal y variada heterogeneidad vertical, lo que le da una característica particular para su comportamiento hidrogeológico o flujo de las aguas subterráneas.

Estrechamente asociados a los tipos de rocas, varios tipos de acuíferos que permite el flujo de las aguas subterráneas a través de los diferentes estratos rocosos, se presentan en el área de estudio. Las condiciones hidráulicas del subsuelo indican un sistema heterogéneo y anisótropo que consiste de sedimentos de pobre a moderada

permeabilidad y rocas fuertemente fracturadas permeables que han dado lugar a varios tipos de acuífero.

En la zona se han distinguido dos unidades hidrogeológicas de importancia, localizados en los miembros intermedios de las areniscas y ortocuarcitas de la Formación Chimú, estos se emplazan en toda la montaña donde se desarrolla la explotación minera, aflorando a superficie en ambos flancos y en la parte alta de los cerros Potrero y Ucumalí.

5.5.1. Acuíferos regionales

Tomando en cuenta toda el área de influencia de la unidad minera existen diferentes tipos de unidades hidrogeológicas. Los acuíferos evaluados en el área de Angamarca-Ucumal, presentan características independientes por su composición litológica y tectónica (ver la Tabla N° 5.16 y Gráfico 5.2). Estos son:

- Varios acuitardos asociados a rocas de baja permeabilidad, conformados por algunos estratos del volcánico Calipuy, además de las formaciones Inca-Chulec, Carhuaz y el miembro inferior de la formación Chimú.
- Varios acuíferos fisurados y cársticos, asociados a estratos rocosos permeables de las formaciones Chimú e Inca-Chulec.
- Un acuífugo, asociado a los estratos arcillosos de la formación Chicama.

En todos los casos, la permeabilidad de los acuíferos, está dada por el fracturamiento de las rocas, siendo la formación Chimú la más permeable.

Tabla N° 5.16 Unidades hidrogeológicas del área de la mina

UNIDAD	FORMACION, MIEMBRO	LITOLOGIA	ESPEJOR (m)	SUPERFICIE	
				km ²	%
Acuíferos Fisurados	Fm. Chimú, Miembro B	Cuarcitas y areniscas blanco grisáceas de grano medio, lutitas carbonosas al techo.	120	5.5	9.10

UNIDAD	FORMACION, MIEMBRO	LITOLOGIA	ESPESOR (m)	SUPERFICIE	
				km ²	%
	Fm. Chimú, Miembro D	Cuarcitas y areniscas blanco grisáceas, ocasionales limolitas y lutitas.		5.5	9.13
Acuífero Cárstico	Fm. Chulec	Calizas oolíticas intercaladas con lutitas verdes fosilíferas		8.2	13.51
	Fm. Chimú, Miembro A	Delgadas intercalaciones de areniscas de grano fino a medio, limolitas y lutitas.		10.4	17.20
Acuitardos	Fm. Chimú, Miembro C	Limolitas, lutitas, con finas capas de areniscas y carbón a la base.	10	9.1	15.13
	Intrusivo Sur	Cuerpos subvolcánicos de andesita y dacita		4.3	7.08
	Volcánico Calipuy	Flujos piroclásticos, flujos de lavas y lahares.		2.3	3.79
Acuífugo	Fm. Chicama	Lutitas pizarrosas gris oscuras con intercalaciones de limonitas y areniscas.		15.1	25.06

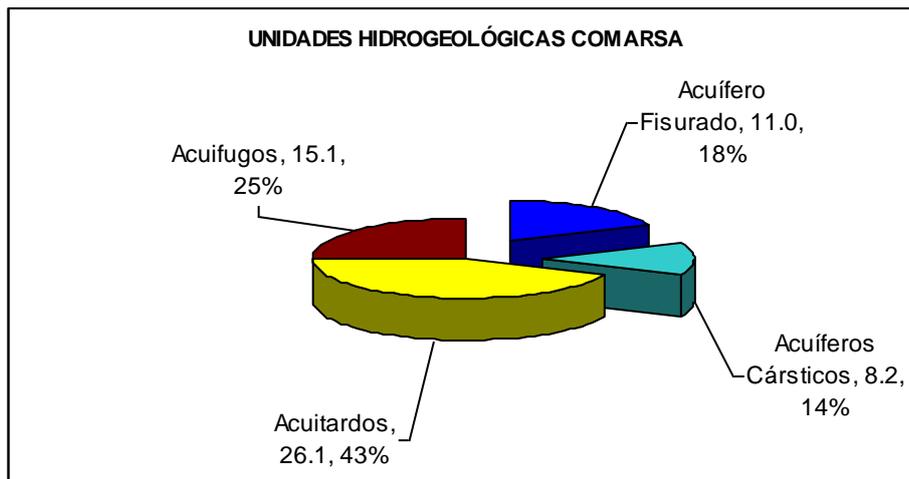


Gráfico 5.2 Unidades Hidrogeológicas – unidad minera Santa Rosa

El plegamiento y fallamiento que caracteriza a la geología regional, hace que los acuíferos mencionados normalmente se encuentren separados unos de otros. Eventualmente, algunas fallas regionales, fracturas y cuerpos intrusivos pueden limitar o facilitar el flujo del agua subterránea.

Debido a la diversidad litológica de las unidades estratigráficas, existen también varios niveles freáticos. Esto se evidencia porque a pesar del intenso drenaje que ocurre en tajos y quebradas, algunos manantiales aún se mantienen fluyentes. Lo mismo ocurre en la parte baja, donde aún existen los manantiales que abastecen a las viviendas y campos de cultivo cercanos a la unidad minera.

5.5.2. Acuíferos

5.5.2.1. Acuíferos fisurados

Los acuíferos fisurados son unidades hidrogeológicas cuya producción y almacenamiento de agua subterránea es en las fisuras, fracturas y en una escasa porosidad primaria (porosidad intergranular).

Este tipo de acuíferos se caracterizan por tener caudales de descarga bajos pero un rendimiento más permanente, es decir que su caudal se mantiene durante gran parte del año, debido a que la velocidad de flujo interno en la zona saturada es lenta. Durante la temporada de lluvias se recargan de manera paulatina, incrementando su caudal de descarga ligeramente.

En la zona existe un predominio de acuíferos fisurados (areniscas y ortocuarcitas del cretáceo inferior de la formación Chimú), constituyéndose como las unidades hidrogeológicas más importantes del área. Afloran en una extensión de 11 km², representando el 18.2 % de la superficie del área de estudio (Véase Mapa N° 005, Hidrogeológico).

Esta situación es corroborada, por la mayor concentración de descargas de aguas subterráneas (manantiales) principalmente en los sectores de Sacalla, Cochavara y Cementerio.

Debido a la estabilidad de sus componentes mineralógicos (cuarzo y feldespato), las aguas de estos acuíferos son blandas y de baja salinidad.

5.5.2.2. *Acuíferos cársticos*

En la zona, este tipo de acuíferos se encuentran al Norte de la unidad minera en calizas de la formación Chulec, presentando esporádicas zonas de descarga de agua subterránea por el proceso de carstificación.

Estos acuíferos le siguen en importancia a los fisurados. Se emplazan sobre rocas calcáreas en una extensión de 8.2 km², ocupando un 13.51 % de la superficie total del área de estudio.

Se caracterizan por tener un coeficiente de agotamiento muy fluctuante, es decir pueden producir importantes caudales pero que en estiaje pueden bajar su caudal al mínimo. Los conductos de circulación interna se asemejan a canales abiertos y las velocidades de circulación del agua también. Estas oquedades se desarrollan en función del grado de solubilidad de las rocas formando conductos de disolución, lo que favorece el almacenamiento y flujo del agua subterránea.

Debido a la disolución, estos acuíferos suelen presentar aguas bastante cargadas de iones disueltos, con una dureza permanente superior a 250 mg/L de CaCO₃, como la que se observa en la Figura N° 6, isoconductividades presentes en el área de la unidad minera Santa Rosa.

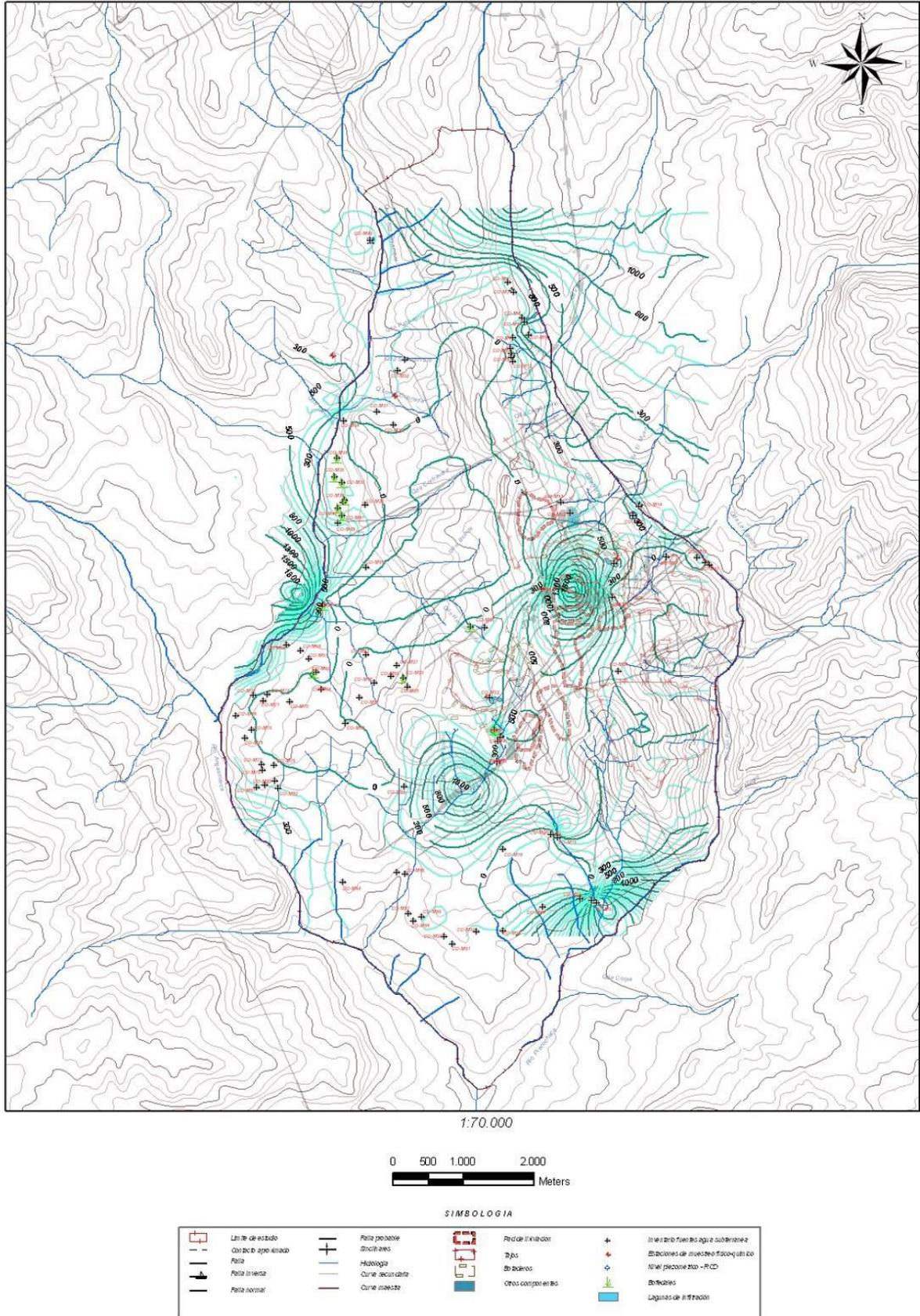


Figura N° 6: Isoconductividad - área de la unidad minera Santa Rosa

5.5.2.3. *Acuitardos*

Los acuitardos representan otras unidades hidrogeológicas muy diferenciables en la zona de estudio. Se caracterizan por ser poco productores de agua y que al ser estratos poco permeables, controlan la descarga y el flujo de las aguas subterráneas.

La acumulación y descarga de aguas subterráneas en este tipo de rocas es local, pero debido a su poca capacidad de almacenamiento, localmente pueden tener cierta importancia en aquellas zonas fracturadas.

Estos depósitos correspondientes a los Miembros A y C de la formación Chimú, están localizados en la parte baja e intermedia de la zona de estudio. Están constituidos por clastos angulosos a subangulosos con matriz limo arcillosa e hidrogeológicamente son de baja permeabilidad.

Otro grupo de rocas que corresponden a esta clasificación son los intrusivos y volcánicos que afloran al Sur y Oeste del área, donde al parecer reciben aportes del acuífero en la zona de Sacalla, a través del cerro Llamo llamo.

Alrededor de esta unidad se presentan pequeños manantiales de bajo caudal que abastecen de agua a las poblaciones rurales del sector

5.5.2.4. *Acuifugos*

Son rocas impermeables que no transmiten ni almacenan agua subterránea. En la zona de Angasmarca y en la unidad minera se manifiestan como un basamento rocoso impermeable regional identificado como formación Chicama, esta es la unidad sello regional, compuesta fundamentalmente por lutitas muy foliadas con delgadas intercalaciones de areniscas. Estas rocas en algunos tramos fracturados presentan descargas de pequeños manantiales y bofedales permanentes de bajo caudal con mayor contenido de iones disueltos.

5.5.3. Geometría y límites del acuífero

La geometría regional del acuífero está definida principalmente por los estratos de areniscas de 150 a 200 m. de espesor, controlados estructuralmente por un sinclinal de dirección NO-SE.

Lateralmente, el acuífero se halla aflorando en superficie con descargas localizadas de pequeños manantiales ubicados a media ladera y al pie de los taludes.

La base del acuífero se halla limitado por una serie de lutitas foliadas, que se comportan como un basamento impermeable.

5.5.4. Parámetros hidrogeológicos del acuífero

5.5.4.1. Información hidráulica subterránea disponible

Aún no existe información suficiente que permita determinar los parámetros hidráulicos del subsuelo. Sin embargo, se conoce que las propiedades hidrogeológicas del acuífero están íntimamente ligadas a las propiedades físicas de las rocas y suelos que almacenan el agua, en particular a la porosidad eficaz que determina el volumen de agua contenido en el medio poroso que conforma el acuífero.

Los parámetros como la permeabilidad y la transmisividad determinan el caudal útil (productividad) de agua subterránea que puede obtenerse de la roca acuífera.

Existe abundante información geológica obtenida por las perforaciones de exploración minera, los mismos que han sido considerados luego de su análisis; cuyo resultado se puede observar las isolíneas (Hidroisohipsas) o morfología del nivel freático, en la Figura N° 7.

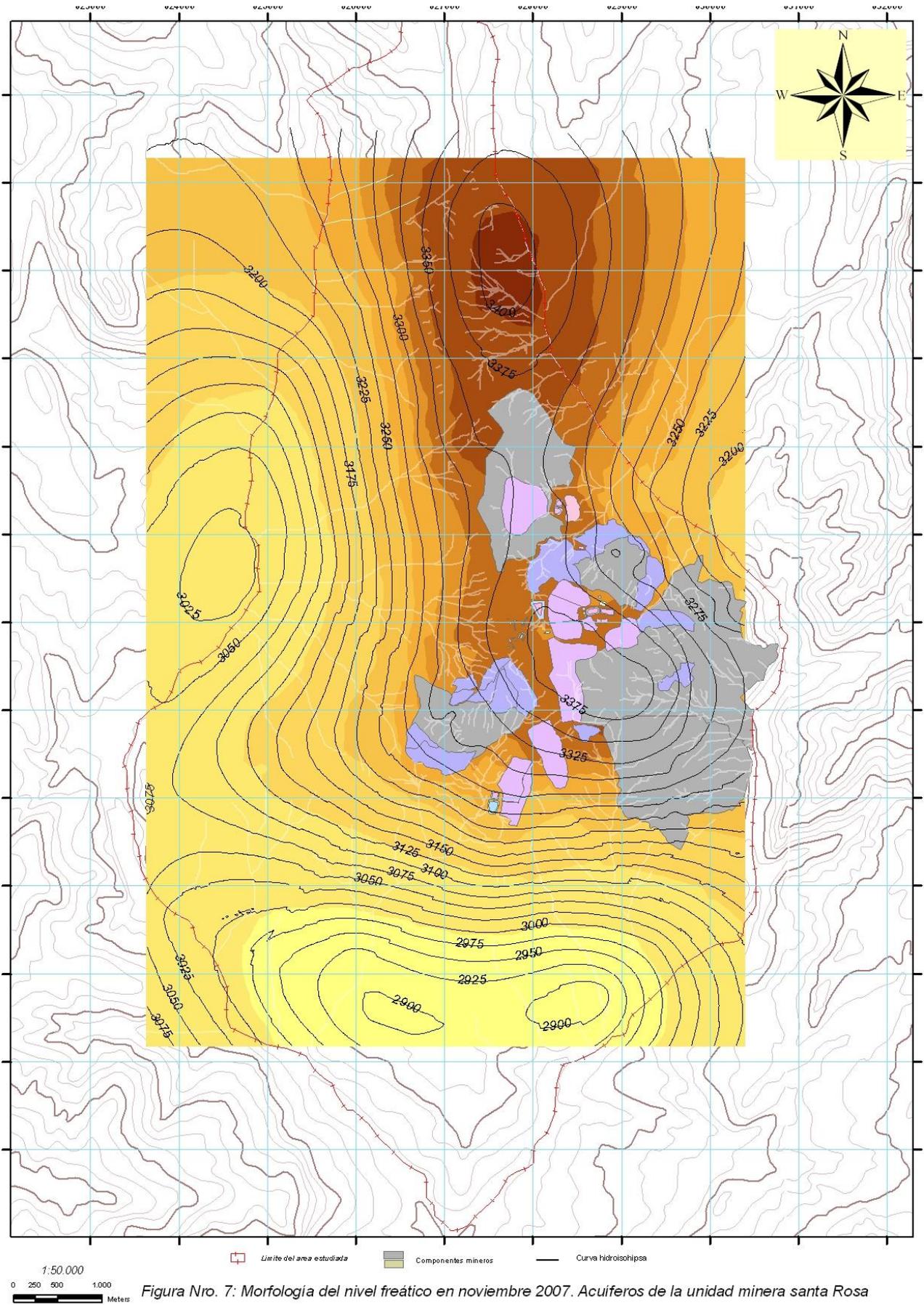


Figura Nro. 7: Morfología del nivel freático en noviembre 2007. Acuíferos de la unidad minera santa Rosa

5.5.4.2 Isolneas de niveles freáticos (hidroisohipsas)

Las hidroisohipsas se obtiene del proceso de sistematizar los datos recopilada de los niveles de agua subterránea (manantiales, bofedales, niveles de afloramiento de agua subterránea, perforaciones RCD, DDH) donde se identifico niveles de agua, información que fue agrupado por periodos de acuerdo a la época húmeda o seca presentes en la zona de estudio, comprendiendo la época seca de Mayo a Septiembre y la húmeda de Octubre hasta Abril.

Para las isolneas de niveles freáticos (hidroisohipsas) se procedió a interpolar los valores de niveles freáticos de cada estación georeferenciada. Inicialmente se obtuvieron 270 datos como resultado de la recopilación e inventario de fuentes de agua subterránea, luego del análisis y consistencia de la información se seleccionaron 260 datos los mismos que han sido utilizados para obtener las isolneas (hidroisohipsas) del nivel freáticos de las aguas subterráneas, por diferentes métodos, utilizando la extensión Geostatistic Analyst (análisis geoestadístico) del ArcGis versión 9.2. Seguidamente se muestra los gráficos obtenidos por algunos métodos (Véase Figura 8a y 8b).



Figura 8a: Método de interpolación IDW

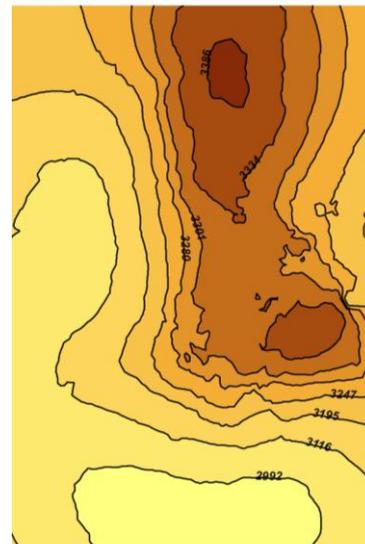


Figura 8.b: Método de interpolación Kriging

De los métodos aplicados a los datos seleccionados, se determino el método Kriging como el más adecuado para representar las hidroisohipsas. En la Figura 8 y 8ª. Se ha aplicado el método de interpolación de inversa distancia al cuadrado (IDW) a los datos del modelo, las isolíneas obtenidas no refleja los valores que se encontraron de nivel freático en el sector Sacalla, la isolinea indica que a altitud de 3,400 hay presencia de agua subterránea, lo cual es incorrecto, debido al trabajo de campo que se pudo contrastar con los obtenidos de las perforaciones realizadas en ese sector (RCD - POT-2007 – 004).

En la Figura 7, se puede observar la equipotencial (cota de agua subterránea) 3,347 en el sector Sacalla, siendo este valor muy cercano al obtenido con el modelo matemático, aplicando el Modflow que se tratara en el apartado respectivo.

En la Tabla 5.17, se muestra los resultados de los valores obtenidos a partir de la aplicación de los diferentes métodos de interpolación de datos espaciales, con el resultado adecuado del método de interpolación Kriging simple.

Tabla N° 5.17: Métodos de interpolación para obtener las hidroisohipsas del área de estudio

Metodos de interpolacion - datos nivelesde aguas subterranas										
Datos	Inversa Distancia al Cuadrado (IDW)	Global Polynomial Interpolation (GPI)	Local Polynomial Interpolation (LPI)	Radial Basis Functions (RBF)	Kriging					
					Ordinary	Simple	Universal	Indicator	Probability	Disjunctive
Modelo (272 record)										
260 objetos										
Method Parameter(s)										
Mean	-1.616	0.4391	-3.942	0.7518	-2.545	1.134	-2.545	-0.009495	-0.008619	1.414
Root Mean Square	46.8	104.2	47.22	47.05	45.21	52.08	45.21	0.367	0.3776	58.81
Average Standars Error					29.09	116.3	29.09	0.4541	0.4964	122.2
Mean Standardized					-0.06802	0.008327	-0.06802	-0.02232	-0.0182	0.009642
Root Mean Square Standarized					3.995	0.4369	3.995	0.8137	0.7632	0.472
Regression function	-0.086 * X + 279.388	0.503*X+1610.073	0.968*X+106.679	0.869*X+427.543	0.954*X+148.562	0.788*X+693.086	0.954*X+148.562			0.706*X+961.264
Mod 1 (112 record)										
110 objetos										
Method Parameter(s)										
Mean	3.461	1.139	-14.74	5.093	-2.157	-1.349	-2.157	0.005436	0.004574	-1.785
Root Mean Square	54.9	107	66.89	57.35	54.84	57.38	54.84	0.2364	0.2384	59.72
Average Standars Error					50.5	98.13	50.5	0.2254	0.2582	107
Mean Standardized					-0.0003272	-0.007424	-0.0003272	0.01119	0.006136	-0.01255
Root Mean Square Standarized					2.201	0.5306	2.201	1.09	0.9348	0.5136
Regression function	0.923 * X + 245.917	0.684*X+1004.912	0.920*X+242.485	0.879*X+392.169	0.962*X+123.813	0.905*X+305.128	0.962*X+123.813			0.862*X+438.155
Mod 0 (160record)										
154 objetos										
Method Parameter(s)										
Mean	0.004812	0.4271	-4.553	2.218	-0.3839	4.775	-0.3839	-0.009487	-0.01231	5.351
Root Mean Square	48.16	92.84	39.4	49.91	38.18	66.45	38.18	0.4635	0.478	77.87
Average Standars Error					22.46	94.81	22.46	0.5053	0.5254	91.32
Mean Standardized					-0.06821	0.04519	-0.06821	-0.02049	-0.02381	0.05483
Root Mean Square Standarized					4.992	0.6823	4.992	0.919	0.9106	0.8402
Regression function	0.851 * X + 485.414	0.268*X+2390.696	0.942*X+246.630	0.791*X+686.128	0.944*X+184.104	0.430*X+1873.305	0.944*X+184.104			0.284*X+2348.925

5.5.4.3. *Parámetros hidráulicos preliminares del acuífero*

A fin de determinar algunos parámetros del acuífero fisurado que aflora en la zona de los tajos Sacalla y Seductora, se han realizado algunas pruebas hidráulicas dentro de las perforaciones exploratorias. Tales pruebas han permitido conocer preliminarmente la porosidad y la permeabilidad parcial del acuífero.

Porosidad

La capacidad de almacenamiento de este tipo de rocas fisuradas se caracteriza por su doble porosidad: La porosidad primaria intergranular que es leve y la porosidad secundaria o adquirida por fracturamiento que es la más importante porque puede multiplicar por 10 ó 20 veces más a la porosidad intergranular, pudiendo alcanzar valores de porosidad de hasta 30 %.

Mediante las pruebas de densidad de fracturas y diaclasas y del espaciamiento de las grietas, se ha podido estimar la porosidad eficaz de los acuíferos fisurados emplazados en los estratos de areniscas y ortocuarcitas de la formación Chimú.

Los resultados de estas pruebas consistentes en el conteo sistemático en varias estaciones de ensayos sobre los afloramientos rocosos más importantes, indicaron una separación de fracturas de algunos milímetros en zonas poco profundas hasta menos de un milímetro en profundidad, con valores de 10 a 15% de porosidad efectiva.

Permeabilidad

La fracturación de las rocas sedimentarias clásticas ha incrementado su porosidad y en especial su permeabilidad. Sin embargo, el flujo y la circulación interna del agua subterránea hasta las fuentes de descarga ubicadas varios kilómetros abajo de la montaña, ha sido favorecido por la elevada carga hidráulica,

De acuerdo a sus características, es probable que la tasa de infiltración del agua de lluvias en la superficie de los acuíferos fisurados, se encuentre bordeando el 12% del valor de la precipitación.

En forma preliminar, para los acuíferos fisurados, la permeabilidad se ha inferido a partir de los datos de la densidad de fisuras y fracturas.

Adicionalmente, de acuerdo a su litología, porosidad, grado de fracturación y a las escasas pruebas de permeabilidad desarrollada en algunos estratos del área de estudio, se ha podido determinar las siguientes condiciones de permeabilidad:

- Por su conformación mineralógica el miembro A se comporta como poco permeable debido a la presencia de lutitas y arcillitas. A partir de los ensayos de permeabilidad desarrollados en el campo, para este miembro se obtuvo un coeficiente de permeabilidad promedio de 1×10^{-6} cm/s (0.9 m/d).
- El miembro B, conformado por una secuencia continua de cuarcitas en estratos de 10 a 50 cm de espesor y bancos de hasta 6 m de potencia, con escasa presencia de lutitas carbonosas, se caracteriza por tener mayor permeabilidad. De acuerdo a los ensayos de campo el valor asignado al coeficiente de permeabilidad promedio de este miembro es de 8.8×10^{-3} cm/s (7.6 m/d).
- El miembro C, compuesto por una alternancia de cuarcitas con areniscas finas en estratos de 10 a 30 cm y presencia de lutitas, presenta poca fracturación, por lo que el coeficiente de permeabilidad promedio es de 1.0×10^{-6} cm/s (0.9 m/d).
- El miembro D, compuesto por una secuencia de cuarcitas y areniscas con gran fracturamiento y alteración de las rocas por intemperismo. En este miembro el coeficiente de permeabilidad, según ensayos de campo, es de 4.8×10^{-2} cm/s (10 a 40 m/d).

- Finalmente, las pruebas de permeabilidad desarrolladas en las zonas de Angamarca y Potrero para las lutitas, dan valores muy bajos de 2.0×10^{-6} cm/s (0.001 m/d), en la Tabla N° 5.18 se puede apreciar la permeabilidad de las unidades hidrogeológicas encontradas en el área de estudio.

Tabla N° 5.18 Permeabilidades estimadas

UNIDAD	FORMACIÓN, MIEMBRO	PERMEABILIDAD	
		Estimada (cm/s)	Nominal
Acuíferos	Fm. Chimú, Miembro B	8.8 E-03	Permeable
Fisurados	Fm. Chimú, Miembro D	4.8 E-02	Permeable
Acuífero Cárstico	Fm. Inca Chulec	1.0 E-02	Muy permeable
Acuitardos	Fm. Chimú, Miembro A	1.0 E-06	Poco permeable
	Fm. Chimú, Miembro C	1.0 E-06	Poco permeable
	Intrusivo Sur	1.0 E-06	Poco permeable
	Volcánico Calipuy	2.0 E-06	Poco permeable
Acuífugo	Fm. Chicama	1.0 E-06	Impermeable

5.6. Hidrología subterránea

Localmente, el principal eje de drenaje de la zona tanto por escorrentía como por flujo subterráneo, lo constituyen las quebradas Ucumal, San Francisco, Piscochaca y Angamarca, cuyos cursos tienen direcciones preferente NO-SE y SO.

5.6.1. Piezometría y flujo regional

El régimen de descarga fluctúa en función del acuífero y condiciones hidráulicas, magnitud de sus reservas y condiciones de recarga. La dirección de flujo preferente viene dado por el gradiente hidráulico, para el caso del acuífero fisurado Formación Chimú en la zona de la unidad minera tiene dos direcciones importantes. La primera recorre con dirección Este-Oeste con valores de gradiente hidráulico entre 0.01 a 0.15 coincidentes con las fracturas que interceptan las capas, en ambos flancos del valle, muchas de ellas afloran a media ladera, fundamentalmente por su estructura litológica que choca con la barrera de capas impermeables.

5.6.2. Morfología de la napa y flujo en el área de la mina

El mapa de contornos piezométricos se ha confeccionado en base al inventario de manantiales, ojos de agua y bofedales, cuyas descargas a superficie permite identificar el nivel piezométrico de las aguas subterráneas de afloramiento natural, además de algunas perforaciones que se han construido en la zona de los tajos Sacalla y Seductora para efectos de exploración minera, hubiera sido deseable contar con mayor número de piezómetros e información de subsuelo que permita evaluar la morfología interna del nivel freático y evaluar sus parámetros hidráulicos, en base a este mapa preliminar se puede mencionar:

La morfología de la napa indica una zona de cresta muy similar a la topografía del terreno, Este aspecto es indicativo de que la divisoria de las aguas subterráneas, en este caso coincidan con el límite hidrológico, con vertiente principal hacia las cuencas de los ríos Ucumal y Angasmarca. Los ejes de flujo preferenciales de las quebradas de Sacalla, Hucascorral, Ucumal, Cochavara, Cushpinga, muestran una serie de descargas a superficie por cambio litológico y estructural. Los ejes mayores de flujo se producen hacia la confluencia de Suro, Cochavara, Pachagón, Los Alisos, con orientación de SO-NE, SE-NE.

Debido al proceso de recarga y descarga causado por el ciclo hidrológico regional, el agua subterránea se mantiene en constante movimiento

5.6.3. Funcionamiento hidrogeológico del acuífero

5.6.3.1. Evaluación de la recarga

La recarga ocurre por acción de las lluvias, las cuales se infiltran a través de rocas fracturadas que afloran en los picos de los cerros.

En general, el sistema de recarga está conformado por las cumbres de algunos cerros como Challuega, Cochavara, Ucumalí, Churgues, Rumichaca, Llamo llamo y Alto Chira, en donde al estar expuestas las rocas fracturadas, permiten la percolación de las aguas de lluvia hacia el subsuelo.

Adicionalmente, debido a la actividad minera, algunas instalaciones como los tajos abiertos Sacalla, Seductora, Tentadora y Cochavara (cuencas endorreicas), botaderos y carreteras, facilitan la recarga del agua de lluvia hacia el subsuelo.

Por su parte las instalaciones de procesamiento metalúrgico (pilas de lixiviación, pozas de solución y pozas de menores y grandes eventos), debido a que están provistas de pisos impermeables, representan áreas de impermeables o “sombra”, por donde no ocurre infiltración.

Los acuíferos de la zona presentan recarga procedente de aguas meteóricas, las que se producen mediante la infiltración a través de las zonas de recarga hasta llegar al acuífero. La precipitación estacional que es de 952 mm/año. De este volumen de precipitaciones que se produce en las superficies permeables del acuífero (cumbres del proyecto Cochavara y campamento), depresiones superficiales, fracturas, fisuras y porosidad primaria de la formación Chimú, se estima que solo el 5% de volumen anual se infiltra para restituir las reservas del acuífero.

La temperatura de las aguas subterráneas se encuentra cercana a la temperatura ambiente por lo que son indicativos de que son aguas de recorrido local y que al ser un acuífero fisurado se clasifica como freático, donde el agua subterránea esta a presión atmosférica.

Otro de las principales fuentes de recarga para los acuíferos son aguas de percolación del Canal Inchame que capta aguas del río Ucumal, esta abastece de agua a la mina y las áreas de cultivo de Sacalla, el canal atraviesa por toda la cumbre Pampa de Larco de norte a sur, con caudal de 22.4 L/s (Tovar, 1999).

Debido a la escasa área de exposición de los acuíferos en superficie y la morfología agreste del área su recarga es escasa, ya que

no permite la retención prolongada de las lluvias en superficie favoreciendo la escorrentía superficial. Otro modo de recarga se produce por medio de la transferencia de las capas catalogados como acuitardo, que mantienen una cierta permeabilidad vertical, lo que permite la producción de pocos manantiales, humedales de régimen variable con comportamiento estacional y caudales reducidos, que finalmente drenan hacia las quebradas adyacentes con preferencia hacia el lecho de arroyos de las quebradas Cruce, Cementerio, Jordy, Cochavara SO, Cochavara SE, Maleta, Desaguadero, Potrero, Bellota, entre otros.

En Pampa de Larco la distribución del agua hacia el campamento y la planta concentradora se realiza mediante redes de tuberías, que minimizan la infiltración en superficie.

5.6.3.2. *Sistemas de descarga*

Los sistemas de descarga natural son los manantiales que con diferente caudal se presentan en forma individual o se ubican en el lecho de arroyos, alimentándolos permanentemente. Los manantiales se encuentran en las partes intermedias y bajas, manifestándose con mayor claridad en el lecho de arroyos y a través de las márgenes de las quebradas.

Adicionalmente, el drenaje de agua subterránea desde el fondo de los tajos abiertos, representa el sistema de descarga artificial del área de estudio.

El comportamiento del régimen de descarga varía en función del tipo de acuífero, caracterizado por sus condiciones hidráulicas, magnitud y área de recarga. Para el caso de la unidad minera Santa Rosa, el mayor productor de aguas subterráneas son los acuíferos fisurados (areniscas) que se caracterizan por su bajo caudal (entre 5 a 20 L/s), lo que indica un bajo coeficiente de almacenamiento. La descarga es difusa formando pequeños bofedales y el flujo interno se

produce por su doble porosidad; la de recturación adquirida e intergranular, con una velocidad de recarga y descarga lenta. Estas descargas alimentan permanentemente el caudal de flujo de los arroyos del sector, especialmente en la temporada de sequía donde la demanda de agua es máxima en las comunidades aledañas.

La circulación interna se desarrolla por intermedio de fracturas, controlado por fallas a manera de sistema de bloques estructurales, produciéndose descargas en zonas de cambio litológico ó en zonas localizadas por control estructural de fallas que presenta la roca acuífera, estas unidades son las que aportan y abastecen de agua subterránea a la zona durante todo el año.

Los trabajos realizados por J. Tovar (Julio 1999) en temporada de estiaje indican descargas superficiales en la quebradas Conchucos, Cochavara SO, Vaca Blanca, Chuluega, Chucro, Huacascorral y Sacalla que drenan hacia el Río Angasmarca, caudales por el orden de 1.2 a 56 L/s. Sin embargo en la cuenca del río Ucumal, la quebrada Cochavara SE, drenan un caudal aproximado de 40 L/s, las quebradas Hueso, Maleta y Seductora drenan 140 L/s, las quebradas Cocharcas y Potrero drenan escasa cantidad de agua hacia el río Ucumal, estando el ultimo casi permanentemente seco.

El antes referido estudio, había logrado aforar hasta 2.5 L/s en todos los manantiales de Pampa de Larco, además de los manantiales ubicados en la parte alta de la quebrada Maleta que producían 9.0 L/s, y los manantiales de la quebrada Seductora que producían 33 L/s, los manantiales ubicados en la parte alta entre el límite de la quebrada Cochavara y el Cerro Sacalla producían alrededor de 14 L/s. Los manantiales de las partes altas de la quebrada Cochavara SE producían un caudal de 7.7 L/s, y los manantiales ubicados en la quebrada Cochavara SO producían 2.0 L/s, en la quebrada Cocharcas debajo del cerro Santo Cachón se ubicó un manantial con un caudal aproximado de 1.6 L/s.

Los manantiales más importantes del área aledaña a Pampa de Larco son los ubicados en la quebrada Maleta y Seductora que en conjunto totalizaron un caudal de 53.5 L/s, de la misma forma hacia la quebrada Sacalla y Vaca Blanca se identificaron manantiales ubicados en el contacto con la roca intrusiva, y que totalizaron un caudal de 11.6 L/s. Las aguas que afloran por estos manantiales aparentemente fluyen controlado por las fallas regionales.

Existen cuatro manantiales que afloran debajo de Pampa de Larco y que durante la época de lluvias presentan mayor caudal. Estos afloran en el eje de un sinclinal de la formación Chimú, y eventualmente son usados para abastecer de agua a las pilas de lixiviación (Bermúdez, 2006).

El agua subterránea del manantial ubicado entre el polvorín y la caseta de vigilancia en Pampa de Larco, se utiliza para consumo humano y para el abastecimiento del agua de planta; el agua del manantial de la quebrada Seductora se usa para consumo industrial. El resto de manantiales no tiene uso, ni tampoco el agua procedente del drenaje de la mina.

5.6.4. Balance hídrico

Este concepto de balance hídrico está siempre relacionado con el ciclo hidrológico, en donde se tiene en cuenta la distribución y el movimiento del agua, bajo y sobre la superficie del suelo.

La cantidad de agua disponible depende del balance de humedad natural entre un período definido y está ligado con los diferentes factores principalmente precipitación, evapotranspiración potencial y capacidad de almacenamiento de agua en el suelo.

Este proceso se realiza con la finalidad de establecer los déficits o excesos de agua natural. La precipitación se considera el elemento que proporciona la humedad del suelo que la vegetación necesita para su

desarrollo vegetativo representado por la evapotranspiración potencial que mide la fuerza evaporante de la atmósfera; por lo que el agua que cae al suelo es consumido por las plantas, si hay exceso, varía la reserva de agua hasta el límite de su capacidad de almacenamiento (Capacidad de Campo), por lo que si es mayor que cero (0), constituye un excedente de agua (Véase Anexo C).

En resumen, los objetivos del balance hídrico, son los siguientes:

- Determinar el régimen volumétrico de agua que interviene en cada uno de los componentes del balance hídrico.
- Determinar los déficits o excesos de agua en el área de la cuenca del río Angamarca, la cual está influenciada de manera indirecta por las operaciones de la UMSR.
- Determinar los déficits o excesos de agua en el área de la cuenca del río Ucumal la cual está influenciada de manera directa por las operaciones de la UMSR.

5.6.4.1. Metodología

Este concepto de balance hídrico está siempre relacionado con el ciclo hidrológico, en donde se tiene en cuenta la distribución y el movimiento del agua, bajo y sobre la superficie del suelo.

Este balance constituye un proceso global que gobierna el ciclo hidrológico y que en su concepción más simple está representado por la siguiente ecuación (Maidment, 2007):

$$(P_m) = (ETR) + (S) + (I) \pm (\Delta R)$$

Donde:

P_m = Precipitación mensual total de un año normal o medio (mm).

I = Infiltración mensual media (mm).

ETR = Evapotranspiración Real mensual de un año normal (mm).

S	=	Escorrentía media mensual (mm).
ΔR	=	Almacenamiento (mm).

5.6.4.2. Precipitación media

Para la precipitación mensual total para un año normal en el área del proyecto se consideraron las precipitaciones correspondientes al año medio correspondiente a las precipitaciones asignadas a la unidad minera Santa Rosa.

5.6.4.3. Evapotranspiración potencial real (ETR)

Antes de describir el procedimiento de estimación de la Evapotranspiración para un lugar, condiciones climáticas e instante dado, se define los siguientes términos:

- **Evapotranspiración potencial** es la producida en condiciones de saturación de agua (déficit hídrico del suelo nulo), de forma que la vegetación existente se encuentren en su máximo desarrollo, sin encontrar restricciones a la hora de consumir aguas.
- **Evapotranspiración real** es la producida bajo las condiciones climáticas existentes, en base a la disponibilidad de agua del suelo.

Los valores de evapotranspiración fueron obtenidos mediante la formulación de Thornthwaite y Mather. Se deduce en base a la temperatura, latitud y longitud del punto de control.

Esta fórmula consiste en calcular para cada mes la evapotranspiración potencial y a partir de su suma calcular el valor anual. Tiene la ventaja de utilizar en sus cálculos los factores de temperatura media mensual y latitud, que implícitamente introduce la duración teórica de la insolación. Calculada la ETP, se obtiene la ETR.

La formula calculada a partir de los factores mencionados anteriormente se expresa como:

$$E_p = c \cdot t^a \quad (1)$$

E_p : evapotranspiración potencial mensual, para un medio ficticio de 30 días y una insolación teórica durante 12 horas/día, t : temperatura media del mes (en °C), y “ c ” y “ a ”, se parte de un índice térmico mensual cuyo valor es: (Baquero; Fernández, 2007).

Para determinar “ a ” y “ c ”, se parte de un índice térmico mensual cuyo valor es:

$$i = (t/5)^{1.514}$$

Al que corresponde un índice térmico anual “ I ”:

$$I = \sum i \quad I \text{ varía entre 0 y 160.}$$

Las relaciones de “ a ” y “ c ” con este índice, deducidas empíricamente, son:

$$a = 675 \cdot 10^{-9} \cdot I^3 - 771 \cdot 10^{-7} \cdot I^2 + 1,79 \cdot 10^{-2} \cdot I + 4,92 \cdot 10^{-1}$$

“ a ” varía entre 0 y 425.

$$c = 1,6(10/I)^a$$

Al sustituir en la fórmula (1):

$$E_p = 1,6 (10t/I)^a$$

Si la precipitación mensual, P_m , es superior a ETP_m (Evapotranspiración Potencial Mensual), entonces:

- $ETR_m = ETP_m$

- $\Delta H = P_m - ETP_m$

El excedente ΔH se almacena como humedad del suelo aumentándola hasta la saturación del suelo. El excedente ΔH está disponible para el escurrimiento y alimentación subterránea.

Si $P_m < ETP_m$ entonces ETR_m es la suma de P_m y otra parte de la reserva de agua del suelo, suponiendo:

- $ETR_m = ETP_m$ si la reserva del suelo es grande y las reservas del suelo se deducen $H = ETP_m - P_m$.
- $ETR_m = P_m + \Delta H$ si la reserva del suelo es insuficiente.

Los valores correspondientes a cada situación se observan en las Tablas No 5.19 al 5.30.

5.6.4.4. Escorrentía

El termino “escorrentía”, en sentido amplio, se utiliza como sinónimo de aportación de agua a las cuencas hidrográficas superficiales , y es la suma de las aportaciones superficiales y subterráneas recogidas de ellas. En el área de estudio corresponde a los caudales medios mensuales que escurren en los ríos Angasmarcha, Ucumal, San Francisco y Piscochaca. Estos caudales es el resultado del balance realizado a las microcuencas. Sacalla, Hijadero, Huacascorral, Cochavara SO, Jordy, Cementerio, Cochavara SE, Desaguadero, Potrero y Ucumalí (Ver las tablas 5.19 al 5.30).

5.6.4.5. Infiltración

El agua de las precipitaciones, una vez que ha sufrido pérdidas por evapotranspiración y por interceptación de la cobertura vegetal, llega al subsuelo, para restituir la reserva de humedad (agua de retención), y para alimentar a la escorrentía hipodérmica y la infiltración subterránea. El resto pasa a ser escorrentía superficial.

La parte de la infiltración que alimenta a los acuíferos se denomina infiltración eficaz, y se expresa en milímetros de altura de agua. La infiltración presente en el área de estudio estuvo relacionada

con la disponibilidad mensual de las precipitaciones mediante el balance que estaba en función a la capacidad de almacenamiento de agua y a su descarga progresiva de acuerdo a la reserva en el área investigada.

Tabla N° 5.19: Balance hídrico de la microcuenca Sacalla

	Micro-cuenca:	<i>Sacalla</i> Area: 6.606 Km ²												
	Reserva máx (mm/mes)	Reserva												Total
		SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	Total
Evapotranspiración	Temp. media mensual (°C)	10.6	10.7	10.4	10.5	10.4	10.2	10.2	10.3	10.3	10.1	9.9	10.3	
	Indice Térmico Mensual (i)	3.1	3.2	3.1	3.1	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	2.9	2.8	3.0	36.0
	Coefficiente de Corrección (a)	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	
	ETP sin corr (mm/mes)	50.9	51.3	49.9	50.3	49.8	48.8	48.8	48.9	49.0	48.0	47.0	49.1	
	nºdías mes (días)	30.0	31.0	30.0	31.0	31.0	28.3	31.0	30.0	31.0	30.0	31.0	31.0	
	nº horas luz (hr)	12.1	11.9	11.7	11.6	11.7	11.9	12.0	12.3	12.5	12.6	12.5	12.4	
	ETP corregida (mm/mes)	51.3	52.6	48.6	50.3	50.2	45.4	50.5	50.0	52.8	50.4	50.6	52.2	604.8
Balance mensual	Precip media mensual P (mm/mes)	29.1	62.6	58.1	89.3	127.4	150.4	177.1	100.0	31.5	15.9	6.4	8.0	855.8
	ETR (mm/mes)	51.3	52.6	48.6	50.3	50.2	45.4	50.5	50.0	52.8	44.6	6.4	8.0	510.6
	Déficit de ET (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.8	44.1	44.2	
	Reserva (subsuperficial)	27.8	37.9	47.3	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	28.7	0.0	0.0	0.0	441.7
	Escorrentía, E (mm/mes)	30.0	30.0	30.0	66.3	107.3	134.9	156.6	80.0	30.0	30.0	30.0	30.0	
	Escorrentía, E (m3/s)	76.5	74.0	76.5	163.6	264.5	365.2	386.3	203.9	74.0	76.5	74.0	74.0	
	Recarga=P-ED (mm/mes)	-0.9	32.6	28.1	23.0	20.2	15.4	20.5	20.0	1.5	0	0	0	100.6

Tabla N° 5.20: Balance hídrico de la microcuenca Hijadero

	Micro-cuenca:	<i>Hijadero</i> Area: 1.613 Km ²												
	Reserva máx (mm/mes)	Reserva												Total
		SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	Total
Evapotranspiración	Temp. media mensual (°C)	10.6	10.7	10.4	10.5	10.4	10.2	10.2	10.2	10.2	10.0	9.8	10.3	
	Indice Térmico Mensual (i)	3.1	3.2	3.0	3.1	3.0	2.9	2.9	3.0	3.0	2.9	2.8	3.0	35.8
	Coefficiente de Corrección (a)	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	
	ETP sin corr (mm/mes)	50.8	51.2	49.8	50.3	49.8	48.8	48.8	48.9	49.0	48.0	46.9	49.1	
	nºdías mes (días)	30.0	31.0	30.0	31.0	31.0	28.3	31.0	30.0	31.0	30.0	31.0	31.0	
	nº horas luz (hr)	12.1	11.9	11.7	11.6	11.7	11.9	12.0	12.3	12.5	12.6	12.5	12.4	
	ETP corregida (mm/mes)	51.2	52.5	48.6	50.2	50.1	45.4	50.4	49.9	52.7	50.4	50.5	52.2	604.1

	Micro-cuenca:	Hijadero Area: 1.613 Km ²												
	Reserva máx (mm/mes)	Reserva												Total
		SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	Total
Balance mensual	Precip media mensual P (mm/mes)	29.3	62.9	58.4	89.8	128.1	151.1	178.0	100.5	31.6	16.0	6.5	8.0	860.2
	ETR (mm/mes)	51.2	52.5	48.6	50.2	50.1	45.4	50.4	49.9	52.7	44.9	6.5	8.0	510.5
	Déficit de ET (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.4	44.0	44.1	
	Reserva (subsuperficial)	28.0	38.5	48.3	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	28.9	0.0	0.0	0.0	443.7
	Escorrentía, E (mm/mes)	30.0	30.0	30.0	67.8	108.0	135.8	157.6	80.6	30.0	30.0	30.0	30.0	
	Escorrentía, E (m3/s)	18.7	18.1	18.7	40.8	65.0	89.7	94.9	50.1	18.1	18.7	18.1	18.1	
	Recarga=P-ED (mm/mes)	-0.7	32.9	28.4	22.0	20.1	15.4	20.4	19.9	1.6	0	0	0	100.5

Tabla N° 5.21: Balance hídrico de la microcuenca Huacascorral

	Micro-cuenca:	Huacascorral Area: 3.594 Km ²												
	Reserva máx (mm/mes)	Reserva												Total
		SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	Total
Evapotranspiración	Temp. Media mensual (°C)	10.2	10.3	10.0	10.1	10.0	9.8	9.8	9.8	9.9	9.7	9.5	9.9	
	Indice Térmico Mensual (i)	2.9	3.0	2.9	2.9	2.9	2.8	2.8	2.8	2.8	2.7	2.6	2.8	33.9
	Coeficiente de Corrección (a)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
	ETP sin corr (mm/mes)	50.2	50.6	49.2	49.7	49.2	48.2	48.2	48.3	48.4	47.5	46.5	48.5	
	nºdías mes (días)	30.0	31.0	30.0	31.0	31.0	28.3	31.0	30.0	31.0	30.0	31.0	31.0	
	nº horas luz (hr)	12.1	11.9	11.7	11.6	11.7	11.9	12.0	12.3	12.5	12.6	12.5	12.4	
	ETP corregida (mm/mes)	50.6	51.9	48.0	49.6	49.6	44.9	49.9	49.3	52.1	49.8	50.0	51.6	597.3
Balance mensual	Precip media mensual P (mm/mes)	30.7	66.1	61.3	94.3	134.6	158.7	187.0	105.5	33.2	16.8	6.8	8.4	903.5
	ETR (mm/mes)	50.6	51.9	48.0	49.6	49.6	44.9	49.9	49.3	52.1	47.9	6.8	8.4	509.0
	Déficit de ET (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	43.2	43.1	
	Reserva (subsuperficial)	30.1	44.4	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	31.1	0.0	0.0	0.0	455.6
	Escorrentía, E (mm/mes)	30.0	30.0	37.7	74.7	115.0	143.9	167.1	86.2	30.0	30.0	30.0	30.0	
	Escorrentía, E (m3/s)	41.6	40.3	52.2	100.2	154.3	211.9	224.2	119.5	40.3	41.6	40.3	40.3	
Recarga=P-ED (mm/mes)	0.7	36.1	23.6	19.6	19.6	14.9	19.9	19.3	3.2	0	0	0	99.0	

	Micro-cuenca:	Cementerio Area: 0.335 Km ²												
	Reserva máx (mm/mes)	Reserva												Total
		SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	Total
	ETP corregida (mm/mes)	49.9	51.1	47.4	48.9	48.9	44.3	49.2	48.7	51.4	49.2	49.4	50.9	589.3
Balance mensual	Precip media mensual P (mm/mes)	32.5	70.0	64.9	99.8	142.4	168.0	197.9	111.7	35.2	17.8	7.2	8.9	956.2
	ETR (mm/mes)	49.9	51.1	47.4	48.9	48.9	44.3	49.2	48.7	51.4	49.2	9.5	8.9	507.4
	Déficit de ET (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.9	42.0	
	Reserva (subsuperficial)	32.7	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	33.7	2.3	0.0	0.0	468.7
	Escorrentía, E (mm/mes)	30.0	31.5	47.5	80.9	123.5	153.7	178.7	93.0	30.0	30.0	30.0	30.0	
	Escorrentía, E (m3/s)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Recarga=P-ED (mm/mes)	2.5	38.4	17.4	18.9	18.9	14.3	19.2	18.7	5.2	0	0	0	97.4

Tabla N° 5.24: Balance hídrico de la microcuenca Jordy

	Micro-cuenca:	Jordy Area: 0.254 Km ²												
	Reserva máx (mm/mes)	Reserva												Total
		SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	Total
Evapotranspiración	Temp. media mensual (°C)	9.9	9.9	9.7	9.8	9.7	9.5	9.5	9.5	9.5	9.4	9.2	9.5	
	Índice Térmico Mensual (i)	2.8	2.8	2.7	2.8	2.7	2.6	2.6	2.6	2.7	2.6	2.5	2.7	32.2
	Coefficiente de Corrección (a)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
	ETP sin corr (mm/mes)	49.7	50.1	48.8	49.2	48.7	47.8	47.8	47.9	48.0	47.0	46.1	48.0	
	nºdías mes (días)	30.0	31.0	30.0	31.0	31.0	28.3	31.0	30.0	31.0	30.0	31.0	31.0	
	nº horas luz (hr)	12.1	11.9	11.7	11.6	11.7	11.9	12.0	12.3	12.5	12.6	12.5	12.4	
	ETP corregida (mm/mes)	50.1	51.3	47.5	49.1	49.1	44.4	49.4	48.9	51.6	49.4	49.6	51.1	591.5
Balance mensual	Precip media mensual P (mm/mes)	32.0	68.9	63.9	98.2	140.2	165.4	194.8	110.0	34.6	17.5	7.1	8.8	941.5
	ETR (mm/mes)	50.1	51.3	47.5	49.1	49.1	44.4	49.4	48.9	51.6	49.4	8.2	8.8	507.8
	Déficit de ET (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	41.4	42.3	
	Reserva (subsuperficial)	32.0	49.5	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	33.0	1.1	0.0	0.0	465.7
	Escorrentía, E (mm/mes)	30.0	30.0	45.9	79.1	121.2	151.0	175.4	91.1	30.0	30.0	30.0	30.0	
	Escorrentía, E (m3/s)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Recarga=P-ED (mm/mes)	2.0	38.9	18.0	19.1	19.1	14.4	19.4	18.9	4.6	0	0	0	97.8

Tabla N° 5.25: Balance hídrico de la microcuenca Cochavara SE

	Micro-cuenca:	Cochavara SE												Total
	Reserva máx (mm/mes)	Reserva												
		SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	
Evapotranspiración	Temp. media mensual (°C)	9.8	9.9	9.6	9.7	9.6	9.4	9.4	9.4	9.5	9.3	9.1	9.5	
	Indice Térmico Mensual (i)	2.8	2.8	2.7	2.7	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.5	2.6	31.8
	Coefficiente de Corrección (a)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
	ETP sin corr (mm/mes)	49.6	50.0	48.7	49.1	48.6	47.7	47.7	47.8	47.9	46.9	46.0	47.9	
	nºdías mes (días)	30.0	31.0	30.0	31.0	31.0	28.3	31.0	30.0	31.0	30.0	31.0	31.0	
	nº horas luz (hr)	12.1	11.9	11.7	11.6	11.7	11.9	12.0	12.3	12.5	12.6	12.5	12.4	
	ETP corregida (mm/mes)	50.0	51.2	47.4	49.0	49.0	44.3	49.3	48.8	51.5	49.3	49.5	51.0	590.3
Balance mensual	Precip media mensual P (mm/mes)	32.3	69.5	64.4	99.1	141.4	166.8	196.5	110.9	34.9	17.7	7.1	8.9	949.4
	ETR (mm/mes)	50.0	51.2	47.4	49.0	49.0	44.3	49.3	48.8	51.5	49.3	8.9	8.9	507.6
	Déficit de ET (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.6	42.1	
	Reserva (subsuperficial)	32.3	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	33.4	1.8	0.0	0.0	467.5
	Escorrentía, E (mm/mes)	30.0	30.6	47.0	80.1	122.4	152.5	177.2	92.1	30.0	30.0	30.0	30.0	
	Escorrentía, E (m3/s)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Recarga=P-ED (mm/mes)	2.3	38.9	17.4	19.0	19.0	14.3	19.3	18.8	4.9	0	0	0	97.6

Tabla N° 5.26: Balance hídrico de la microcuenca Desaguadero

	Micro-cuenca:	Desaguadero												Total
	Reserva máx (mm/mes)	Reserva												
		SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	
Evapotranspiración	Temp. media mensual (°C)	9.8	9.9	9.7	9.7	9.6	9.5	9.5	9.5	9.5	9.3	9.1	9.5	
	Indice Térmico Mensual (i)	2.8	2.8	2.7	2.7	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.5	2.6	32.0
	Coefficiente de Corrección (a)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
	ETP sin corr (mm/mes)	49.6	50.0	48.7	49.1	48.6	47.7	47.7	47.8	47.9	47.0	46.0	48.0	
	nºdías mes (días)	30.0	31.0	30.0	31.0	31.0	28.3	31.0	30.0	31.0	30.0	31.0	31.0	
	nº horas luz (hr)	12.1	11.9	11.7	11.6	11.7	11.9	12.0	12.3	12.5	12.6	12.5	12.4	
	ETP corregida (mm/mes)	50.0	51.3	47.5	49.1	49.0	44.4	49.3	48.8	51.6	49.3	49.5	51.0	590.9

	Micro-cuenca:	Desaguadero Area: 0.148 Km ²													
	Reserva máx (mm/mes)	Reserva												Total	
		SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO		
Balance mensual	Precip media mensual P (mm/mes)	32.2	69.2	64.1	98.6	140.8	166.1	195.6	110.4	34.8	17.6	7.1	8.8	945.3	
	ETR (mm/mes)	50.0	51.3	47.5	49.1	49.0	44.4	49.3	48.8	51.6	49.3	8.5	8.8	507.7	
	Déficit de ET (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	41.0	42.2		
	Reserva (subsuperficial)	32.1	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	33.2	1.4	0.0	0.0	466.8
	Escorrentía, E (mm/mes)	30.0	30.1	46.6	79.6	121.8	151.7	176.3	91.6	30.0	30.0	30.0	30.0		
	Escorrentía, E (m3/s)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
	Recarga=P-ED (mm/mes)	2.2	39.1	17.5	19.1	19.0	14.4	19.3	18.8	4.8	0	0	0	97.7	

Tabla N° 5.27: Balance hídrico de la microcuenca Potrero

	Micro-cuenca:	Potrero Area: 4.314 Km ²												
	Reserva máx (mm/mes)	Reserva												Total
		SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	
Evapotranspiración	Temp. media mensual (°C)	10.4	10.5	10.2	10.3	10.2	10.0	10.0	10.1	10.1	9.9	9.7	10.1	
	Índice Térmico Mensual (i)	3.0	3.1	3.0	3.0	3.0	2.9	2.9	2.9	2.9	2.8	2.7	2.9	35.0
	Coefficiente de Corrección (a)	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	
	ETP sin corr (mm/mes)	50.5	51.0	49.6	50.0	49.5	48.6	48.6	48.7	48.7	47.8	46.7	48.8	
	nºdías mes (días)	30.0	31.0	30.0	31.0	31.0	28.3	31.0	30.0	31.0	30.0	31.0	31.0	
	nº horas luz (hr)	12.1	11.9	11.7	11.6	11.7	11.9	12.0	12.3	12.5	12.6	12.5	12.4	
	ETP corregida (mm/mes)	51.0	52.2	48.3	50.0	49.9	45.1	50.2	49.7	52.5	50.1	50.3	51.9	601.2
Balance mensual	Precip media mensual P (mm/mes)	29.9	64.3	59.6	91.7	130.8	154.4	181.8	102.6	32.3	16.3	6.6	8.2	878.6
	ETR (mm/mes)	51.0	52.2	48.3	50.0	49.9	45.1	50.2	49.7	52.5	46.2	6.6	8.2	509.8
	Déficit de ET (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.9	43.7	43.7	
	Reserva (subsuperficial)	28.9	41.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	29.9	0.0	0.0	0.0	449.8
	Escorrentía, E (mm/mes)	30.0	30.0	32.3	71.7	111.0	139.2	161.6	83.0	30.0	30.0	30.0	30.0	
	Escorrentía, E (m3/s)	49.9	48.3	53.7	115.5	178.7	246.1	260.3	138.1	48.3	49.9	48.3	48.3	
Recarga=P-ED (mm/mes)	-0.1	34.3	27.3	20.0	19.9	15.1	20.2	19.7	2.3	0	0	0	99.8	

Tabla N° 5.28: Balance hídrico de la microcuenca Ucumali

	Micro-cuenca:	Ucumali Area: 0.077 Km ²												
	Reserva máx (mm/mes)	50.0	Reserva											
		SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	Total
Evapotranspiración	Temp. media mensual (°C)	10.0	10.1	9.8	9.9	9.8	9.6	9.6	9.6	9.6	9.5	9.3	9.7	
	Indice Térmico Mensual (i)	2.8	2.9	2.8	2.8	2.8	2.7	2.7	2.7	2.7	2.6	2.5	2.7	32.7
	Coefficiente de Corrección (a)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
	ETP sin corr (mm/mes)	49.8	50.2	48.9	49.3	48.9	47.9	47.9	48.0	48.1	47.2	46.2	48.2	
	nºdías mes (días)	30.0	31.0	30.0	31.0	31.0	28.3	31.0	30.0	31.0	30.0	31.0	31.0	
	nº horas luz (hr)	12.1	11.9	11.7	11.6	11.7	11.9	12.0	12.3	12.5	12.6	12.5	12.4	
	ETP corregida (mm/mes)	50.3	51.5	47.7	49.3	49.2	44.6	49.5	49.0	51.8	49.5	49.7	51.3	593.4
Balance mensual	Precip media mensual P (mm/mes)	31.6	68.0	63.0	96.9	138.3	163.2	192.2	108.5	34.2	17.3	7.0	8.7	928.7
	ETR (mm/mes)	50.3	51.5	47.7	49.3	49.2	44.6	49.5	49.0	51.8	49.5	7.1	8.7	508.2
	Déficit de ET (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	42.6	42.6	
	Reserva (subsuperficial)	31.4	47.8	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	32.4	0.1	0.0	0.0	461.6
	Escorrentía, E (mm/mes)	30.0	30.0	43.1	77.6	119.1	148.6	172.6	89.4	30.0	30.0	30.0	30.0	
	Escorrentía, E (m3/s)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Recarga=P-ED (mm/mes)	1.6	38.0	19.9	19.3	19.2	14.6	19.5	19.0	4.2	0	0	0	98.2

Tabla N° 5.29: Balance hídrico de la cuenca Angasmarca

	Cuenca:	RIO ANGASMARCA Area: 353.2 km ²												
	Reserva máx. (mm/mes)	50	Reserva											
		SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	Total
Evapotranspiración	Temp. media mensual (°C)	8.9	9.3	8.8	9.4	9.6	9.7	10.0	9.7	9.4	8.9	9.1	8.6	
	i	2.4	2.6	2.3	2.6	2.7	2.7	2.8	2.7	2.6	2.4	2.5	2.3	30.6
	a	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	
	ETP sin corr (mm/mes)	46	48	45	48	49	50	51	50	48	46	47	44	
	nºdías mes (días)	30	31	30	31	31	28.25	31	30	31	30	31	31	
	nº horas luz (hr)	12.1	11.9	11.7	11.6	11.7	11.85	12	12.25	12.5	12.6	12.5	12.35	

		RIO ANGASMARCA Area:												
Cuenca:		353.2 km2												
Reserva máx. (mm/mes)		50	Reserva											
		SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	Total
ETP corregida (mm/mes)		46.3	49.3	44.1	48.1	49.8	46.5	52.9	50.9	52.1	48.4	50.5	47.2	586
Balance mensual	Precip media mensual P (mm/mes)	48.8	93.0	79.4	88.7	117.4	140.3	152.7	121.0	57.8	23.8	12.5	16.5	951.8
	ETR (mm/mes)	46.3	49.3	44.1	48.1	49.8	46.5	52.9	50.9	52.1	48.4	37.9	16.5	436.8
	Déficit de ET (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.6	30.7	
	Reserva (subsuperficial)	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	25.4	0.0	0.0	525.4
	Escorrentía, E (mm/mes)	32.5	73.8	65.2	70.6	97.6	123.8	129.8	100.1	35.6	30.0	30.0	30.0	
	Escorrentía, E (m3/s)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Recarga=P-ED (mm/mes)		16.3	19.3	14.1	18.1	19.8	16.5	22.9	20.9	22.1	0	0	0	132.8

Tabla N° 5.30: Balance hídrico de la cuenca Ucumal

		RIO UCUMAL Area: 84.9 km2												
Cuenca:		84.9 km2												
Reserva máx (mm/mes)		50	Reserva											
		SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	Total
Evapotranspiración	Temp. media mensual (°C)	8.9	9.3	8.8	9.4	9.6	9.7	10.0	9.7	9.4	8.9	9.1	8.6	
	i	2.4	2.6	2.3	2.6	2.7	2.7	2.8	2.7	2.6	2.4	2.5	2.3	30.6
	a	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	
	ETP sin corr (mm/mes)	46	48	45	48	49	50	51	50	48	46	47	44	
	nºdías mes (días)	30	31	30	31	31	28.25	31	30	31	30	31	31	
	nº horas luz (hr)	12.1	11.9	11.7	11.6	11.7	11.85	12	12.25	12.5	12.6	12.5	12.35	
	ETP corregida (mm/mes)	46.3	49.3	44.1	48.1	49.8	46.5	52.9	50.9	52.1	48.4	50.5	47.2	586
Balance mensual	Precip media mensual P (mm/mes)	48.8	93.0	79.4	88.7	117.4	140.3	152.7	121.0	57.8	23.8	12.5	16.5	951.8
	ETR (mm/mes)	46.3	49.3	44.1	48.1	49.8	46.5	52.9	50.9	52.1	48.4	37.9	16.5	436.8
	Déficit de ET (mm/mes)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.6	30.7	

Cuenca:	RIO UCUMAL Area: 84.9 km2													
Reserva máx (mm/mes)	50	Reserva												
	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	Total	
Reserva (subsuperficial)	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	25.4	0.0	0.0	525.4	
Escorrentía, E (mm/mes)	32.5	73.8	65.2	70.6	97.6	123.8	129.8	100.1	35.6	30.0	30.0	30.0		
Escorrentía, E (m3/s)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
Recarga=P-ED (mm/mes)	16.3	19.3	14.1	18.1	19.8	16.5	22.9	20.9	22.1	0	0	0	132.8	

5.7. Hidroquímica

5.7.1. Red de monitoreo del agua

5.7.1.1 Red temporal de monitoreo

En la UMSR para esta investigación, en relación a la hidroquímica se ha seleccionado 21 puntos de los cuales 08 corresponden para aguas subterráneas incluido los tajos y 13 puntos ubicados en las quebradas de los riachuelos del área de influencia de la mina, los que se muestran a continuación (Tabla 5.31). En el Mapa N° 006, se puede observar la ubicación espacial de las fuentes de agua inventariadas durante la investigación.

Tabla N° 5.31: Red de muestreo de agua

CODIGO	COORDENADAS UTM		COTA (msnm)	pH	TEMP. (°C)	CE (µs/cm)	DUREZA (mg/L CaCO ₃)	FUENTE DE AGUA
	ESTE	NORTE						
Fuentes de Agua Superficial								
SS -1	823,929	9,100,658	2,875	8.3	15.5	650	43.2	Río
SS -2	823,834	9,103,198	2,942	8.7	15.9	1150	207.7	Quebrada
SS -3	824,606	9,104,066	2,965	6.6	14.6	2840	322.9	Quebrada
SS -4	824,822	9,104,489	2,972	5.0	13.3	800	80.2	Quebrada
SS -5	825,218	9,105,055	3,028	6.5	14.4	380	59.6	Quebrada
SS -6	825,095	9,106,815	3,062	7.0	15.8	720	41.1	Quebrada
SS -7	825,052	9,107,587	3,232	6.3	15.1	300	6.2	Quebrada
SS -8	825,734	9,108,588	3,212	6.2	15.0	230	6.2	Quebrada
SS -17	828,456	9,106,264	3,301	5.8	15.5	440	14.5	Quebrada
SS -32	828,249	9,100,719	3,009	5.0	19.2	940	43.2	Quebrada
SS -43	827,575	9,109,640	3,425	7.8	11.4	1750	119.3	Río
SS -44	829,864	9,105,006	3,181	7.1	12.2	560	43.2	Río
SS -46	826,908	9,101,343	3,120	4.8	16.5	1590	69.9	Quebrada
Fuentes de Agua Subterránea								
A - 40	829,081	9,104,703	3,306	3.0	16.5	150	16.0	Tajo Seductora
A - 41	827,216	9,102,713	3,311	3.8	18.6	160	20.1	Tajo Sacalla
ST -1	825,907	9,107,051	3,239	4.9	13.4	120	2.1	Manantial
ST -2	825,180	9,105,547	3,065	5.5	18.3	10	10.3	Bofedal
ST -3	825,023	9,107,632	3,240	6.3	14.4	230	6.2	Manantial
ST -6	827,812	9,107,922	3,422	7.6	14.3	580	107.0	Manantial
ST-26	830,331	9,104,656	3,148	7.3	15.9	560	20.5	Manantial
ST-31	828,228	9,100,744	3,022	5.7	15.3	310	10.3	Manantial

Fecha de muestreo: 20 al 23/11/2007

La mayoría de las muestras de agua muestran temperaturas semejantes a las del medio ambiente, lo que indica su origen meteórico con renovación mediante el ciclo hidrológico anual con las lluvias estacionales.

5.7.1.2. Red permanente de monitoreo

Para efectos de caracterización de la calidad del agua, se han seleccionado 16 puntos de monitoreo, de los cuales solo 2 corresponden a aguas subterráneas, siendo uno de ellos el piezómetro PZ-3 (que a la fecha se encuentra seco) y otro es el tajo Sacalla (T-SA) en cuyo fondo aflora agua subterránea de manera permanente. Ver la Tabla N° 5.32.

Tabla N° 5.32: Resumen de estaciones de monitoreo de calidad de agua

CODIGO	ESTE	NORTE	ALTITUD (msnm)	FUENTE, UBICACION
Fuentes de Agua Superficial				
P-1	827,297	9,104,272	3,581	Canal Inchame antes de la zona de operaciones (a 200 m de la garita de control).
P-6	827,397	9,102,084	3,268	Quebrada Sacalla , cuenca debajo de las operaciones del tajo Sacalla
P-7	827,361	9,101,799	3,251	1. Quebrada Sacalla después de la confluencia con aguas del canal Inchame
P-A	828,220	9,107,258	3,290	Río Ucumal antes de las operaciones
PA-2	828,334	9,106,838	3,261	Quebrada Cementerio, antes del río Ucumal
PA-1	828,174	9,107,212	3,292	Quebrada Cruce, antes del río Ucumal
P-F	830,346	9,104,652	3,146	Río Ucumal, después de operaciones
P-4	828,325	9,102,760	3,495	Canal inchame final, después de las operaciones mineras
P-3	829,657	9,104,885	3,170	Quebrada Desaguadero, antes del río Ucumal
P-10	829,230	9,105,605	3,212	Unión Quebrada Maleta y Cochavara a 100 m antes de sus confluencia con el río Ucumal
P5	827,376	9,102,087	3,266	Quebrada Manantial, cuenca abajo antes de confluir con las aguas de la quebrada Sacalla
P9	828,636	9,105,015	3,285	Quebrada Maleta, aguas abajo a 50 m después de la unión con quebrada Vaca Blanca.
QM	829,468	9,105,413	3,192	Después de columnas de tratamiento de agua en la quebrada Maleta (efluente).
QD	829,876	1,048,82	3,192	Después de columnas de tratamiento de agua, quebrada Desaguadero (efluente).
Fuentes de Agua Subterránea				
PZ-3	829,850	9,103,900	3,520	Piezómetro N° 3 al lado Este de la Poza N° 8 quebrada Desaguadero.
T-SA	827,289	9,102,678	3,302	Afloramiento fondo tajo Sacalla.

El piezómetro PZ-3 muestra un contenido de hierro importante, debido posiblemente a la precipitación de los iones al contacto con el oxígeno del aire, sin embargo la conductividad se manifestó baja y el pH ácido, el cual paulatinamente se fue haciendo neutro hasta un tanto alcalino debido al escaso flujo del agua.

En el tajo Sacalla, las aguas del punto de monitoreo T-SA, indican que la conductividad eléctrica se ha ido incrementando de 228 a 512 $\mu\text{S}/\text{cm}$, posiblemente debido a la evaporación directa del lago y también puede influir un mayor contacto con minerales que aportan los sedimentos de la escorrentías, al actuar la corta o tajo como una cuenca endorreica. El pH se mantuvo ácido entre 3.7 a 4.5, sin embargo, la presencia de iones disueltos indica que se han ido incrementando el hierro, arsénico y cianuro, aunque su concentración aun se encuentra dentro de los límites o a niveles tolerables por la legislación vigente.

5.7.1.3. Resultados de los análisis de agua del laboratorio

Se ha realizado una evaluación hidroquímica de las aguas subterráneas por intermedio de las descargas naturales a superficie, con el objeto de realizar la caracterización hidrogeológica de las aguas subterráneas, evaluar el tipo de acuífero, contenido de sales disueltas, origen, etc. Durante el monitoreo de las fuentes de agua realizado en Noviembre del 2007 con equipos portátiles de medida in situ y a partir del muestreo y análisis de aguas desarrollado por el laboratorio EQUAS (Environmental Quality Analytical Services S.A.), se obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla N° 5.33. En el Mapa N° 007, se observa las estaciones de agua seleccionadas con la finalidad de realizar la caracterización hidrogeológica

Tabla N° 5.33: Resultados de los análisis físicos químicos de las aguas muestreadas

CODIGO	CATIONES (mg/L)				ANIONES (mg/L)			
	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	Cl	HCO ₃	CO ₃
Fuentes de Agua Superficial								
SS -1	16.9	0.2	12.6	1.0	34.0	0.8	81.7	0.9
SS -2	31.4	31.4	10.9	0.8	109.0	2.8	256.1	10.0
SS -3	50.7	47.7	22.4	1.1	353.0	2.5	445.9	0.9
SS -4	11.3	12.7	28.0	12.4	275.0	4.0	147.6	0.9
SS -5	10.5	8.1	30.3	1.2	68.0	0.5	149.0	0.9
SS -6	11.3	3.2	27.7	1.2	14.0	0.6	119.3	0.9

CODIGO	CATIONES (mg/L)				ANIONES (mg/L)			
	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	Cl	HCO ₃	CO ₃
SS -7	1.6	0.5	26.2	2.0	6.0	0.7	71.3	0.9
SS -8	2.4	0.0	32.4	2.3	7.0	0.5	87.8	0.9
SS -17	1.6	2.6	107.6	79.7	25.0	2.1	196.4	0.9
SS -32	10.5	4.2	56.8	1.1	80.0	0.9	198.7	0.9
SS -43	42.7	3.1	25.1	20.3	17.0	2.1	180.9	0.9
SS -44	12.9	2.7	23.0	0.9	25.0	1.7	107.8	0.9
SS -46	16.1	7.2	26.2	1.0	157.0	1.7	148.7	0.9
Fuentes de Agua Subterránea								
A - 40	3.8	1.6	104.0	1.9	102.0	24.5	249.0	0.9
A - 41	4.6	2.1	9.1	1.2	34.0	1.0	43.5	0.9
ST -1	0.0	0.5	33.6	0.1	6.0	0.5	88.8	0.9
ST -2	0.8	2.0	9.6	0.5	18.0	0.4	34.8	0.9
ST -3	1.6	0.5	13.6	2.0	8.0	0.9	37.6	0.9
ST -6	29.8	7.9	313.2	1.8	32.0	1.8	954.0	0.9
ST-26	4.8	2.1	20.9	2.2	30.0	1.7	72.9	0.9
ST-31	3.2	0.5	11.9	0.7	61.0	0.4	40.7	0.9

5.7.1.4. Interpretación de resultados

pH

El pH de las aguas subterráneas en las muestras analizadas en las rocas encajonantes del depósito mineral (A-40 y A-41), son bastante ácidas (3.0 a 3.8). El agua subterránea de los manantiales de descarga natural aledaños (ST-1, ST-2, ST-31) tienden a ser ligeramente ácida (pH 4.9 a 5.7). Estos valores son indicativos de la generación de drenaje ácido de minas producto a la oxidación de minerales sulfurosos. Los puntos de valores menores pueden ser un indicativo de una mayor oxidación de sulfuros metálicos existente en las rocas.

En la mayor parte de los cursos superficiales las aguas tienden a neutralizarse, hasta ser ligeramente alcalinas como los puntos SS-1, SS-2 cuyos valores alcanzan un pH = 8.3 a 8.7, probablemente sea debido al contacto con los materiales carbonatados existentes en la superficie, aunque también puede influir la materia orgánica o

vegetales que existen en el cause de las corrientes de agua superficiales.

Conductividad eléctrica (CE)

Atendiendo a los valores de conductividad eléctrica de las aguas subterráneas analizadas en los tajos Sacalla y Seductora ubicados en las rocas almacén del yacimiento, reflejan aguas muy dulces (150 –160 $\mu\text{S/cm}$), posiblemente debido a la influencia de las lluvias ocurrida durante la fecha de muestreo. Sin embargo en los reportes del monitoreo se indican valores mucho más altos (198 a 717 $\mu\text{S/cm}$), lo cual corresponde a aguas moderadamente duras a muy duras.

Las aguas de los manantiales presentan moderada cantidad de iones disueltos, por encima de los valores de los tajos (120 a 580 $\mu\text{S/cm}$), Posiblemente estas condiciones representen los valores normales de las aguas subterráneas, típicas para rocas de buena a moderada estabilidad química como son las areniscas y cuarcitas, con presencia de minerales metálicos. En el Mapa N° 008, se muestra los perfiles hidrogelógicos longitudinal y transversales, observándose la litología y el comportamiento del agua sub. superficial en el área de la unidad minera Santa Rosa.

Dureza

La dureza de las aguas analizadas presentan concentraciones bajas con escaso contenido de sólidos disueltos. Se han encontrado valores dentro del rango de 2 a 120 mg/L de CaCO_3 , lo cual corresponde típicamente a aguas blandas, correspondiente a acuíferos silíceos, con minerales de buena estabilidad química, poco solubles, lo cual también sea atribuido a la corta circulación interna dentro de la roca acuífera, siendo el flujo de agua, local y de escaso recorrido.

Excepcionalmente en las muestras SS-2 y SS-3 correspondientes a la quebrada Huacascorral y Cushpinga, afluente del Angasmarca, estas aguas reciben aportes de carbonatos, probablemente por la proximidad de rocas calcáreas ó magnésicas de la zona.

5.7.2. Balance iónico o error

El balance iónico es un método rápido que sirve para confirmar la confiabilidad de los análisis realizados, para ello fueron calculados los resultados de todas las muestras utilizando los cationes mayoritarios disueltos (Ca, Mg, Na, +K) y los aniones mayoritarios (Cl, HCO₃, +CO₃ y SO₄), a través del equilibrio químico (Tabla 5.34).

Tabla N° 5.34: Equilibrio químico en unidades absolutas

Identificación		A - 40	A - 41	ST -1	ST -2	ST -3	ST -6	ST-26	ST-31	SS -1	SS -2
Calcio	meq/l	0,19	0,23	0,00	0,04	0,08	1,49	0,24	0,16	0,85	1,57
Magnesio	meq/l	0,13	0,17	0,04	0,17	0,04	0,65	0,17	0,04	0,02	2,59
Sodio	meq/l	4,52	0,39	1,46	0,42	0,59	13,62	0,91	0,52	0,55	0,47
SUMATORIA CATIONES		4,84	0,80	1,50	0,62	0,71	15,76	1,32	0,72	1,41	4,63
Cloruros	meq/l	0,69	0,03	0,01	0,01	0,03	0,05	0,05	0,01	0,02	0,08
Sulfatos	meq/l	0,04	0,03	0,00	0,01	0,04	0,04	0,05	0,01	0,02	0,02
Bicarbonatos	meq/l	4,08	0,71	1,46	0,57	0,62	15,64	1,20	0,67	1,34	4,20
SUMATORIA ANIONES		4,81	0,77	1,47	0,59	0,68	15,73	1,29	0,69	1,38	4,30
ERROR ADMISIBLE +/- 5%											
	Ecat-Ean	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,33
	Ecat+Ean	9,65	1,56	2,98	1,21	1,40	31,49	2,61	1,42	2,80	8,92
	ERROR	-0,31	-1,92	-1,01	-2,48	-2,15	-0,10	-1,15	-2,12	-1,07	-3,74
Admisibilidad		Admi	Admi	Admi	Admi	Admi	Admi	Admi	Admi	Admi	Admi

.....Continúa la tabla 5.34

Identificación		SS -3	SS -4	SS -5	SS -6	SS -7	SS -8	SS -17	SS -32	SS -43	SS -44	SS -46
Calcio	meq/l	2,54	0,56	0,52	0,56	0,08	0,12	0,08	0,52	2,13	0,64	0,80
Magnesio	meq/l	3,92	1,04	0,67	0,26	0,04	0,00	0,21	0,34	0,26	0,22	0,59
Sodio	meq/l	0,97	1,22	1,32	1,20	1,14	1,41	4,68	2,47	1,09	1,00	1,14
SUMATORIA CATIONES		7,43	2,82	2,51	2,03	1,26	1,53	4,97	3,33	3,48	1,86	2,54
Cloruros	meq/l	0,07	0,11	0,01	0,02	0,02	0,01	0,06	0,03	0,06	0,05	0,05
Sulfatos	meq/l	0,02	0,26	0,02	0,02	0,04	0,05	1,66	0,02	0,42	0,02	0,02
Bicarbonatos	meq/l	7,31	2,42	2,44	1,96	1,17	1,44	3,22	3,26	2,97	1,77	2,44
SUMATORIA ANIONES		7,40	2,79	2,48	2,00	1,23	1,50	4,94	3,30	3,45	1,83	2,51
ERROR ADMISIBLE +/- 5%												
	Ecat-Ean	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03
	Ecat+Ean	14,84	5,61	4,99	4,02	2,49	3,03	9,91	6,64	6,93	3,70	5,04
	ERROR	-0,20	-0,53	-0,60	-0,75	-1,20	-0,99	-0,30	-0,45	-0,43	-0,81	-0,59
Admisibilidad		Admi	Admi	Admi	Admi	Admi						

5.7.3. Caracterización química de las aguas

Los resultados de los cálculos de los elementos mayoritarios en unidades absolutas (meq/l) se transformaron en porcentaje de reacción química lo cual permite caracterizar las aguas atendiendo a la predominancia de los cationes y aniones dominantes (Tabla 5.35). En el Mapa N° 009, se observa esquemáticamente mediante los diagramas de stiff el comportamiento hidroquímico del agua analizada en el área de la UMSR.

Debido a la estabilidad de sus componentes mineralógicos (cuarzo y feldespatos), las aguas de los acuíferos fisurados son blandas y de baja salinidad.

Con los resultados de las muestras de agua analizadas, se han podido clasificar hasta cuatro clases de aguas, según sus componentes químicos mayoritarios.

Tabla N° 5.35: Tipos de agua por iones dominantes

CODIGO	FORMULA IONICA	TIPO DE AGUA
Fuentes de Agua Superficial		
SS -1	HCO ₃ > Cl > SO ₄ Ca > Na > Mg	Bicarbonatado cálcico
SS -2	HCO ₃ > Cl > SO ₄ Mg > Ca > Na	Bicarbonatado magnésico
SS -3	HCO ₃ > Cl > SO ₄ Mg > Ca > Na	Bicarbonatado magnésico
SS -4	HCO ₃ > SO ₄ > Cl Na > Mg > Ca	Bicarbonatado sódico
SS -5	HCO ₃ > SO ₄ > Cl Na > Mg > Ca	Bicarbonatado sódico
SS -6	HCO ₃ > SO ₄ > Cl Na > Ca > Mg	Bicarbonatado sódico
SS -7	HCO ₃ > SO ₄ > Cl Na > Ca > Mg	Bicarbonatado sódico
SS -8	HCO ₃ > SO ₄ > Cl Na > Ca > Mg	Bicarbonatado sódico
SS -17	Na > Mg > Ca HCO ₃ > SO ₄ > Cl	Bicarbonatado sódico
SS -32	HCO ₃ > Cl > SO ₄ Na > Ca > Mg	Bicarbonatado sódico
SS -43	HCO ₃ > SO ₄ > Cl Ca > Na > Mg	Bicarbonatado cálcico
SS -44	HCO ₃ > Cl > SO ₄ Na > Ca > Mg	Bicarbonatado sódico
SS -46	HCO ₃ > Cl > SO ₄ Na > Ca > Mg	Bicarbonatado sódico
Fuentes de Agua Subterránea		
A - 40	Na > Ca > Mg HCO ₃ > Cl > SO ₄	Bicarbonatado sódico
A - 41	HCO ₃ > Cl > SO ₄ Na > Ca > Mg	Bicarbonatado sódico
ST -1	HCO ₃ > Cl > SO ₄ Na > Mg > Ca	Bicarbonatado sódico
ST -2	HCO ₃ > Cl > SO ₄ Na > Mg > Ca	Bicarbonatado sódico
ST -3	HCO ₃ > SO ₄ > Cl Na > Ca > Mg	Bicarbonatado sódico
ST -6	HCO ₃ > Cl > SO ₄ Na > Ca > Mg	Bicarbonatado sódico
ST-26	HCO ₃ > Cl > SO ₄ Na > Ca > Mg	Bicarbonatado sódico
ST-31	HCO ₃ > SO ₄ > Cl Na > Ca > Mg	Bicarbonatado sódico

5.7.3.1. Aguas bicarbonatado sódicas

Este primer tipo muestra agua procedente de rocas silíceas, típica para el caso de las areniscas que originan aguas poco mineralizadas. Corresponden a aguas de manantiales de ladera y los principales cursos de agua de la zona de la unidad minera Santa Rosa.

5.7.3.2. Aguas bicarbonatado magnésicas

Este segundo grupo muestra que son aguas con alguna relación de rocas intrusivas, volcánicas ó calcáreas, posiblemente debido a la reacción de los minerales que tienen alto aporte de magnesio, los cuales pueden ser sedimentos de la zona de transición de la formación Chimú - MA, en contacto con niveles de calcarenitas.

5.7.3.3. Aguas sódico bicarbonatadas

Este tercer grupo muestra claramente su procedencia de agua del tajo Seductora que presenta aguas mineralizadas (agua sódica), posiblemente debido a la reacción de los sulfuros ó feldspatos sódicos. Del mismo modo las aguas de la quebrada Jordy se clasifican como Sódico Bicarbonatado, debido al contacto de las aguas con zonas mineralizadas similares a la anterior.

5.7.3.4. Aguas bicarbonatado cálcicas

Este último grupo muestra aguas provenientes de rocas silíceas las que originan aguas poco mineralizadas y pertenecen a las aguas de los manantiales de ladera.

5.8. Modelación del sistema acuífero

Las actividades antrópicas de cualquier tipo afectan la naturaleza en diversos grados de intensidad y magnitud. Las fuentes de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas son variadas, desde los procesos naturales y artificiales en el que las actividades del hombre causan alteraciones de la calidad de los recursos hídricos, suelos, aire, flora y fauna entre otros. En virtud a ello, es necesario conocer las condiciones de calidad y cantidad en las se encuentran los recursos antes aludidos,

para ello es necesario realizar los trabajos del inventario de los recursos en la zona de estudio.

5.8.1. Modelo conceptual del sistema acuífero

El desarrollo del modelo conceptual es uno de los pasos de importancia en la elaboración de los modelos de simulación de acuíferos y de transporte de contaminantes. Por definición, el modelo conceptual es la representación simplificada de las características hidrogeológicas del sistema acuífero, así como los detalles del comportamiento hidrológico del acuífero y sus externalidades. Durante el proceso de elaboración del modelo conceptual, es frecuente realizar asunciones y simplificaciones a fin de representar procesos complejos. Las asunciones son explicadas debido a la imposibilidad de reconstruir completamente el sistema acuífero a ser modelado. Consecuentemente en la formulación del modelo conceptual se ha empleado el principio de simplicidad, de modo que sea lo más simple posible, manteniendo la suficiente complejidad para la representación adecuada de los elementos físicos del sistema acuífero y reproducir su comportamiento hidráulico y la respuesta frente a las actividades mineras de bombeo, estiajes y cambios hidrológicos naturales y antrópicos. El modelo conceptual se muestra en la Figura N° 9.

El modelo conceptual del acuífero de la UMSR ha sido elaborado acorde con la información geológica, límites permeables e impermeables, marco hidrológico, sus variaciones naturales, y los factores antropogénicos preponderantes, los cuales serán detallados a continuación.

5.8.2. Límites impermeables

Los límites impermeables del acuífero están constituidos en su base por la formación Chicama, los intrusivos lpf (intrusivo pórfido feldespático) y el intrusivo pd (pórfido dacítico) que aflora hacia los estratos superficiales, básicamente hacia el Suroeste del área en estudio y el Oin que limita en la orientación Este del acuífero y con afloramientos de esta misma formación hacia el Oeste.

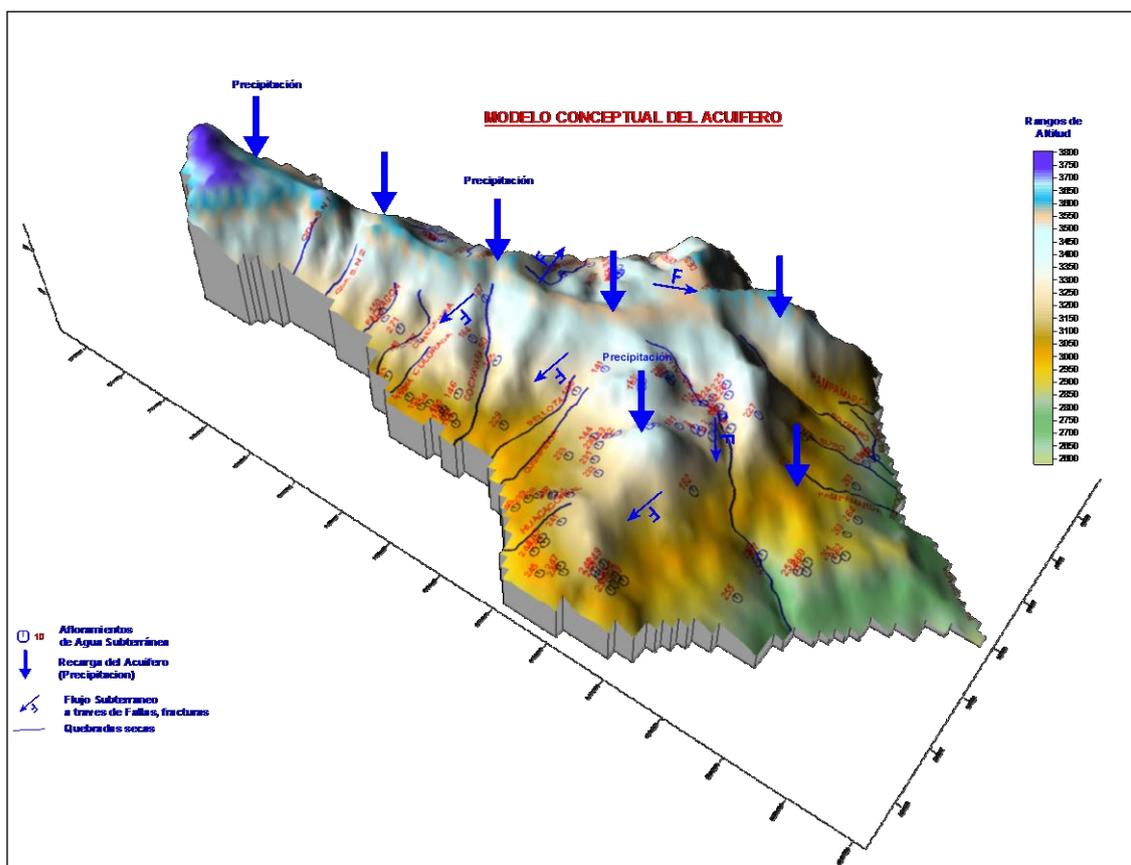


Figura N° 9: Modelo conceptual del acuífero de unidad minera Santa Rosa

5.8.3. Marco hidrológico

El marco hidrológico, está descrito por el régimen hidrológico de las subcuencas Ucumal y Angasmarca y principalmente por las precipitaciones que constituyen la principal fuente de recarga del sistema acuífero.

5.8.4. Factores antropogénicos

Los factores antropogénicos, están conceptualizados por la acciones realizadas por el hombre sobre el acuífero, entre las que podemos destacar, el bombeo de las aguas subterráneas para el desarrollo de las actividades mineras, principalmente en los tajos Sacalla y Seductora.

5.8.5. Selección del código de modelamiento

El código de modelamiento, es el programa de cómputo que contiene los algoritmos para resolver numéricamente las ecuaciones de flujo que rige en medios porosos saturados. Muchos de ellos en la actualidad poseen interfaces gráficas para el pre y post procesamiento de datos. En general el modelo

matemático está constituido por las ecuaciones hidráulicas que gobiernan del flujo del agua en medio poroso saturado, siendo este una ecuación diferencial parcial tridimensional en el tiempo y el espacio. El modelo conceptual y el esquema hidrogeológico ayudaran a definir las condiciones de frontera para la solución del modelo matemático para el acuífero de la UMSR.

Con este propósito, se ha optado por hacer uso del software Visual ModFlow Premium versión 4.2, principalmente por su versatilidad en el manejo de la información, tanto para el ingreso de datos como para la edición de resultados, bajo distintos formatos. Dispone de interfases gráficas para el ingreso de los datos, parámetros del acuífero así como las condiciones de frontera, con verificadores de precisión de ingreso de datos. El proceso de calibración y el progreso de la misma son realizados con la opción gráfica que muestra las cargas observadas y calculadas, controlado con estadísticas empleadas para la calibración de modelos de acuíferos. Información numérica del balance de masas de agua y múltiples opciones que permiten estructurar el modelo apropiado.

El programa hace uso del método numérico en diferencias finitas para la solución de la ecuación diferencial parcial (ecuación de flujo del agua subterránea), y los métodos de solución de las ecuaciones son múltiples. Cuenta con opciones para modelar acuíferos libres y confinados, con múltiples capas, en régimen estacionario y no estacionario (Chiang, 1998).

5.8.6. Diseño del modelo matemático

5.8.6.1. Discretización del sistema acuífero

La discretización del sistema acuífero en diferencias finitas, se ha realizado empleando mallas cuadradas $\Delta x = 40 \text{ m}$ y $\Delta y = 40 \text{ m}$, habiéndose inicializado la discretización del sistema con 350 filas y 190 columnas, haciendo un total de 66500 mallas, de este total 35099 mallas corresponden al área real del acuífero estimada en 56.16 km². La dimensión de las mallas está destinada a analizar problemas de zonas con altos gradientes hidráulicos debido a la fuerte pendiente de la topografía de la zona.

El sistema ha sido inicializado con la siguiente información referida a sus coordenadas (Tabla No 5.36), basado en un archivo previamente elaborado denominado Borde.dxf .

Tabla N° 5.36: Sistema de inicialización

DESCRIPCION	COORDENADAS UTM	
	ESTE	NORTE
Display Area (ventana de trabajo)	X1= 823300 X2 =830900	Y1= 9097000 Y2= 9111000
Model Origin (origen del modelo)	X= 823300	Y = 9097000
Model Corners (vértices del modelo)	X1= 823300 X2 =830900	Y1= 9097000 Y2= 9111000
Angle (ángulo del mallado)	$\Theta = 0$	

El sistema de acuífero discretizado se muestra en la Figura No 10.

Las unidades empleadas para las variables del modelo son:

Longitud	m
Conductividad hidráulica saturada	m/d
Recarga o ETo	mm/año
Descarga	m ³ /d

5.8.6.2. *Números de capas y tipo de acuíferos*

Las capas son empleadas en los modelos para representar las unidades hidroestratigráficas, las cuales son unidades geológicas con similares o diferentes propiedades. Acorde con los perfiles estratigráficos se conoce que el acuífero de la UMSR hidrogeológicamente esta constituida por 4 estratos permeables, consecuentemente el modelo de acuífero es multicapa, debido a que cada capa esta definida con espesores y cotas absolutas, en base a la topográfica superficial y los espesores (potencia acuífera) determinados del modelo geológico. El tipo de acuífero (Layer Tipe 2) considerado acorde con las opciones del modelo corresponde a confined/Unconfined (confinado/no confinado) variable, S y T. Los que se pueden observar en la Figuras N° 11 y 12.

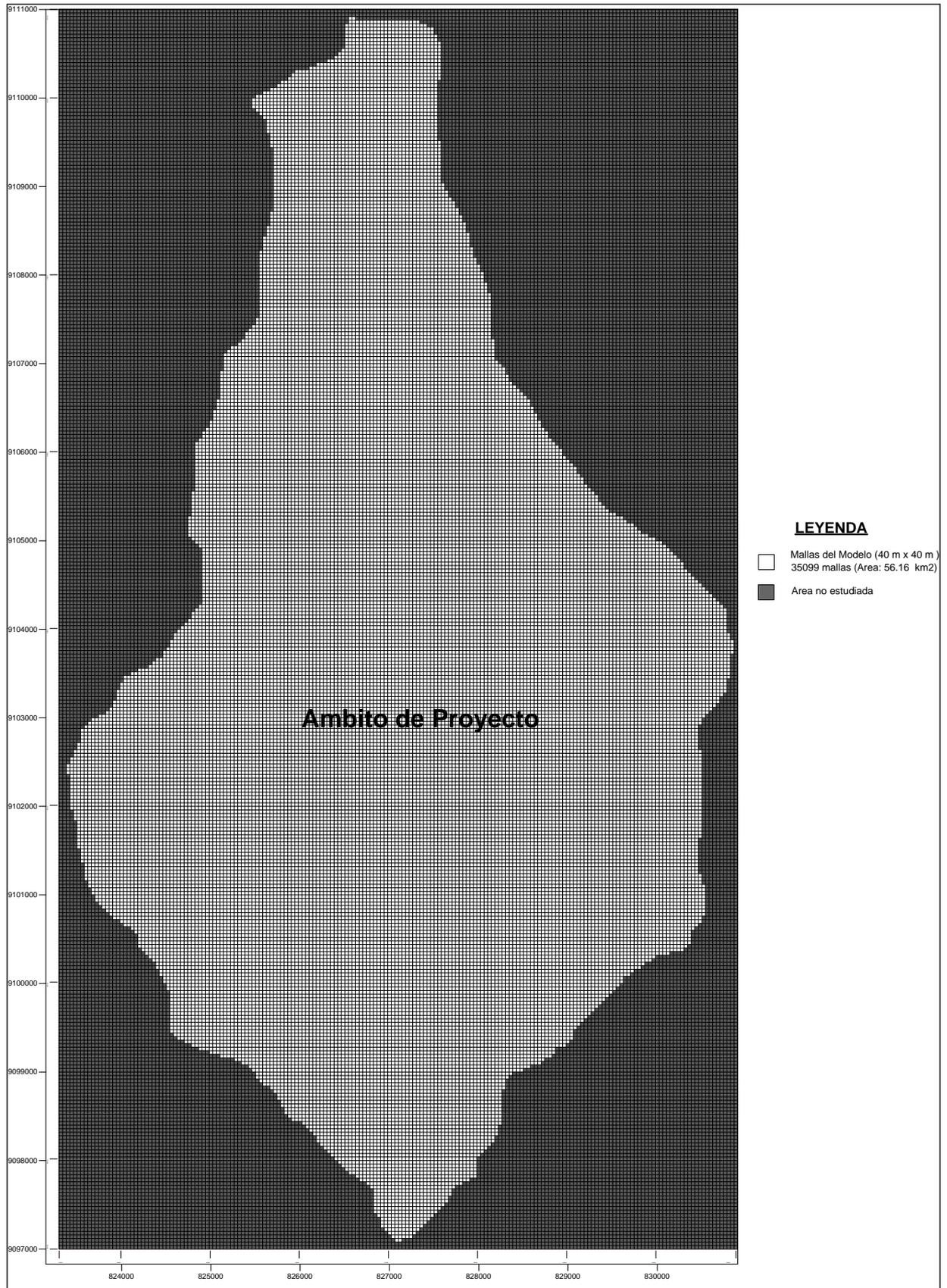


Figura N° 10: Discretización del sistema acuífero

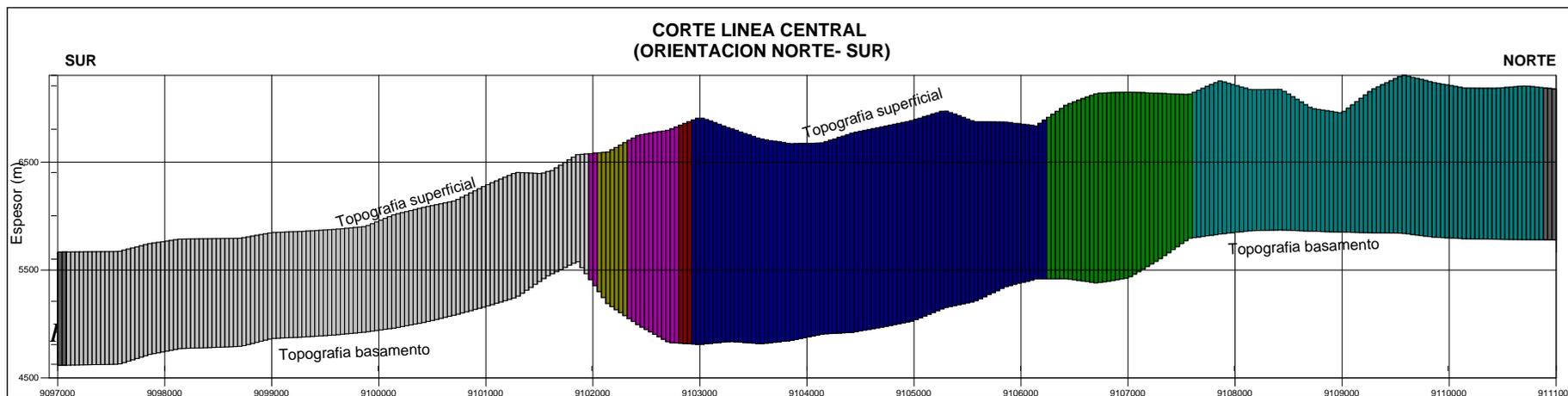


Figura N° 11: Unidades hidroestratigráficas del acuífero – Orientación Norte - Sur

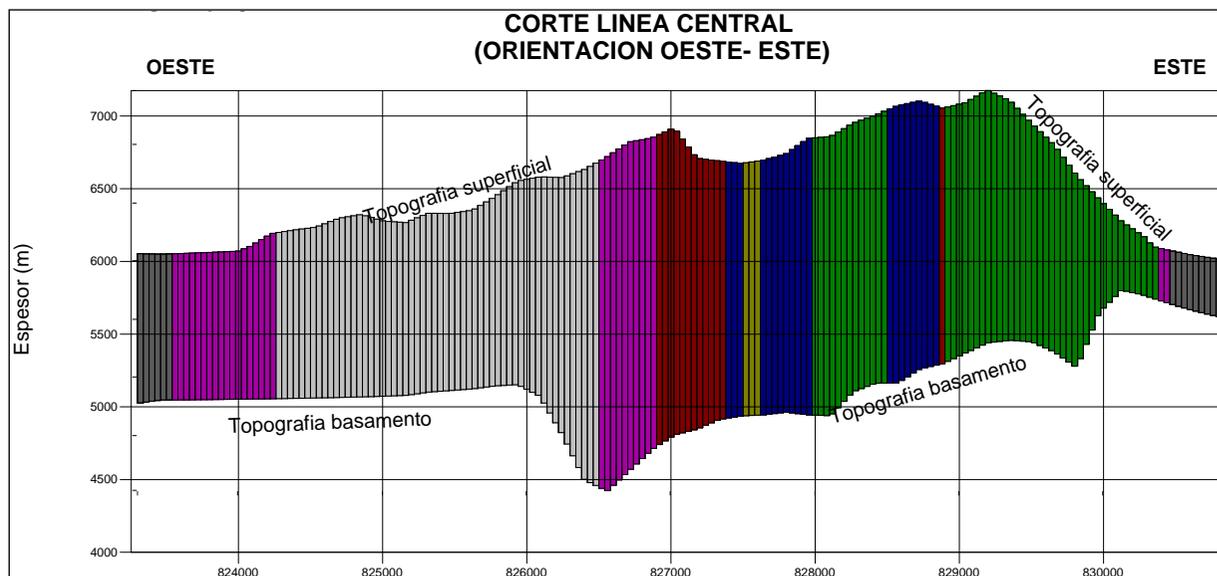


Figura N° 12: Unidades hidroestratigráficas del acuífero – Orientación Oeste-Este

5.8.6.3. Condiciones de frontera

Las condiciones de frontera son restricciones impuestas sobre las mallas del modelo a fin de representar la interrelación entre el modelo del acuífero y sus externalidades. Se han identificado tres tipos de condiciones de frontera (Piteu Engineering Latín América SAC, 2003).:

- La primera (i) condición de frontera de flujo especificado el mismo que corresponde a la intensidad de recarga del acuífero proveniente de las precipitaciones que ocurren durante el periodo Diciembre-Abril, y en los meses restante ocurre flujo subterráneo hacia las filtraciones proveniente de los acuíferos que almacenan y transmiten agua.
- La segunda (ii) condición de frontera del modelo corresponde al tipo 3, flujo dependiente de las cargas hidráulicas, las cuales básicamente ocurren a través de los afloramientos de agua durante todo el año, cuyas descargas varían acorde con la variación de las cargas hidráulicas que las alimentan. Así mismo son considerados en este tipo de condición de frontera el flujo de agua de un estrato a otro, principalmente flujo vertical descendente, en nuestro caso.
- La tercera (iii) condición de frontera corresponde a las cargas hidráulicas impuestas a los afloramientos de agua subterránea ubicados en los tajos Seductora ($\Phi=3318$) y Sacalla ($\Phi=3319$) El detalle de esta información se muestra en la Figura No. 13.

5.8.6.4. Parámetros de entrada del modelo

Conductividad hidráulica

Las conductividades hidráulicas de los acuíferos son determinados mediante la ejecución de pruebas hidráulicas a caudal constante o carga constante (Véase Tabla 5.37). Para el proyecto como primera aproximación se han asignado valores de conductividad hidráulica en el siguiente orden de magnitud.

Tabla N° 5.37: Valores de conductividad hidráulica asignados

FORMACION	MIEMBRO	PERMEABILIDAD (m/d)
Chimú	A	8.64e-4
	B	7.610
	C	41.47
	D	8.64e-1

Estos valores deberán ser verificados mediante las pruebas hidrodinámicas antes mencionadas, los cuales permitirán efectuar la calibración apropiada del modelo. La distribución espacial de las conductividades hidráulicas se muestra en Figura No. 14.

Rendimiento específico y coeficiente de almacenamiento

Acorde con las características expuestas en la estratigrafía, los rendimientos específicos varían entre 0.10 a 0.15, mientras que el almacenamiento específico se estima en $6.3e-5$ (1/m). (Ortiz, 2005).

5.8.7. Fuentes de agua

Las fuentes de agua subterránea estas constituidas por los afloramientos de agua inventariados durante los trabajos de campo. En el ámbito del acuífero estudiado se dispone de información de 97 afloramientos de agua, los cuales serán considerados como pozos de observación con el propósito de calibración del modelo. Las características técnicas de las fuentes se muestran en la Tabla N° 5.38. El periodo del inventario corresponde a Septiembre de 2007, estimamos que estas características son invariables durante los 31 días de septiembre, así mismo, por ser afloramientos de agua la cota del punto de observación coincide con la carga hidráulica. La sumatoria de los caudales estimados asciende a 77.59 L/s

La ubicación de los afloramientos de agua subterránea se muestra en la Figura. No. 15, mientras que el flujo de aguas subterráneas se muestra en la Figura No 16.

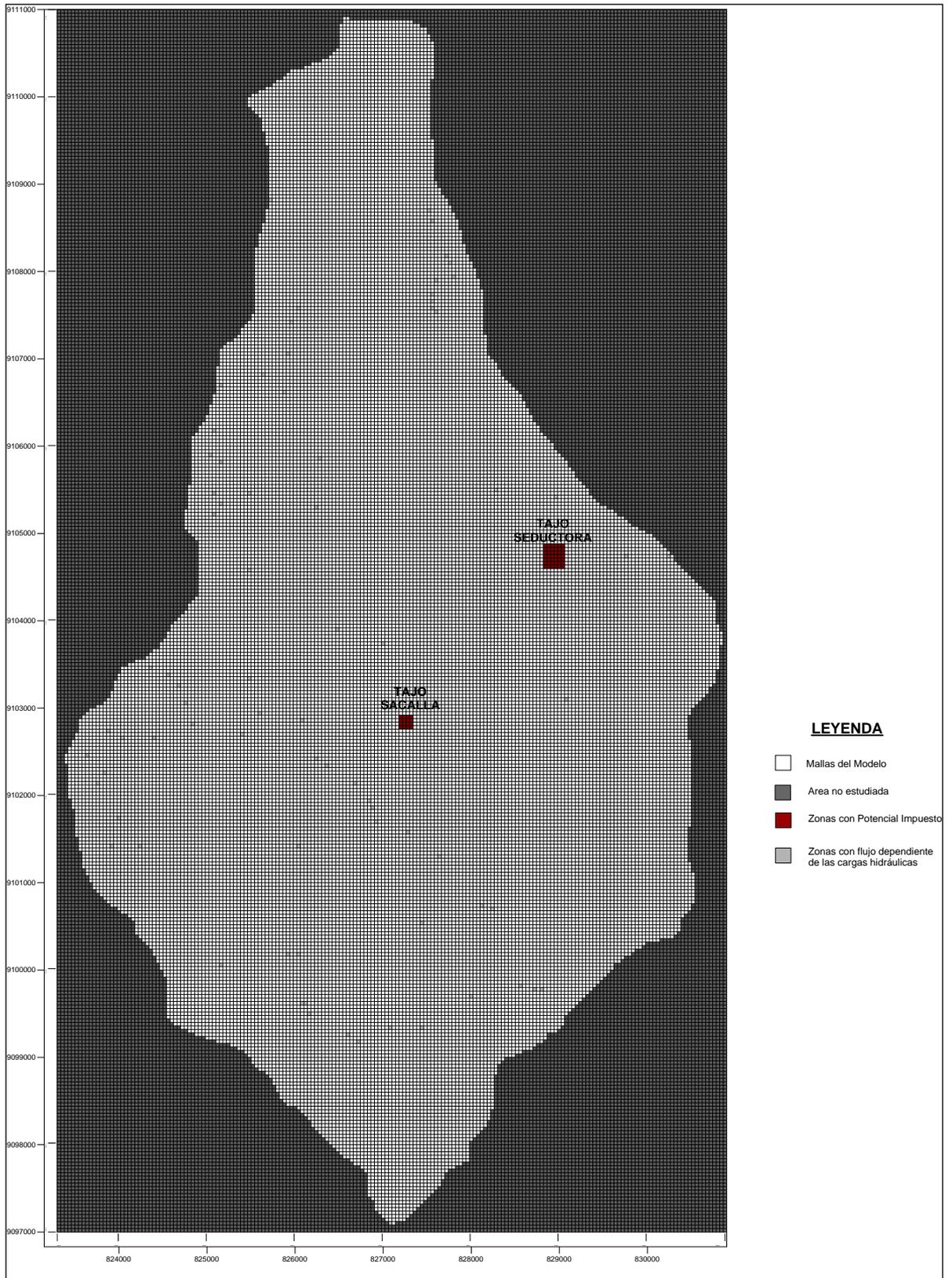


Figura N° 13: Condiciones de frontera del modelo

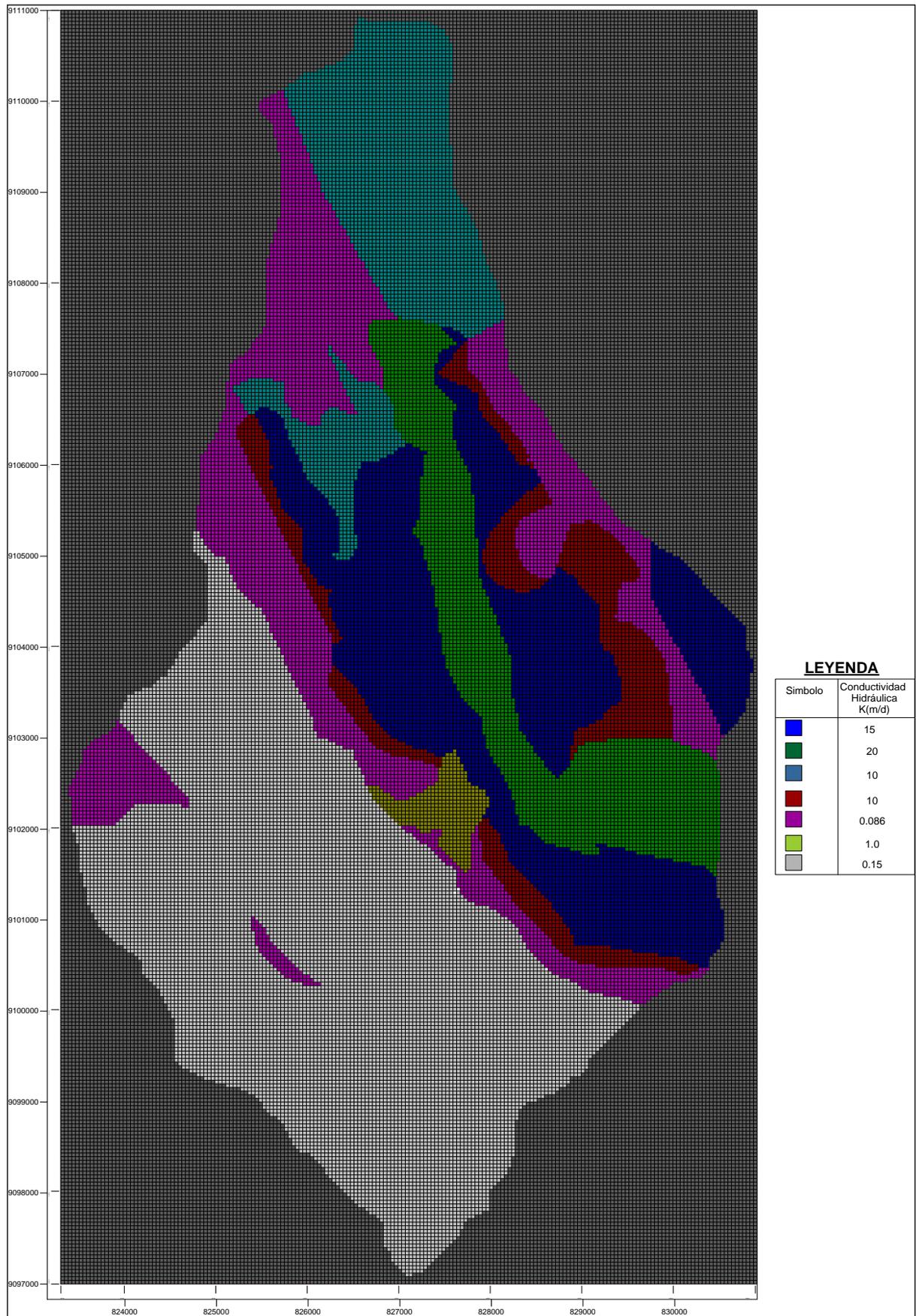


Figura N° 14: Variación espacial de la conductividad hidráulica

Tabla N° 5.38: Características de las fuentes de agua

WellName	Este	Norte	ScreenId	ScElev	ObsTime	Head	Q(l/s)	Tipo Fuente	Procedencia	Codigo
A8	827547	9107738	1	3423	31	3423	3.50	Manantial	subsuelo	CO-M8
A9	827559	9107660	1	3425	31	3425	0.25	Manantial	subsuelo	CO-M9
A10	827571	9107628	1	3424	31	3424	0.20	Manantial	subsuelo	CO-M10
A11	827568	9107600	1	3426	31	3426	2.00	Manantial	subsuelo	CO-M11
A12	827593	9107548	1	3430	31	3430	1.00	Manantial	subsuelo	CO-M12
A-25	830224	9104730	1	3149	31	3149	0.01	Manantial	subsuelo	CO-M15
A26	830331	9104656	1	3138	31	3138	0.02	Manantial	subsuelo	CO-M16
A-27	830400	9104624	1	3140	31	3140	5.00	Manantial	subsuelo	CO-M17
A30	828228	9100700	1	2990	31	2990	0.00	Poza	subsuelo	CO-M19
A31	828128	9100744	1	2990	31	2990	8.00	Manantial	subsuelo	CO-M20
A40	827260	9102714	1	3308	31	3308	0.00	Tajo Sacalla	subsuelo	CO-M22
A-42	826989	9103726	1	3364	31	3364	2.00	Bofedal	subsuelo	CO-M24
A43	826083	9102870	1	3115	31	3115	0.05	Manantial	subsuelo	CO-M25
A-41	826024	9102994	1	3214	31	3214	0.05	Manantial	subsuelo	CO-M26
A-40	825935	9103176	1	3180	31	3180	2.00	Manantial	subsuelo	CO-M27
A-34	825480	9105486	1	3138	31	3138	0.05	Manantial	subsuelo	CO-M29
A33	825887	9106636	1	3203	31	3203	0.05	Manantial	subsuelo	CO-M30
A32	825646	9106820	1	3170	31	3170	0.20	Manantial	subsuelo	CO-M31
A-31	825936	9107414	1	3210	31	3210	0.05	Manantial	subsuelo	CO-M32
A-30	826051	9107568	1	3146	31	3146	50.00	Riachuelo	subsuelo	CO-M33
A-26	825171	9106694	1	3084	31	3084	1.00	Manantial capta	subsuelo	CO-M34
A-24	825077	9106164	1	3088	31	3088	0.05	Bofedal	subsuelo	CO-M35
A-23	825036	9105886	1	3048	31	3048	0.05	Bofedal	subsuelo	CO-M36
A-22	825145	9105806	1	3011	31	3011	0.05	Bofedal	subsuelo	CO-M37
A-21	825178	9105556	1	3061	31	3061	0.00	Bofedal	subsuelo	CO-M38
A-20	825159	9105524	1	3054	31	3054	0.00	Manantial capta	subsuelo	CO-M39
A-18	825093	9105440	1	3058	31	3058	0.00	Bofedal	subsuelo	CO-M40
A-16	825146	9105326	1	3065	31	3065	0.00	Bofedal	subsuelo	CO-M41
A-15	825087	9105222	1	3053	31	3053	2.00	Manantial	subsuelo	CO-M42
P6	827417	9102156	1	3266	31	3266	0.00	Manantial	subsuelo	CO-M44
P2	827407	9102148	1	3265	31	3265	0.00	Manantial	subsuelo	CO-M45
P5	827376	9102086	1	3261	31	3261	0.00	Manantial	subsuelo	CO-M46
MHID-01	829005	9104152	1	3520	31	3520	0.00	Qda. Desaguad	subsuelo	CO-M47
MHID-02	828001	9104272	1	3491	31	3491	0.00	Qda. Maleta - D	subsuelo	CO-M48
MHID-07	827368	9101780	1	3237	31	3237	0.00	Manantial capta	subsuelo	CO-M49
MHID-08	827367	9101800	1	3237	31	3237	0.00	Manantial capta	subsuelo	CO-M50
MHID-10	827329	9102244	1	3278	31	3278	0.00	Bofedal	subsuelo	CO-M51
MHID-13	828403	9105368	1	3360	31	3360	0.00	Planta Cochava	subsuelo	CO-M52
MHID-15	828273	9105518	1	3345	31	3345	0.00	Manantial	subsuelo	CO-M53
MHID-19	827185	9103718	1	3370	31	3370	0.00	Manantial capta	subsuelo	CO-M56
MHID-21	829777	9104732	1	3202	31	3202	0.00	Qda. Desaguad	subsuelo	CO-M57
W-1	825493	9104580	1	3018	31	3018	0.01	Filtración	subsuelo	CO-M58

Los términos: Wellname (nombre de fuente), ScreenID (identificación del punto de observación, ScElev(altitud del punto de observación) ObsTime (periodo de observación) y Head (carga hidráulica), están acorde con el formato requerido por el Software

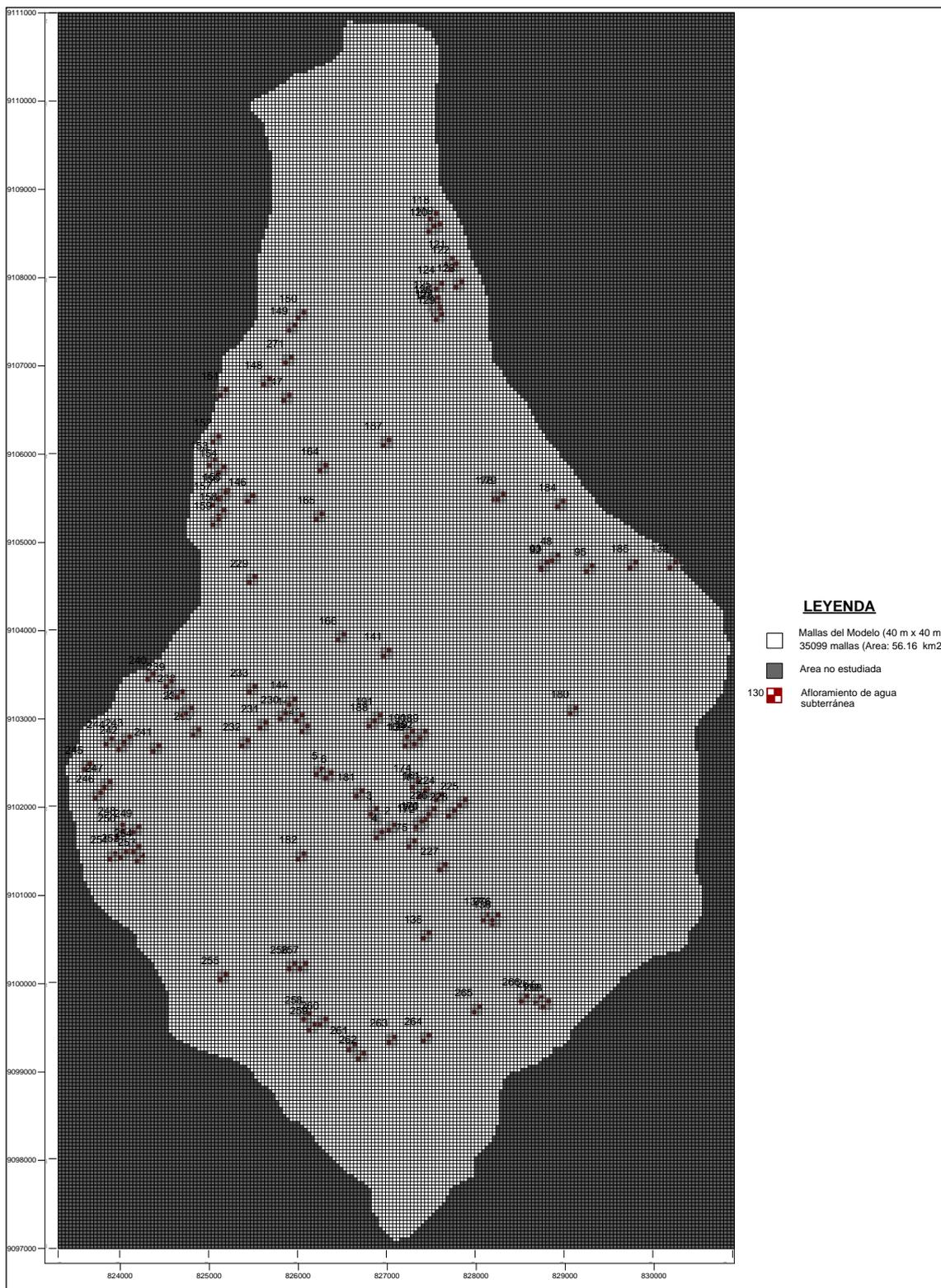


Figura N° 15: Ubicación de los afloramientos de agua subterránea

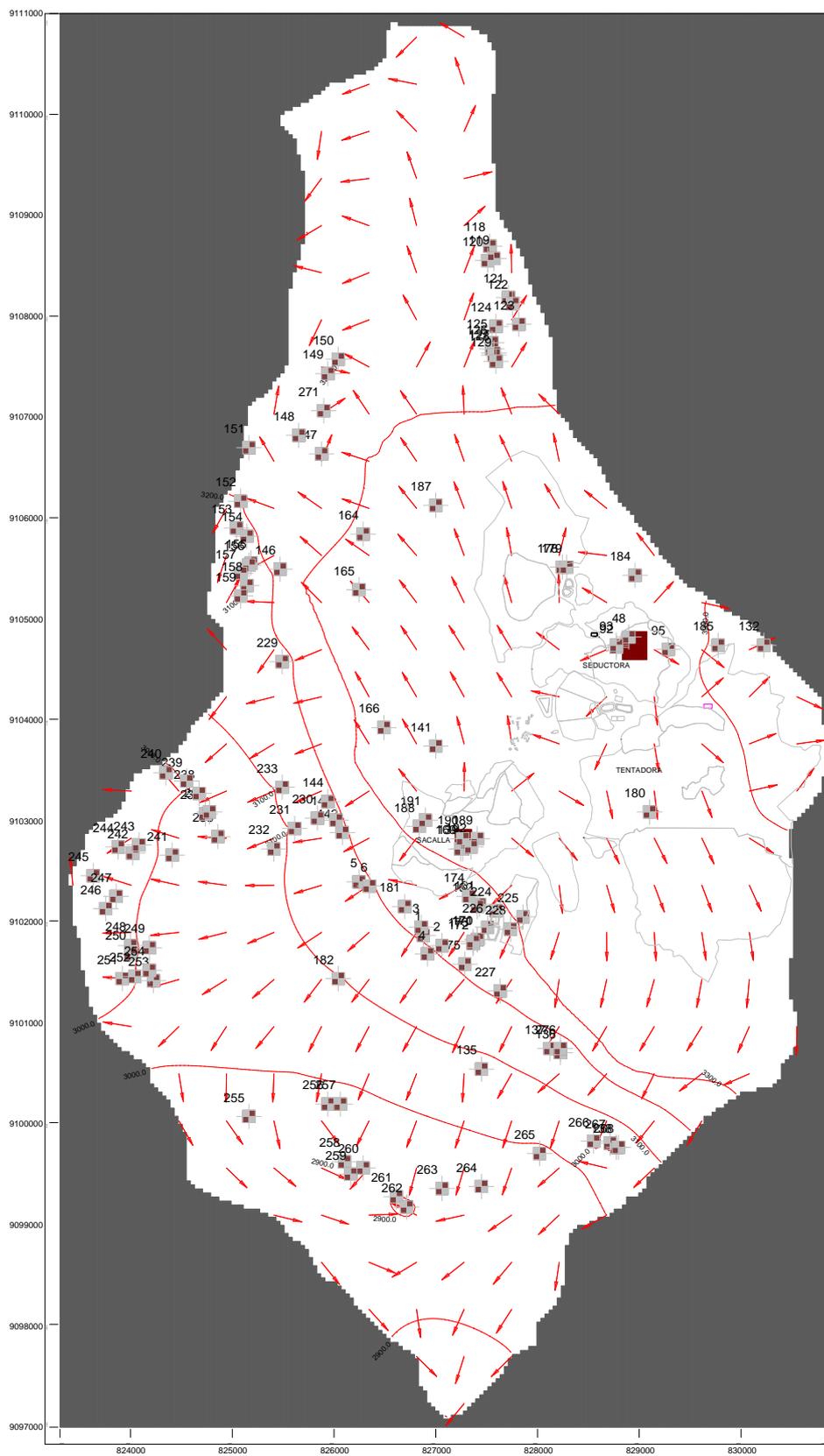


Figura N° 16: Dirección de flujo de aguas subterráneas

5.8.8. Modelo de régimen estacionario

El proceso de calibración del modelo en régimen estacionario ha consistido en minimizar las cargas observadas en las fuentes de agua subterránea y las calculadas por el modelo, mediante la modificación de la conductividad hidráulica inicialmente ingresada y la conductancia de los afloramientos de agua subterránea.

a) Resultados de la Calibración

El modelo ha sido calibrado en el mes de Agosto del 2007, mes en el que efectuaron las mediciones de los niveles de agua en los afloramientos de agua subterránea. En la Figura N° 17, se muestra la diferencia entre las cargas observadas y calculadas, cuantificadas mediante los estadísticos principalmente por la raíz media cuadrática normalizada igual a 9.706%, valor que se encuentran en el rango de los modelos apropiadamente calibrados, en modelos con pozos de observación superiores a 50, en este caso 83.

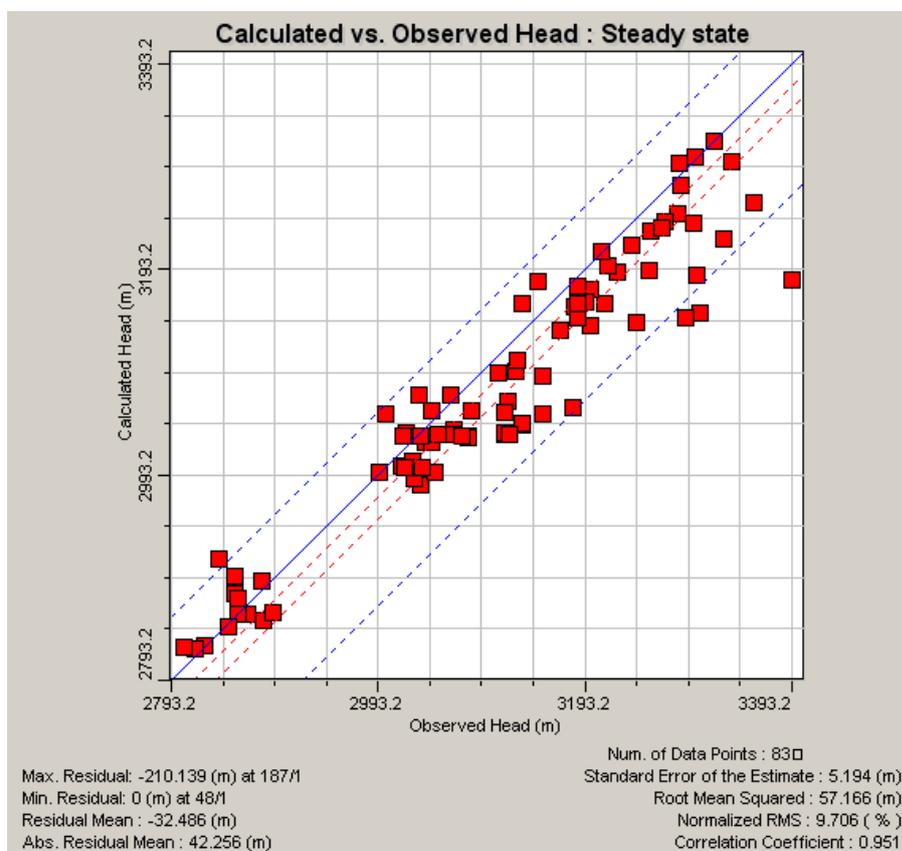


Figura N° 17: Cargas Calculadas y Observadas – Modelo en Régimen Estacionario

Las conductividades hidráulicas estimadas durante el proceso de calibración son:

Zona	K(m/d)
1	0.001
2	0.01
3	0.50
4	0.001
5	0.01
6	0.01

b) Balance de agua

La principal recarga de la zona proviene de las aguas precipitadas e infiltradas durante los periodos de lluvia. Para el mes de Agosto la recarga por lluvias es nula, consecuentemente las aguas aforadas en los afloramientos provienen de las aguas almacenadas en los espacios porosos del acuífero existente. Acorde con los resultados del modelo en régimen estacionario se ha estimado que el flujo de las reservas almacenadas en el medio poroso es 4018.84 m³/d (46.51 l/s), así mismo el caudal que fluye a través de los afloramientos ha sido estimado en 4026.86 m³/d (46.60 l/s), con 0.20% de error.

RECARGA:
 Constant Head = 4018.84 [m³/d]
 Total IN = 4018.84 [m³/d]
DESCARGA:
 Drains = 4026.86 [m³/d]
 Total OUT = 4026.86 [m³/d]
 IN - OUT = -8.02 [m³/d]
 Discrepancy = -0.20%

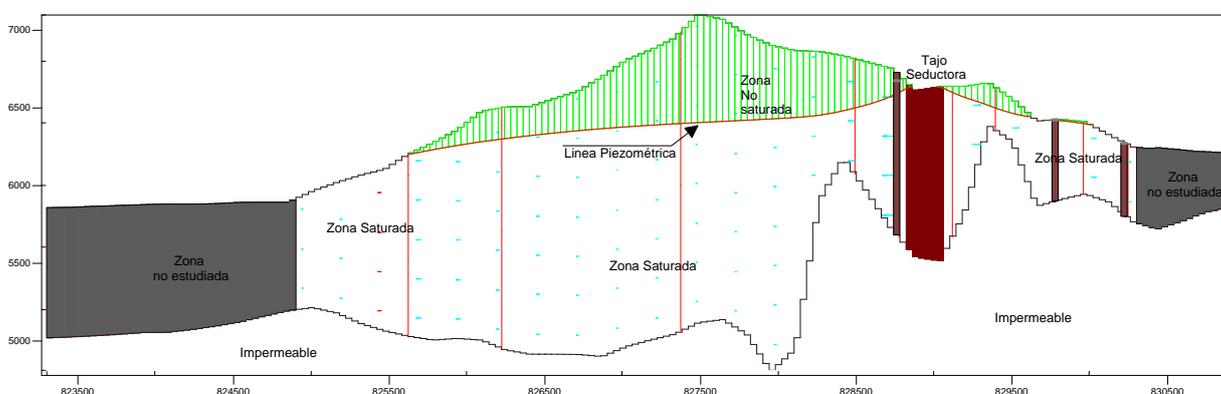


Figura N° 18: Sección Hidrogeológica Este - Oeste

En la Figura. N° 18, se muestra la línea piezométrica del agua subterránea, representativa del área de estudio, destacando que el flujo del agua subterránea ocurre en las direcciones Centro – Este y Centro – Oeste, ocurriendo afloramientos en las zonas terminales de las laderas.

5.8.9 Modelo en Régimen Transitorio

El modelo el régimen transitorio ha sido formulado a fin de conocer la variación temporal de las descargas a través de los afloramientos, debido a las intensidades de recarga estimadas en la sección hidrología del presente proyecto.

a) Periodos

El año ha sido dividido en 10 periodos, los primeros nueve periodos corresponde a los meses de Septiembre a Mayo con duraciones iguales al numero de días de cada mes e intensidades de recarga correspondientes. El décimo avo periodo corresponde a los meses Junio, Julio y Agosto con 92 días de tiempo de duración, tal como se detalla en el Tabla N° 5.39.

Tabla N° 5.39: Periodos e intensidades de recarga
Modelo en Régimen Transitorio

Mes	Recarga (mm/mes)	Días	Duración	Periodos
Ene	19.44	31	31	5
Feb	14.75	28	28	6
Mar	19.74	31	31	7
Abr	19.23	30	30	8
May	3.59	31	31	9
Jun	0	30		
Jul	0	31		
Ago	0	31	92	10
Sep	1.24	30	30	1
Oct	36.61	31	31	2
Nov	21.96	30	30	3
Dic	19.95	31	31	4
Total(mm/año)	156.51			

Recarga (mm/mes)= valor medio de 10 microcuencas de la zona

b) Variación de las cargas hidráulicas

La variación de las cargas hidráulicas a lo largo del año en promedio es de 4 cm a 6 cm, tal como se observa en la Figura. N° 19, los cuales han sido calculados por el modelo en régimen transitorio.

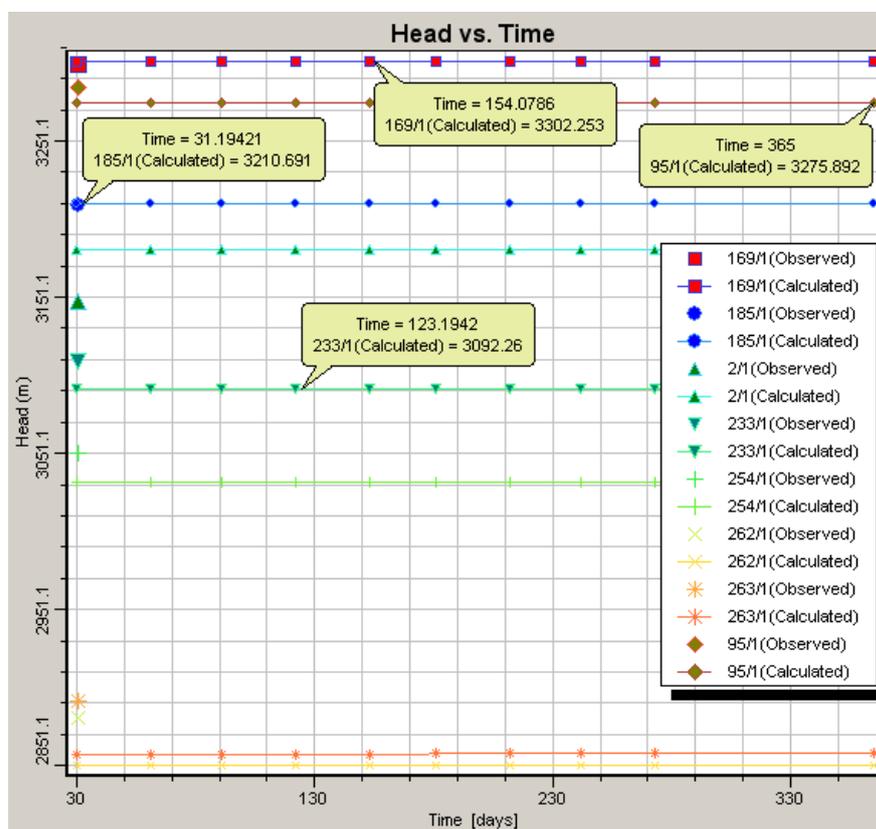


Figura N° 19: Variación de las cargas hidráulicas en los afloramientos de Agua Subterránea – Modelo Régimen Transitorio

c) Variación de las descargas de los afloramientos de agua subterránea

Los resultados del modelo en régimen transitorio, indican que las descargas de los afloramientos se incrementan acorde con las intensidades de recarga. Las descargas varían desde 47.60 l/s en estiaje hasta un máximo de 111.3 l/s, tal como se detalla en el Tabla N°.5.40 y Figura .N°.20.

Las reservas del reservorio acuífero, para 0.10 de rendimiento específico, ha sido estimado en 2206215.50 m³, el mismo que es dinámico y varía con las intensidades de recarga y periodos de tiempo

Tabla N° 5.40: Balance hídrico subterráneo
 Modelo en régimen Transitorio

Periodo	Recarga (l/s)	Descarga (l/s)	Vol. Recarga Acum. (m ³)	Vol. Descarga Acum. (m ³)
1	49.5	49.6	128174.51	128626.77
2	111.3	113.0	426460.09	424573.94
3	85.4	85.0	647781.88	644610.31
4	81.8	81.8	866831.50	863744.75
5	80.9	81.6	1083412.25	1077590.25
6	72.5	71.3	1258961.13	1251596.00
7	81.4	81.7	1476903.13	1470430.50
8	80.4	81.5	1685428.00	1679759.25
9	53.7	54.2	1829841.75	1824040.13
10	47.8	47.6	2211392.25	2206215.50

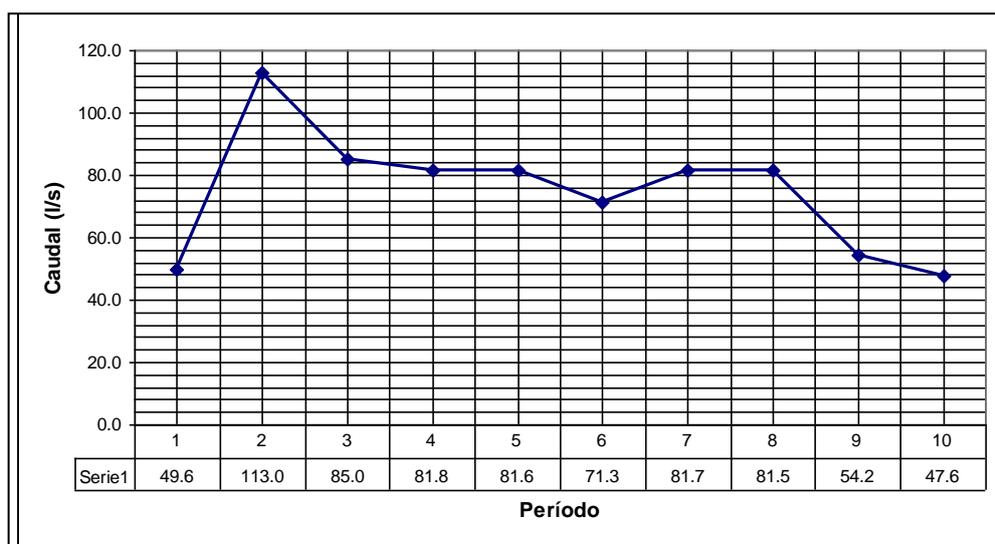


Figura N° 20: Fluctuaciones de los caudales de descarga de los afloramientos de agua.

CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

El trabajo realizado ha permitido llegar a diferentes conclusiones, las cuales trataremos por apartados para facilitar la comprensión de las mismas.

1. El relieve del terreno se ha evaluado en función de su gradiente, categorizándolo en rangos de pendientes que se manifiestan a través del relieve topográfico de despreciable a pronunciada.
2. El régimen de precipitaciones en el área estudiada es irregular, concentrándose el mayor volumen de lluvias durante los meses de Octubre a Abril (época húmeda), en los meses de Mayo a Septiembre en esta zona se reconoce como época seca.
3. La cartografía geológica revela la existencia de 5 formaciones geológicas. La que mayor superficie de afloramiento presenta es la formación Chicama que ocupa el 38 % del área estudiada y en segundo lugar la formación Chimú con un 35%.
4. El análisis de los alineamientos por fotointerpretación de una imagen Landsat TM7 muestra la existencia de 4 familias dentro de las que predomina N335°.
5. De la fotointerpretación de la Imagen Landsat TM7, con la combinación de bandas 731, se ha identificado 6 tipos de vegetación. Predominando en el mapa de vegetación los cultivos con una superficie de 1855 Has, que representa el 33% del área estudiada.
6. En la UMSR se han inventariado 270 puntos de agua de los cuales 94 son manantiales, 3 son pozos de observación de fugaz, 2 son piezómetros, 11 bofedales, 158 perforaciones RCD y 2 lagos en tajos que han cortado el nivel freático. En todos estos puntos se han determinado el nivel del agua subterránea.

7. La medida del nivel piezométrico en la zona donde se desarrolla la actividad minero-metalúrgica se encuentra entre 60-80 m de profundidad.
8. El mapa piezométrico muestra diferentes zonas de acuerdo al gradiente hidráulico, el cual presenta sus mayores valores en la zona sur (0,5- 0,4) seguidos del oeste con valores entre 0,2-0,4, en la zonas afectadas por las actividades mineras el gradiente hidráulico es entre 0,01-0,03. Estos altos valores unidos a la gran cantidad de manantiales y al grado de fractura muestran el bajo coeficiente de almacenamiento de estos materiales.
9. La morfología de la napa indica una zona de cresta muy similar a la topografía del terreno, donde la divisoria de las aguas subterráneas posiblemente coincida con el límite hidrológico, con una vertiente principal hacia las cuencas Ucumal y Angasmarca.
10. La actividad minera ha modificado considerablemente la red de drenaje superficial creando cuatro cuencas endorreicas: Tajo Sacalla (133 Has), Tajo Seductora (139 Has), Tajo tentadora (241 has) y Cochavara (117 Has) que permiten la acumulación del escurrimiento superficial y su infiltración directa al acuífero. En el caso de los dos primero el contacto entre las aguas subterráneas y el escurrimiento superficial es inmediato.
11. La actividad minera ha cambiado las condiciones de infiltración al crear los PAD ha impermeabilizado 80 Has.
12. Las actividades mineras de Comarsa ha afectado hasta el momento una superficie de suelo de 877 Has, que equivale al 15% del la superficie total de suelo que conforma el límite de estudio de la UMSR.
13. Los resultados de 21 análisis de agua muestran que de acuerdo a los componentes mayoritarios en la UMSR se pueden identificar tres tipos de agua: Bicarbonatadas magnesianas (2), Bicarbonatadas Clásicas (2), Bicarbonatadas Sódicas (17).

14. De acuerdo a la conductividad eléctrica (CE) se pueden apreciar un amplio rango de variación en las propiedades de las aguas entre 300 y 1800 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Los mayores valores se encuentran en la cuenca de la quebrada Hijadero. En segundo lugar se encuentran los valores de las aguas de los tajos con aguas ácidas (Sacalla, Seductora).
15. El drenaje ácido de minas en la zona esta representado por el agua acumulada en el fondo de los tajos Sacalla (pH=3.0) y Seductora (pH=3.8) y el material de ambos botaderos presentas lixiviados ácidos de menor cuantía. Hay que destacar que las concentraciones de metales medidas se encuentra por debajo de los niveles permitidos para el vertido de efluentes mineros.
16. De acuerdo con los resultados de las pruebas de permeabilidad y la caracterización geológica en la UMSR se diferencian dos unidades acuíferas de importancia: Acuífero fisurado Formación Chimú y acuífero cárstico formación Inca Chulec. Esto muestra como son las dos formaciones las que representan el 72% de la superficie Estudiada.
17. En todos los casos, la permeabilidad de los acuíferos, está controlada mayoritariamente por el fracturamiento de las rocas, siendo la formación Chimú la más permeable.
18. De acuerdo a las observaciones de campo y las características de la zona se a podido comprobar que la recarga de las aguas subterráneas dependen directamente de las precipitaciones atmosféricas.
19. El modelo numérico (ModFlow) empleado reproduce coherentemente las direcciones de flujo subterráneo y el mapa de piezometría del la UMSR (Figura 15).
20. El sistema acuífero ha sido discretizado mediante mallas cuadradas con medidas $\Delta x = 40 \text{ m}$ y $\Delta y = 40 \text{ m}$, haciendo un total de 350099 mallas los cuales cubren 56.1584 Km^2 de superficie. El acuífero ha sido conceptualizado monocapa, teniendo en consideración lo fracturado de las formaciones geológicas identificadas, las cuales se encuentran interconectadas.

21. Los resultados del modelo en régimen estacionario nos indican que el flujo estimado de las reservas almacenadas en el medio poroso es 4018.84 m³/d (46.51 l/s), así mismo el caudal que fluye a través de los afloramientos ha sido estimado en 4026.86 m³/d (46.60 l/s), con 0.20% de error.
22. En el modelo de flujo en régimen transitorio, se han tomado en consideración las recargas y el rendimiento específico igual a 0.10, variando las descargas de los afloramientos desde un mínimo de 47.60 l/s hasta un máximo de 111.30 l/s. Así mismo, las reservas estimadas del reservorio acuífero ascienden a 2206215.50 m³ (2.206MMC).
23. La metodología empleada ha permitido trabajar con diferentes capas de información que ha facilitado su exportación al Sistema de Información Geográfica y que consideramos es de utilidad para el desarrollo de este tipo de trabajos en otras zonas.
24. El Sistema de Información Geográfica ha sido de gran utilidad para obtener el coeficiente de escurrimiento para las diferentes microcuencas del área de estudio, tomando como base los parámetros de uso de suelo, vegetación y pendiente.

6.2. Recomendaciones

1. Considerando el volumen de estériles acumulados en la zona se recomienda realizar una disminución de la pendiente que evite su erosión y con ello el aporte de sedimentos a la cuenca del río Angasmarca.
2. Sería aconsejable completar la instrumentación de la estación climatológica Santa Rosa con un evaporímetro , con la finalidad de obtener datos reales para el diseño de estructuras hidráulicas.
3. Establecer un programa de monitoreo de aguas superficiales y subterráneas, consistente en la instalación de vertederos y secciones de aforo, monitoreo periódico de caudales y de calidad del agua, incluyendo el monitoreo de manantiales y bofedales selectos.

4. Para completar esta información con vistas a dar un paso más en el conocimiento será necesario desarrollar un programa de investigaciones hidrogeológicas que incluya 22 ubicaciones para perforación, obtención de datos hidráulicos e hidroquímicos. Un aspecto adicional sería conjuntamente con esto monitorear la composición química del agua de lluvia lo que permitirá precisar el valor de la recarga.

5. Se deberán realizar evaluaciones hidrogeológicas locales en las microcuencas el Aliso, Cruces y Cementerio de la zona este, y Pashagón, Senegavara, Loma Colorada, y bellota en el sector oeste, que permitan aclarar con mayor precisión las condiciones hidrogeológicas de este territorio, y seguir ampliando los campos informativos de la base de datos que soporta el mapa.

6. Los nuevos trabajos que se ejecuten deben de estar soportados por las herramientas de la geomatica, con la cuales hacen análisis más profundos y con mayor precisión y rapidez.

7. Lo anteriormente expuesto permitirá elaborar en un nuevo modelo numérico de alta fiabilidad, así como poder hacer diferentes tipos de análisis estadístico de la información obtenida como es el análisis experimental, componentes principales, etc.

CAPITULO 7

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aronoff, S. (1989). *Geographic Information Systems: A management perspective*. WDL Publications, Ottawa (Canadá). 293pp.
- Baquero, J.C. y Fernández, R.R. (2007). *Hidrogeología Minera y Ambiental: Síntesis de Conceptos Fundamentales*. Master Internacional “Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Minerales” (UE/Programa Alfa II-0459-FA). Universidad Politécnica de Madrid. Madrid. 233 pp.
- Bermúdez S. A.(2006). *Estudio de Aguas Acidas. Caracterización y Orígenes en la Quebrada Sacalla*. Lima.
- Braga, R.R. y Clark, W.A.V. (1964). “The concept of shape in geography”. *Geographical review* (54): 561-572.
- Burrough, P.A. y McDonnell, A. (1989). *Principles of Geographical Information systems*. Ed. Oxford University Press. Oxford.
- Cadena, C. (1998). *Manual para el diseño de redes de drenaje pluvial: El escurrimiento superficial*. San Antonio de Texas. Disponible en:<http://www.rcadena.com/indexbak.htm> .[Último acceso 20 de febrero de 2008].
- CESEL Ingenieros SA. (2006). *Plan de Cierre de la Unidad Minera Santa Rosa (COMARSA)*. Lima.
- Chiang, W. y Kinzelbach, W. (1998). *Processing Modflow : A Simulation System for modelling Groundwater, flow and pollution*. Hamburg-Zurich. 327 pp.
- Del Pozo, M. (2000). *La Cartografía Hidrogeológica en el ITGE: evolución, presente y futuro*. Boletín Geológico y Minero. Volumen 111. I.T.G.E. 107-115.
- Erhan, S., Aysen, D., Mehemte, O. (2005). *An integration of GIS and remote sensing in groundwater investigations: a case study in Burdur, Turkey*. *Hydrogeology Journal* 13, p.826-834.
- Estrela, T. (1994). *Los SIG en hidrología*. En: T. Estrela y I. Quintas (Eds), *curso sobre utilización sobre los Sistemas de Información Geográfica en hidrología*, CEDEX, MOPTA, Madrid.
- Felicísimo, A.M. (1994). *Modelos digitales del terreno. Introducción y aplicaciones en las ciencias ambientales*. Disponible en: <http://www.etsimo.uniovi.es/~feli/Data/Datos.html> . [Último acceso: 15 enero de 2008].

- Fetter, C. W. (2001). Applied Hydrogeology. Prentice-Hall, 4ª ed-, 598 pp.
- Galofré, A. (1983). Mapas Hidrogeológicos, in Hidrología Subterránea. (E. Custodio y R. Llamas editores). Tomo 2, pp. 1545-1557. Omega. Barcelona.
- Gravelius, H. (1914). Flusskunde, band 1. Berlin and Leipzig: F.G. Goschenesche Verlagshandlung . Disponible en: <http://tecrenat.fcien.edu.uy/cuencas>. [Último acceso 17 de febrero de 2008].
- INRENA: Instituto Nacional de Recursos Naturales. (1995). Mapa Ecológico del Perú.Lima.
- IST: Istituto Scienze della Terra (2008). Documentazione. Disponible en: <http://www.supsi.ch/index.php/>. [Último acceso, 12 marzo de 2008].
- Jacay, J. (2000). Estratigrafía y su relación con la mineralización en el distrito minero de Santa Rosa. Rep. Int. COMARSA 10 pp.
- Jat, M. K., Garg, P.K., Khare, D. (2007). Monitoring and modelling of urban sprawl using remote sensing and GIS techniques. Disponible en: www.elsevier.com/locate/jag. [Último acceso, 25 marzo de 2008].
- Lain, H. (2002). Los Sistemas de Información Geográfica en la gestión de los Riesgos Geológicos y en le Medio Ambiente. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid. 288 pp.
- Lantada, N. y Nuñez, A. (2002). Sistemas de Información Geográfica. Practicas con ArcView. Edicions UPC, Barcelona. 226 pp.
- Llorente, M. (2007). Guía de prácticas de laboratorio con un SIG. Master Internacional “Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Minerales” (UE/Programa Alfa II-0459-FA). Universidad Politécnica de Madrid. Madrid. 55 pp.
- Maidment, D. R. (2007). Spatial Analysis in Hydrology, GIS in Water Resources. Disponible en: <http://www.ce.utexas.edu/prof/maidment/giswr2007/giswr2007.htm> [Ultimo acceso: 20 febrero de 2008].
- National Center for Geographic Information and Analysis (1990). Disponible en: www.ncgia.ucsb.edu/pubs/pubslst.html [Último acceso: 05 enero de 2008].
- Martínez, V. (1999). Simulación y comprobación experimental de la escorrentía superficial en pequeñas cuencas no aforadas mediante modelos distribuidos implementados sobre S.I.G., Tesis Doctoral, Dpto. de Construcción y Vías Rurales, U.P.M.
- Mijailov, L. (1989). Hidro-Geología. Edición Mir, Moscú. 284 pp.
- Ortiz, R.E. (2005). Estudio hidrogeológico del proyecto Minero manantial Espejo-Provincia de Santa Cruz, Argentina. Tesis de grado. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima. 177 pp.

- Piteu Engineering Latin America S.A.C. (2003). Evaluación Hidrogeológica del tajo abierto: Proyecto Alto Chicama. Minera Barrica Misquichilca S.A. Lima, Perú.
- Robles, V.M. (2007). Caracterización Hidrogeológica de la Sierra de Cartagena-La Unión (SE de la península Ibérica). Impacto de la Minería Abandonada sobre el medio Hídrico., Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona. 161 pp.
- Sanchez, F. J. (2004). Hidroquímica. Conceptos fundamentales Disponible en: <http://web.usal.es/~javisan/hidro>. [Último acceso: 14 Marzo de 2008].
- Steve, S., Douglas, ., Liou, W. (1995). Accuracy of landsat-TM and GIS rule-based methods for forest wetland classification in Maine. Disponible en: <http://login.oaresciences.org/> [Último acceso: 07 febrero de 2008].
- Tovar J, Julio. (1999). Estudio Hidrogeológico de Impacto Ambiental para la Ampliación de la Unidad de Producción Santa Rosa
- Vector Perú S.A.C. (2004). Diseño de Pad de lixiviación No 14. mina Santa Rosa. Elaborado para la Compañía minera aurífera Santa Rosa S.A.
- Ven, T. CH. MAIDMENT D. R. y L. W. MAYS. 1993. Hidrología Aplicada. Edit. Mc GraW-Hill. Colombia.
- Vrba, J. Y Zaporozec, A. (Ed.). (1994). Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability. Vol 16. IAH. Verlag Heinz Heise. Hannover. 131 p.
- word, W. W.(1981). Techniques of Water Resources Investigations of the United States Geological Survey: Guideline for collection and field analysis of ground-water samples for selected unstable constituents. 2^a ed. Disponible en: <http://pubs.usgs.gov/twri/twri1-d2/> [Último acceso: 18 febrero de 2008].
- Zweig, W. (2002). Information Technology & e-Business Survey of Architecture, Engineering, Planning & Environmental Consulting Firms. Chapter 6. Washington D.C.

ANEXO A

DATOS METEOROLOGICOS DE LAS ESTACIONES CERCANAS A LA UNIDAD MINERA SANTA ROSA

Tabla A3-1: Registro de temperatura media mensual - estación meteorológica Santa Rosa

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)
Información Histórica

Estación: Comarsa

PERIODO: 2005 2007

Nº	AÑO	MES												MEDIA ANUAL
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
1	2005	9.12	9.75	8.76	10.16	9.92	9.93	10.11	9.62	9.70	8.83	9.22	7.99	9.42
2	2006	8.70	8.93	8.80	8.55	9.27	9.40	9.94	9.86	9.02	9.31	9.09	8.96	9.15
3	2007	8.91	9.34	8.78	9.35	9.60	9.71	9.95	9.69	9.41	8.94	9.10	8.62	9.28
Nº de Años		3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	3
TMM Máxima		9.12	9.75	8.80	10.16	9.92	9.93	10.11	9.86	9.70	9.31	9.22	8.96	9.42
TMM Media		8.91	9.34	8.78	9.35	9.60	9.68	10.00	9.73	9.38	9.02	9.13	8.52	9.29
TMM Mínima		8.70	8.93	8.76	8.55	9.27	9.40	9.80	9.60	9.02	8.70	9.00	7.99	9.15

Tabla A3-2: Registro de humedad relativa media mensual - estación meteorológica Santa Rosa

HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL (%)
Información Histórica

Estación: Comarsa

PERIODO: 2005 2006

Nº	AÑO	MES												TOTAL ANUAL
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
1	2005	71.5	78.5	84.5	74.3	50.0	53.4	38.7	47.9	53.0	66.7	46.8	34.5	58.3
2	2006	74.1	83.4	86.3	77.4	61.3	60.9	42.6	53.2	60.0	56.9	65.9	78.2	66.7
Nº de Años		2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	
HR Máxima		74.1	83.4	86.3	77.4	61.3	60.9	42.6	53.2	60.0	66.7	65.9	78.2	58.3
HR Media		72.8	80.9	85.4	75.8	55.6	57.2	40.6	50.5	56.5	61.8	56.4	56.4	62.5
HR Mínima		71.5	78.5	84.5	74.3	50.0	53.4	38.7	47.9	53.0	56.9	46.8	34.5	60.4

 Meses húmedos

 Meses secos

Tabla A3-3: Registro de evaporación total mensual (mm)- estación meteorológica Huamachuco
Información Histórica

Estación: Huamachuco		PERIODO: 1965 2001												
Nº	AÑO	MES												TOTAL ANUAL
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
1	1965	64.60	42.80	36.20	40.60	60.60	77.40	109.70	122.30	81.10	71.60	98.60	71.10	876.60
2	1966	71.50	46.30	49.50	49.50	93.30	112.30	120.00	134.20	102.20	50.20	77.60	91.40	998.00
3	1967	54.70	47.30	56.10	90.40	86.80	112.10	123.30	135.30	134.80	73.90	133.00	104.50	1.152.20
4	1968	81.70	64.50	63.40	102.30	106.20	135.40	131.90	112.80	66.40	71.70	103.00	95.70	1.135.00
5	1969	126.90	75.40	78.50	62.40	112.80	94.90	144.10	130.30	85.30	45.80	20.90	11.70	989.00
6	1970	12.20	12.40	68.00	60.90	70.20	99.20	108.80	152.10	114.20	91.90	63.50	69.50	922.90
7	1971	78.40	65.20	39.70	51.10	62.80	82.20	114.30	108.50	99.00	75.40	97.80	70.90	945.30
8	1972	72.60	86.10	43.30	52.00	68.60	97.30	134.40	127.50	117.00	122.20	118.40	96.50	1.135.90
9	1973	71.30	65.00	53.30	43.90	67.80	84.20	105.70	122.20	91.80	77.00	85.20	79.40	946.80
10	1977	52.70	46.80	77.20	71.80	86.10	107.90	99.10	151.00	133.60	109.00	77.00	81.10	1.093.30
11	1978	113.10	71.30	106.50	76.20	83.20	126.40	117.90	157.50	107.30	112.80	96.50	86.20	1.254.90
12	1979	82.60	41.50	44.30	71.20	84.70	136.20	133.20	127.20	97.60	147.50	127.60	134.40	1.228.00
13	1980	94.30	85.40	94.10	104.30	118.60	146.40	167.70	155.60	180.00	66.50	56.30	67.40	1.336.60
15	1982	64.80	65.10	64.20	72.00	67.00	87.10	110.90	127.40	89.40	59.80	66.90	49.70	924.30
16	1983	57.40	66.90	50.20	50.40	63.70	82.30	102.60	114.10	97.20	79.70	79.20	51.00	894.70
17	1984	79.10	31.60	43.40	48.60	52.10	61.70	90.50	105.70	94.50	78.30	109.80	72.50	867.80
18	1985	90.80	60.50	74.00	67.30	79.90	121.70	115.30	115.00	89.70	102.30	107.20	62.70	1.086.40
19	1987	47.10	59.40	73.20	63.10	83.60	108.70	110.40	128.60	93.20	124.00	55.40	61.10	1.007.80
20	1988	41.80	39.30	54.90	41.90	58.90	81.50	114.80	120.00	82.10	58.20	60.00	56.40	809.80
21	1989	34.90	28.20	34.90	41.10	82.90	73.00	109.20	111.70	66.40	50.50	78.30	103.00	814.10
22	1990	100.50	41.20	59.10	57.10	81.50	77.80	111.20	133.60	98.90	46.80	54.40	106.10	968.20
23	1996	28.00	13.30	23.90	14.50	24.50	38.40	43.00	39.00	31.90	19.90	30.30	41.80	348.50
24	1997	31.00	20.00	17.30	12.50	37.00	55.40	47.00	43.70	47.20	52.20	33.20	21.70	418.20
25	1998	14.00	10.90	17.60	11.80	19.00	40.40	53.80	22.60	27.00	24.00	36.70	30.60	308.40
26	1999	23.40	7.40	15.10	11.20	16.00	29.10	41.90	38.10	27.20	29.20	35.50	54.80	328.90
27	2000	70.20	22.80	11.80	25.30	23.90	31.80	31.00	23.70	14.30	17.70	29.00	24.60	326.10
28	2001	16.60	19.90	19.30	39.80	26.10	41.30	35.30	45.00	32.00	38.70	23.90	26.40	364.30
Nº de Años		28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	

Información Histórica

Estación: **Huamachuco**

PERIODO: **1965 2001**

ETM Maxima	126.90	86.10	106.50	104.30	120.40	146.40	167.70	157.50	180.00	147.50	133.00	134.40	1.336.60
ETM Media	62.08	45.80	50.70	53.08	67.33	86.74	101.00	107.58	85.23	70.25	72.41	67.49	869.70
ETM Minima	12.20	7.40	11.80	11.20	16.00	29.10	31.00	22.60	14.30	17.70	20.90	11.70	308.40

Tabla A3-4: Registro de evaporación total mensual - estación meteorológica Santiago de Chuco

Información Histórica

Estación: **Santiago de Chuco**

PERIODO: **1967 1986**

Nº	AÑO	MES												TOTAL ANUAL
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
1	1967	54.50	39.20	44.40	89.20	109.50	154.00	167.60	183.50	185.20	93.10	183.10	145.80	1.449.10
2	1968	107.50	89.00	68.30	134.50	162.10	193.50	188.10	188.50	157.60	142.70	181.00	161.00	1.773.80
3	1969	145.40	81.80	44.10	73.00	158.20	156.60	242.10	179.60	213.10	143.60	106.80	75.60	1.619.90
4	1971	75.90	59.00	22.40	54.00	120.50	115.00	156.70	123.10	111.50	75.70	110.50	68.10	1.092.40
5	1972	56.80	56.80	27.70	61.70	103.30	133.40	183.80	151.60	157.50	135.90	131.70	94.30	1.294.50
6	1973	62.20	61.60	36.80	43.00	77.90	109.90	146.10	147.40	95.80	71.30	82.70	65.30	1.000.00
7	1974	62.00	29.80	37.60	75.20	120.20	97.70	171.40	159.80	111.60	103.50	100.00	85.70	1.154.50
8	1975	66.60	33.90	33.30	51.40	88.70	125.60	156.10	135.30	95.70	88.00	104.50	107.40	1.086.50
9	1976	32.70	38.70	48.40	73.10	106.10	126.40	214.00	161.90	150.60	139.30	130.70	99.40	1.321.30
10	1977	52.60	30.00	55.50	71.10	109.00	146.30	158.80	159.60	141.90	40.60	90.10	89.70	1.145.20
11	1978	97.70	68.80	81.60	72.30	109.20	166.00	159.80	181.60	101.80	132.80	103.10	109.50	1.384.20
12	1979	98.10	58.30	39.60	87.20	113.40	166.70	129.00	122.40	107.40	153.70	138.60	136.40	1.350.80
13	1980	82.10	83.50	90.50	109.90	132.40	172.40	179.20	169.70	160.50	64.70	75.00	90.00	1.409.90
14	1981	75.90	26.40	43.50	75.10	131.60	161.20	176.40	87.80	158.60	78.10	90.50	59.30	1.164.40
15	1986	55.80	46.70	54.70	47.30	102.50	133.30	135.90	117.50	126.50	132.70	102.30	79.00	1.134.20
Nº de Años	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	
ETM Maxima	145.40	99.00	90.50	134.50	162.10	193.50	242.10	188.50	213.10	153.70	183.10	161.00	1.773.80	
ETM Media	75.05	53.57	48.56	74.53	116.31	143.87	171.00	151.29	138.35	106.38	115.37	97.77	1.292.05	
ETM Minima	32.70	26.40	22.40	43.00	77.90	97.70	72.70	87.80	85.90	40.60	75.00	59.30	1.000.00	

Tabla A3-5: Registro de viento promedio mensual - estación meteorológica Santa Rosa

Fuente: Estación meteorológica COMARSA

MES	AÑO 2005			AÑO 2006			AÑO 2007		
	Velocidad del viento promedio Km/h	Velocidad del viento máxima Km/h	Dirección del viento prevalente	Velocidad del viento promedio Km/h	Velocidad del viento máxima Km/h	Dirección del viento prevalente	Velocidad del viento promedio Km/h	Velocidad del viento máxima Km/h	Dirección del viento prevalente
Enero	5.9	49.9	S	5.9	56.3	SSE	4.4	51.5	SE
Febrero	6.2	59.5	SSE	6.1	33.8	SSE	4.7	35.4	SE
Marzo	5.3	46.7	SSE	6.5	43.5	SSE	4.4	54.7	NNE
Abril	5.2	49.9	SSE	4.4	35.4	SSE	4.1	40.2	NNE
Mayo	5.1	67.6	SSE	4.4	51.5	SE	3.5	48.3	SSE
Junio	5.5	59.5	SSE	5.2	49.9	NE			
Julio	7.4	57.9	N	7.1	77.2	NNE			
Agosto	6.8	61.2	N	5.3	56.3	N			
Setiembre	7.0	61.2	SSE	4.1	75.6	SE			
Octubre	4.9	43.5	SSE	4.4	66.0	SE			
Noviembre	6.2	59.5	SSE	2.3	56.3	SE			
Diciembre	5.6	45.1	SSE	5.2	45.1	SE			
	5.9	67.6	SSE	5.1	53.9	SE	4.2	46.0	SE

Veloc. Viento prom (Km/hr)	Veloc. Viento máx(Km/hr)	Dirección del Viento	Veloc. Viento prom (Km/hr)	Veloc. Viento máx(Km/hr)	Dirección del Viento	Veloc. Viento prom (Km/hr)	Veloc. Viento máx(Km/hr)	Dirección del Viento
5.9	67.6	SSE	5.1	53.9	SE	4.2	46.0	SE

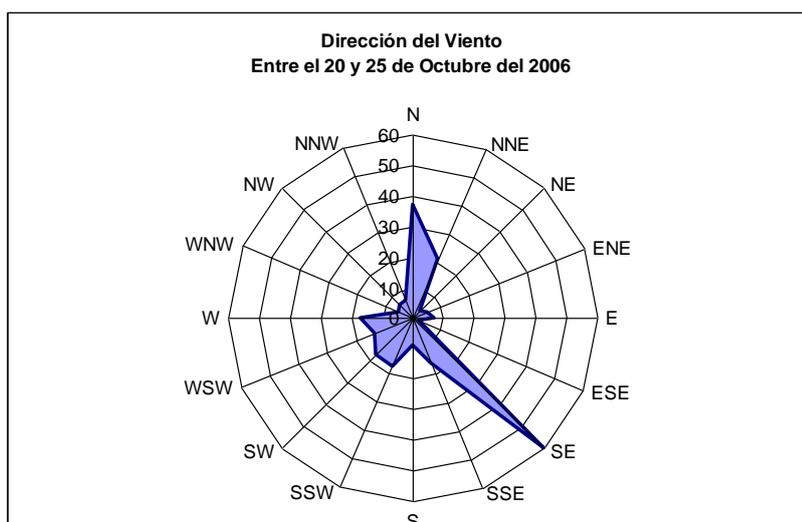


Tabla A3-6: Registro de precipitación total mensual - estación meteorológica Santa Rosa

Estación: Comarsa		Información Histórica												PERIODO:	2004	2007
Nº	AÑO	MES												TOTAL ANUAL		
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic			
64	2004						7.80	19.50	2.60	46.80	138.40	92.20	129.50			
65	2005	134.30	152.20	258.90	103.00	11.50	9.40	0.00	12.90	7.20	103.80	12.50	111.10	916.80		
66	2006	163.70	212.80	303.50	138.40	16.50	23.70	1.40	10.40	19.00	19.40	29.80	95.80	1.034.40		
67	2007	139.40	63.80	246.20	135.20	29.40										
Nº de Años		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3			
Pp Maxima		163.70	212.80	303.50	138.40	16.50	23.70	19.50	12.90	46.80	138.40	92.20	129.50	1.034.40		
Pp Media		149.00	182.50	281.20	120.70	14.00	13.63	6.97	8.63	24.33	87.20	44.83	112.13	975.60		
Pp Minima		134.30	152.20	258.90	103.00	11.50	7.80	0.00	2.60	7.20	19.40	12.50	95.80	916.80		

ANEXO B

DATOS GEOLOGICOS UNIDAD MINERA SANTA ROSA

Tabla B3.1: Descripción litológica – columna geológica unidad minera Santa Rosa

DESCRIPCION
C1 : Cuarzitas grises de grano fino
C2 : Cuarzitas grises de grano medio
C3 : Cuarzitas grises de grano grueso a medio y granos ligeramente compactados
A1/L : Areniscas de grano fino intercaladas con limolitas
A1 : Areniscas de grano fino
A2 : Areniscas
LC : Lutitas Carbonosas
L : Limolitas y/o Lutitas
A(A/P) : Intercalaciones de lutitas (arcillosas) y areniscas de grano medio
C-1-2 : Cuarzitas gris de granos finos intercalados con cuarzitas de granos medio
C-1-3 : Cuarzitas grises de granos finos intercalados con cuarzitas de granos gruesos
C-2-3 : Cuarzitas blancas de grano medio a grano grueso
C-3-2 : Cuarzitas grises de grano grueso a medio
C-1-L : Intercalación de cuarzitas grises finas y lutitas
C-1 / A-1 : Intercalaciones de Cuarzitas finas con areniscas e granos fino
Q : Cuaternario
A/P : Lutitas Arcillosas

Tabla B3.2: Registros geológicos de taladros de perforaciones RCD unidad minera Santa Rosa

PROYECTO POTREROS			RCD - POT-2007 - 004		
RCD - POT-2007 - 001			RCD - POT-2007 - 004		
Direccion : 230			Direccion : No se muestra en registro		
Inclinacion : - 70°			Inclinacion		
METROS		TIPO DE ROCA	METROS		TIPO DE ROCA
10.5	16.5	C2	0	7.5	C2
16.5	18	C3	7.5	15	C2
18.0	22.5	C3	15	19.5	C2
22.5	33.0	C2	19.5	27	C2
33.0	36.0	C1	27	29	A1/L
36	40.5	A1/L	29	33	C2
40.5	43.5	A1	33	39	C3
43.5	45	A1/L	39	46.5	C2
45	48	C2	46.5	48	L
48	51	A1	48	51	C2
51	54	A1/L	51	54	C2
54	64.5	C2	54	69	C2
64.5	72	C1	69	70.5	L
72	79.5	A1/L	70.5	79.5	C1
79.5	90	C1	79.5	82.5	C2
90	94.5	A1	82.5	90	C2
94.5	96	A1/L	90	93	C2
96	124.5	C1	93	94.5	L
124.5	132	A1	94.5	105	C2
132	148.5	A1/L	105	106.5	L
148.5	154.5	A1	106.5	109.5	C2
154.5	157.5	C1	109.5	112.5	A1
157.5	166.5	A1	112.5	117	C2
166.5	172.5	A1/L	117	126	C2
172.5	177	A1	126	132	C2
177	180	C1	132	133.5	A1
180	186	A1/L	133.5	136.5	A1/L
186	192	A1	136.5	138	C2
			138	141	A1/L
			141	144	L
			144	145.5	A1
			145.5	156	A2

PROYECTO POTRERO

RCD - POT-2007 - 003

Dirección : No se muestra en registro

Inclinación

METROS		TIPO DE ROCA
0	7.5	C2
7.5	15	C2
15	19.5	C2
19.5	27	C2
27	29	A1/L
29	33	C2
33	39	C3
39	46.5	C2
46.5	48	L
48	51	C2
51	54	C2
54	69	C2
69	70.5	L
70.5	79.5	C1
79.5	82.5	C2
82.5	90	C2
90	93	C2
93	94.5	L
94.5	105	C2
105	106.5	L
106.5	109.5	C2
109.5	112.5	A1
112.5	117	C2
117	126	C2
126	132	C2
132	133.5	A1
133.5	136.5	A1/L
136.5	138	C2
138	141	A1/L
141	144	L
144	145.5	A1
145.5	156	A2

PROYECTO SACALLA

T-SAC-RCD-07

Dirección : -----

Inclinación : - 90°

METROS		TIPO DE ROCA
0	4.5	A2
4.5	6	A(A/P)
6	6.5	LC
6.5	16.5	C2
16.5	100	C2

PROYECTO SACALLA

T-SAC - RCD - 009

Dirección : N 0° E

Inclinación : - 90°

METROS		TIPO DE ROCA
0	8.5	C-1 / A-1
8.5	26.5	C-1
26.5	46	C-1-2
46	49	C-2
49	50.5	C-1
50.5	65.5	C-2
65.5	85	C-1-2
85	100	C-1

PROYECTO SACALLA

T-SAC - RCD - 010

Dirección : N 0°

Inclinación : - 90°

METROS		TIPO DE ROCA
1	35.5	C-1-2
35.5	40	C-2-3
40	43	C-2
43	50.5	C-2-3
50.5	55	C-2
55	62.5	C-2-3
62.5	64	C-2
64	70	C-2-3
70	71.5	C-1- L
71.5	76	L
76	103	C-2

PROYECTO SACALLA

T-SAC - RCD - 013

Dirección : N 0°

Inclinación : - 90°

METROS		TIPO DE ROCA
0	16	C-1-2
16	37	C-2
37	41.5	A-1/C-1
41.5	46	C-1-2
46	50.5	A-1
50.5	58	C-2
58	80.5	C-1
80.5	83.5	LC
83.5	88	C-1
88	92.5	A-1

PROYECTO CHURGES

03 - PCHU - RCD - 10

Dirección : N 0° E

Inclinación : - 90°

Metros		Tipo de Roca
0	5.5	Q
5.5	10	C-1-2 / A1
10	17.5	A1 - C1
17.5	31	C-1-2
31	47.5	C-2-3
47.5	70	C-3-2
70	91	C- 2-3
91	100	C1

PROYECTO SACALLA

T-SAC - RCD - 012

Dirección : N 0°

Inclinación : - 90°

METROS		TIPO DE ROCA
19	40	C-2-3
40	49	C-2
49	53.5	C-2-3
53.5	55	LC
55	103	C-2

03 - PCHU - RCD - 11

Dirección : N 0° E

Inclinación : - 90°

Metros		Tipo de Roca
0	1.5	Q. Aluvial
1.5	5.5	Material de Till
5.5	12	A/P - A
12	16.5	LC (Lutita Carbobosa)
16.5	18	A/P
18	19.5	LC
19.5	21	A/P
21	36.0	LC
36.0	39	A/P
39	43.5	LC
43.5	52.5	A/P
52.5	55.5	LC
55.5	64.5	A/P
64.5	72.0	A/P C-A

PROYECTO SACALLA

SAC - RCD - 107

Dirección : N 0° E

Inclinación : - 90°

METROS		TIPO DE ROCA
0	23.5	A-1-L
23.5	35.5	LC
35.5	44.5	A-1-L
44.5	65.5	A-1
65.5	77.5	A2
77.5	85	A-1
85	88	A-2
88	100	A-1
100	101.5	A-2
101.5	151	A-1

PROYECTO SACALLA

SAC - RCD - 197

Dirección : N 0°

Inclinación : - 90°

METROS		TIPO DE ROCA
0	31.5	C-2
31.5	36	C-1
36	90	C-2
90	91.5	LC
91.5	97.5	C-2
97.5	101	LC
101	105	C-2
105	106.5	C1
106.5	109.5	A-2
109.5	111	A1/LC
111	117	A1
117	125	C-2
125	148.5	A1/LC
148.5	153	A-1
153	160.5	A1/LC
160.5	158	C-2
158	160.5	A-1

PROYECTO CHURGES

05 - PCHU - RCD - 12

Dirección : S 60° E

Inclinación : - 70°

Metros		Tipo de Roca
0	1.5	A1/ L
1.5	10.5	A 1
10.5	22.5	A 1
22.5	27	A1/ L
27	77	A1
77	84.5	A1/ L
84.5	87.5	A1
87.5	89	A1/ L
89	93.5	A1
93.5	101	A1/ L

ANEXO C

RELIEVE Y SUELO UNIDAD MINERA SANTA ROSA

Figura C5.1: Mapa de pendientes área de estudio UMSR.

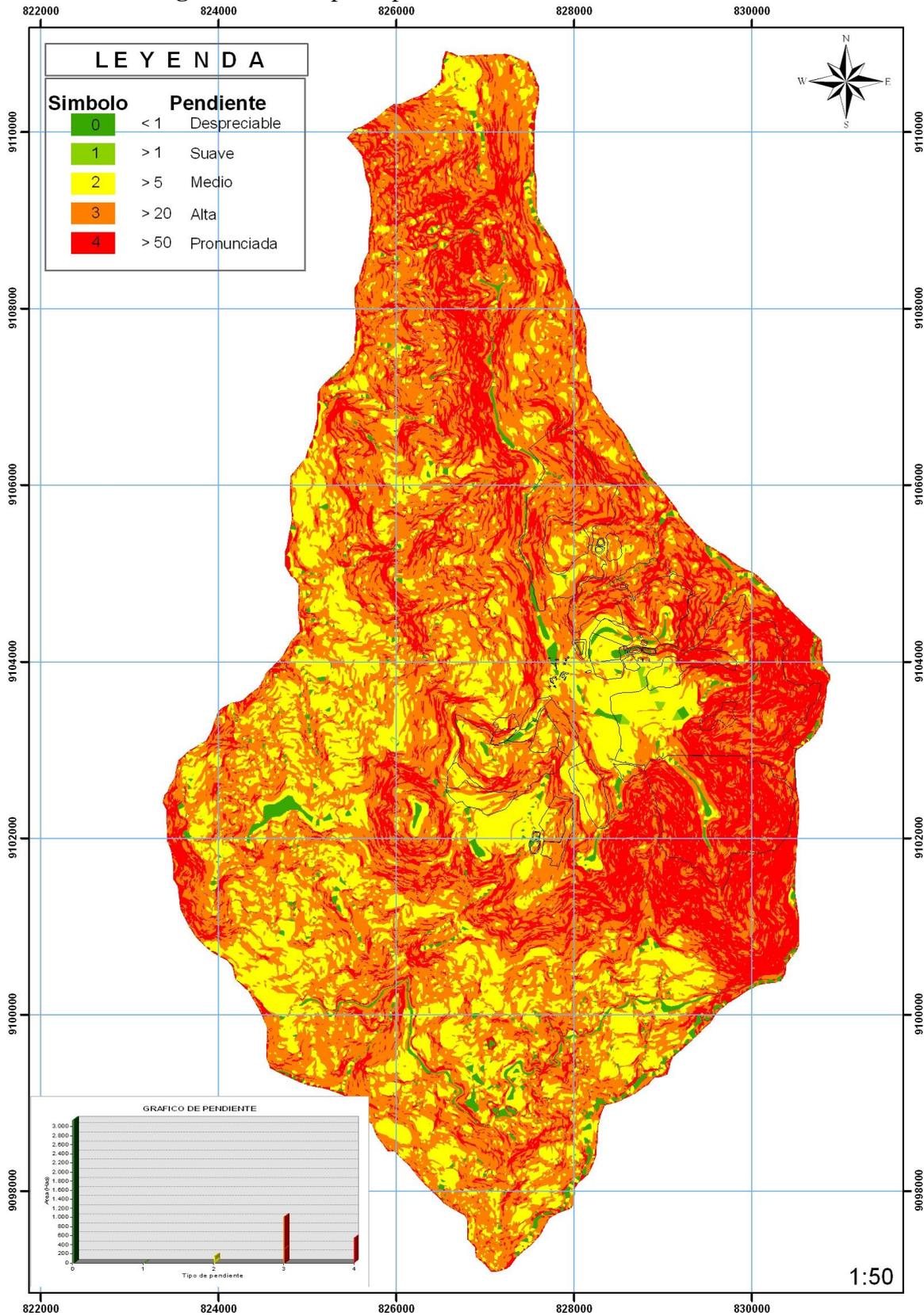
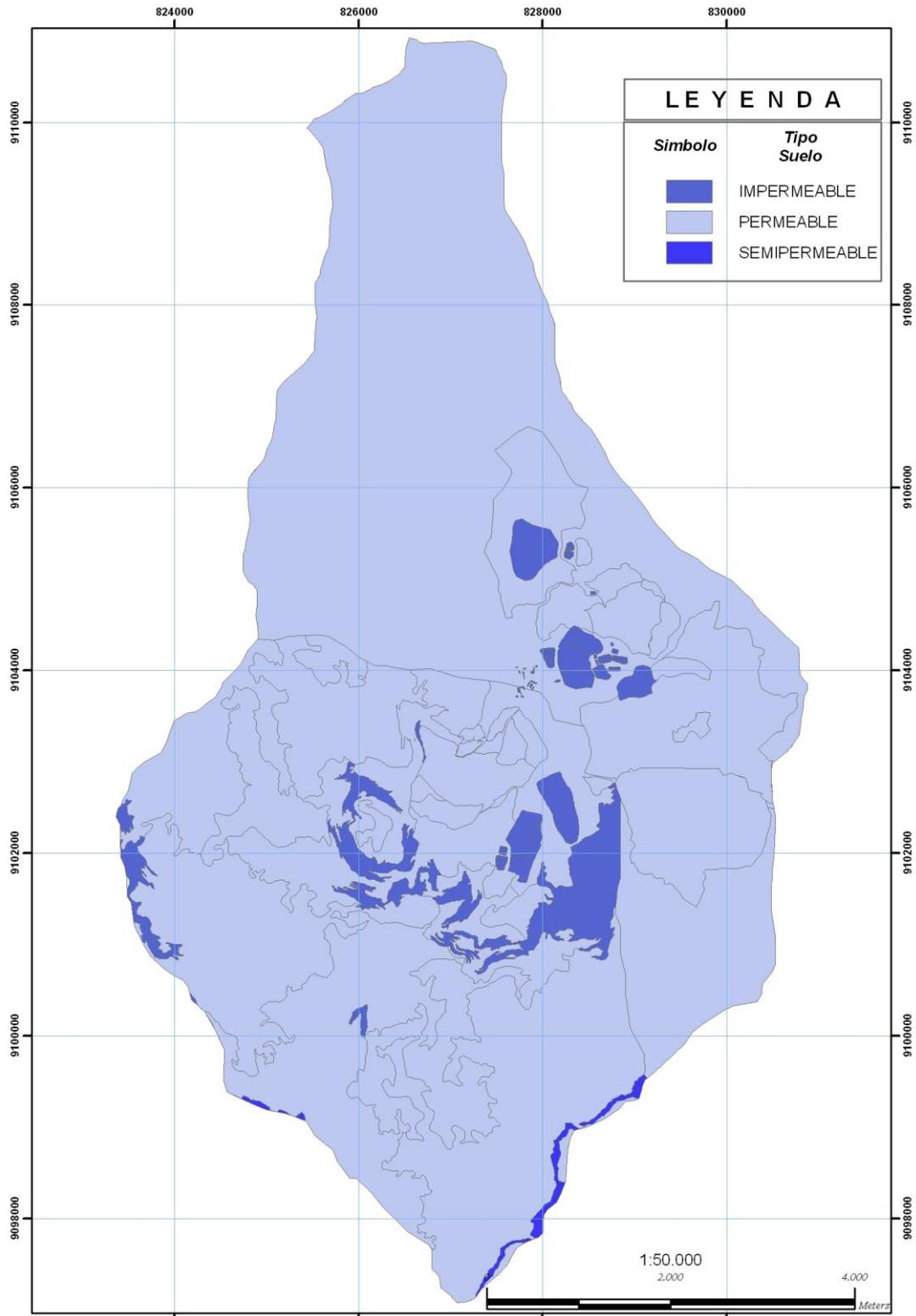


Figura C5.2: Mapa de tipo suelos del área de estudio UMSR



ANEXO D

HIDROLOGIA UNIDAD MINERA SANTA ROSA

Figura D3.1: Isoyetas de la Media Anual de la cuenca Tablachaca

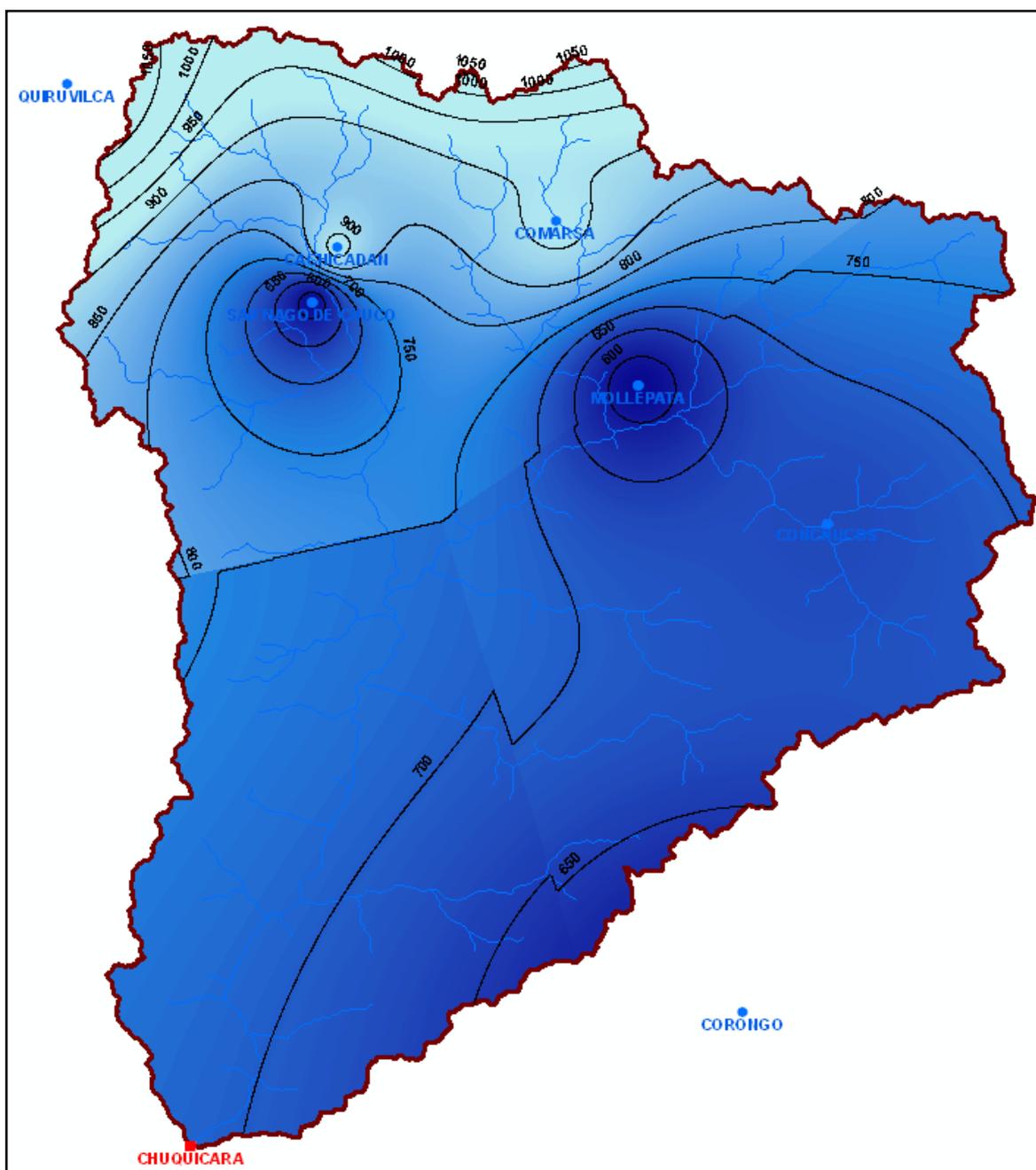


Grafico D3.1: Regionalización de la temperatura media mensual

Gráfico Nº 2 Regionalización de Temperatura Media Mensual

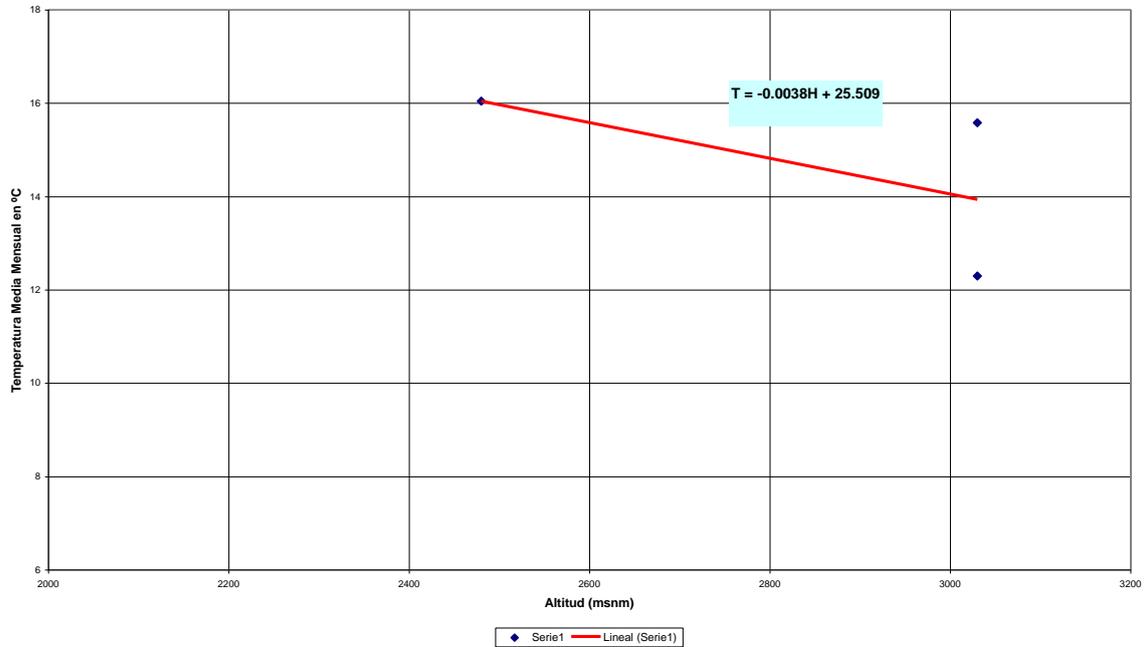


Tabla D 3.1: regionalización de la temperatura media mensual

Estación	Precipitación Total Anual		Altitud						
Cachicadan	898.93		3030						
Mollepata	569.28		2726						
Cajabamba	959.23		2480						
Quiruvilca	1222.93		3950						
Laguna Huangacocha	1418.99		3950						
Huamachuco	984.88		3030						
Estación Comarsa	Precipitación	Características							
3500	1125.74	Generado con el Modelo							
3500	975.6	Valor Observado en la Estación							
Factor de Calibración		0.8666300							
	Altitud Media	Precipitación Total Anual	Altitud Media	Precipitación Total Anual	Altitud Media	Precipitación Total Anual	Altitud Media	Precipitación Total Anual	Precipitación Total Anual
	3151	860.2	3206.78	878.6	3137.89	855.8	3282.16	903.5	
Estación Cachicadan		Microcuenca Hijadero		Microcuenca Potrero		Microcuenca Sacalla		Microcuenca Huacascorral	
ENE	133.9	ENE	128.1	ENE	130.8	ENE	127.4	ENE	134.6
FEB	157.9	FEB	151.1	FEB	154.4	FEB	150.4	FEB	158.7
MAR	186.0	MAR	178.0	MAR	181.8	MAR	177.1	MAR	187.0
ABR	105.0	ABR	100.5	ABR	102.6	ABR	100.0	ABR	105.5
MAY	33.1	MAY	31.6	MAY	32.3	MAY	31.5	MAY	33.2
JUN	16.7	JUN	16.0	JUN	16.3	JUN	15.9	JUN	16.8
JUL	6.8	JUL	6.5	JUL	6.6	JUL	6.4	JUL	6.8
AGO	8.4	AGO	8.0	AGO	8.2	AGO	8.0	AGO	8.4
SEP	30.6	SEP	29.3	SEP	29.9	SEP	29.1	SEP	30.7
OCT	65.8	OCT	62.9	OCT	64.3	OCT	62.6	OCT	66.1
NOV	61.0	NOV	58.4	NOV	59.6	NOV	58.1	NOV	61.3
DIC	93.8	DIC	89.8	DIC	91.7	DIC	89.3	DIC	94.3
Precipitación Total Anual	898.9	Precipitación Total Anual	860.2	Precipitación Total Anual	878.6	Precipitación Total Anual	855.8	Precipitación Total Anual	903.5

Tabla D3.2: regionalización de la temperatura media mensual

Estación	Precipitación Total Anual		Altitud								
Cachicadan	898.93		3030								
Mollepata	569.28		2726								
Cajabamba	959.23		2480								
Quiruvilca	1222.93		3950								
Laguna Huangacocha	1418.99		3950								
Huamachuco	984.88		3030								
Estación Comarsa	Precipitación	Características									
3500	1125.74	Generado con el Modelo									
3500	975.6	Valor Observado en la Estación									
Factor de Calibración		0.8666300									
Altitud Media	Precipitación Total Anual	Altitud Media	Precipitación Total Anual	Altitud Media	Precipitación Total Anual	Altitud Media	Precipitación Total Anual	Altitud Media	Precipitación Total Anual	Altitud Media	Precipitación Total Anual
3315.26	914.5	3441.47	956.2	3397.02	941.5	3420.82	949.4	3408.3	945.3	3358.23	928.7
Microcuenca Cochavara SO		Microcuenca Cementerio		Microcuenca Jordy		Microcuenca Cochavara SE		Microcuenca Desaguadero		Microcuenca Ucumali	
ENE	136.2	ENE	142.4	ENE	140.2	ENE	141.4	ENE	140.8	ENE	138.3
FEB	160.7	FEB	168.0	FEB	165.4	FEB	166.8	FEB	166.1	FEB	163.2
MAR	189.2	MAR	197.9	MAR	194.8	MAR	196.5	MAR	195.6	MAR	192.2
ABR	106.8	ABR	111.7	ABR	110.0	ABR	110.9	ABR	110.4	ABR	108.5
MAY	33.6	MAY	35.2	MAY	34.6	MAY	34.9	MAY	34.8	MAY	34.2
JUN	17.0	JUN	17.8	JUN	17.5	JUN	17.7	JUN	17.6	JUN	17.3
JUL	6.9	JUL	7.2	JUL	7.1	JUL	7.1	JUL	7.1	JUL	7.0
AGO	8.5	AGO	8.9	AGO	8.8	AGO	8.9	AGO	8.8	AGO	8.7
SEP	31.1	SEP	32.5	SEP	32.0	SEP	32.3	SEP	32.2	SEP	31.6
OCT	66.9	OCT	70.0	OCT	68.9	OCT	69.5	OCT	69.2	OCT	68.0
NOV	62.0	NOV	64.9	NOV	63.9	NOV	64.4	NOV	64.1	NOV	63.0
DIC	95.4	DIC	99.8	DIC	98.2	DIC	99.1	DIC	98.6	DIC	96.9
Precipitación Total Anual	914.5	Precipitación Total Anual	956.2	Precipitación Total Anual	941.5	Precipitación Total Anual	949.4	Precipitación Total Anual	945.3	Precipitación Total Anual	928.7

Grafico D. 3.2: Regionalización de la precipitación total anual

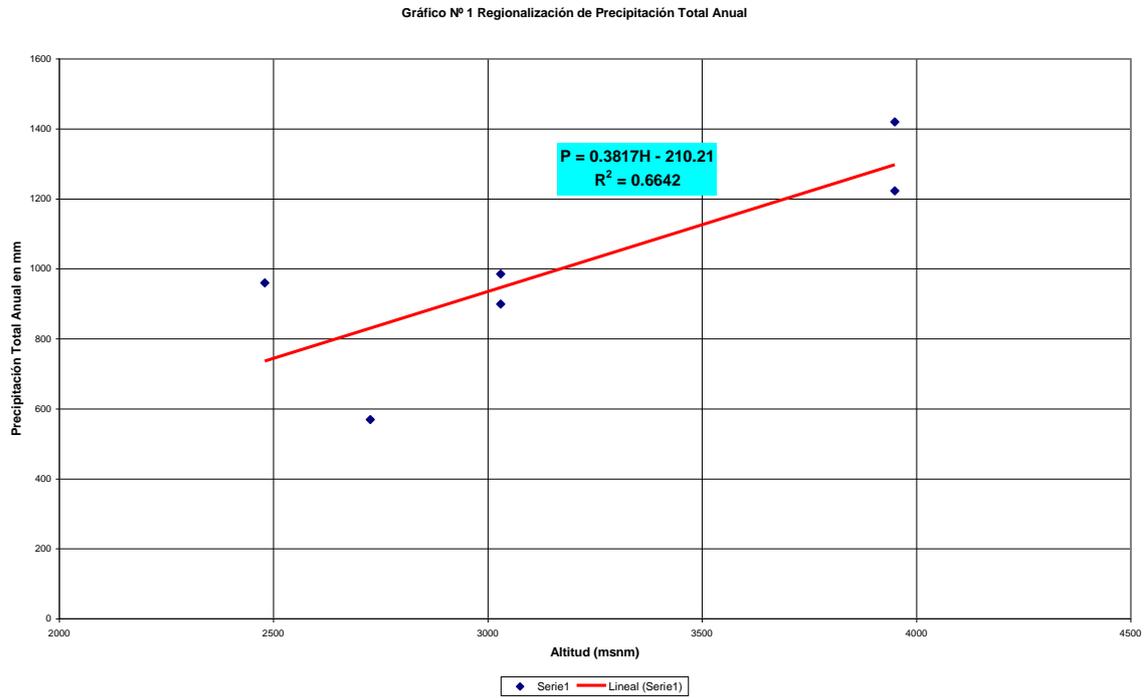


Tabla D 3.3: Regionalización de la precipitación total anual

Estación	Temperatura Media Mensual		Altitud						
Cachicadan	15.58		3030						
Cajabamba	16.04		2480						
Huamachuco	12.3		3030						
Estación Comarsa	Temperatura Media Mensual	Características							
3500	12.21	Generado con el Modelo							
3500	9.29	Valor Observado en la Estación							
Factor de Calibración		0.7609141							
		Altitud Media	Temperatura Promedio Anual	Altitud Media	Temperatura Promedio Anual	Altitud Media	Temperatura Promedio Anual	Altitud Media	Temperatura Promedio Anual
		3151	10.3	3206.78	10.1	3137.89	10.3	3282.16	9.9
Estación Cachicadan		Microcuenca Hijadero		Microcuenca Potrero		Microcuenca Sacalla		Microcuenca Huacascorral	
ENE	15.7	ENE	10.4	ENE	10.2	ENE	10.4	ENE	10.0
FEB	15.5	FEB	10.2	FEB	10.0	FEB	10.2	FEB	9.8
MAR	15.5	MAR	10.2	MAR	10.0	MAR	10.2	MAR	9.8
ABR	15.5	ABR	10.2	ABR	10.1	ABR	10.3	ABR	9.8
MAY	15.5	MAY	10.2	MAY	10.1	MAY	10.3	MAY	9.9
JUN	15.2	JUN	10.0	JUN	9.9	JUN	10.1	JUN	9.7
JUL	14.9	JUL	9.8	JUL	9.7	JUL	9.9	JUL	9.5
AGO	15.5	AGO	10.3	AGO	10.1	AGO	10.3	AGO	9.9
SEP	16.1	SEP	10.6	SEP	10.4	SEP	10.6	SEP	10.2
OCT	16.2	OCT	10.7	OCT	10.5	OCT	10.7	OCT	10.3
NOV	15.8	NOV	10.4	NOV	10.2	NOV	10.4	NOV	10.0
DIC	15.9	DIC	10.5	DIC	10.3	DIC	10.5	DIC	10.1
Temperatura Promedio Anual	15.6	Temperatura Promedio Anual	10.3	Temperatura Promedio Anual	10.1	Temperatura Promedio Anual	10.3	Temperatura Promedio Anual	9.9

Tabla D3.4: Regionalización de la precipitación total anual

Estación	Temperatura Media Mensual		Altitud								
Cachicadan	15.58		3030								
Cajabamba	16.04		2480								
Huamachuco	12.3		3030								
Estación Comarsa	Temperatura Media Mensual	Características									
3500	12.21	Generado con el Modelo									
3500	9.29	Valor Observado en la Estación									
Factor de Calibración		0.7609141									
Altitud Media	Temperatura Promedio Anual	Altitud Media	Temperatura Promedio Anual	Altitud Media	Temperatura Promedio Anual	Altitud Media	Temperatura Promedio Anual	Altitud Media	Temperatura Promedio Anual	Altitud Media	Temperatura Promedio Anual
3315.26	9.8	3441.47	9.5	3397.02	9.6	3420.82	9.5	3408.3	9.6	3358.23	9.7
Microcuenca Cochavara SO		Microcuenca Cementerio		Microcuenca Jordy		Microcuenca Cochavara SE		Microcuenca Desaguadero		Microcuenca Ucumali	
ENE	9.9	ENE	9.5	ENE	9.7	ENE	9.6	ENE	9.6	ENE	9.8
FEB	9.7	FEB	9.4	FEB	9.5	FEB	9.4	FEB	9.5	FEB	9.6
MAR	9.7	MAR	9.4	MAR	9.5	MAR	9.4	MAR	9.5	MAR	9.6
ABR	9.8	ABR	9.4	ABR	9.5	ABR	9.4	ABR	9.5	ABR	9.6
MAY	9.8	MAY	9.4	MAY	9.5	MAY	9.5	MAY	9.5	MAY	9.6
JUN	9.6	JUN	9.2	JUN	9.4	JUN	9.3	JUN	9.3	JUN	9.5
JUL	9.4	JUL	9.0	JUL	9.2	JUL	9.1	JUL	9.1	JUL	9.3
AGO	9.8	AGO	9.4	AGO	9.5	AGO	9.5	AGO	9.5	AGO	9.7
SEP	10.1	SEP	9.7	SEP	9.9	SEP	9.8	SEP	9.8	SEP	10.0
OCT	10.2	OCT	9.8	OCT	9.9	OCT	9.9	OCT	9.9	OCT	10.1
NOV	9.9	NOV	9.6	NOV	9.7	NOV	9.6	NOV	9.7	NOV	9.8
DIC	10.0	DIC	9.6	DIC	9.8	DIC	9.7	DIC	9.7	DIC	9.9
Temperatura Promedio Anual	9.8	Temperatura Promedio Anual	9.5	Temperatura Promedio Anual	9.6	Temperatura Promedio Anual	9.5	Temperatura Promedio Anual	9.6	Temperatura Promedio Anual	9.7

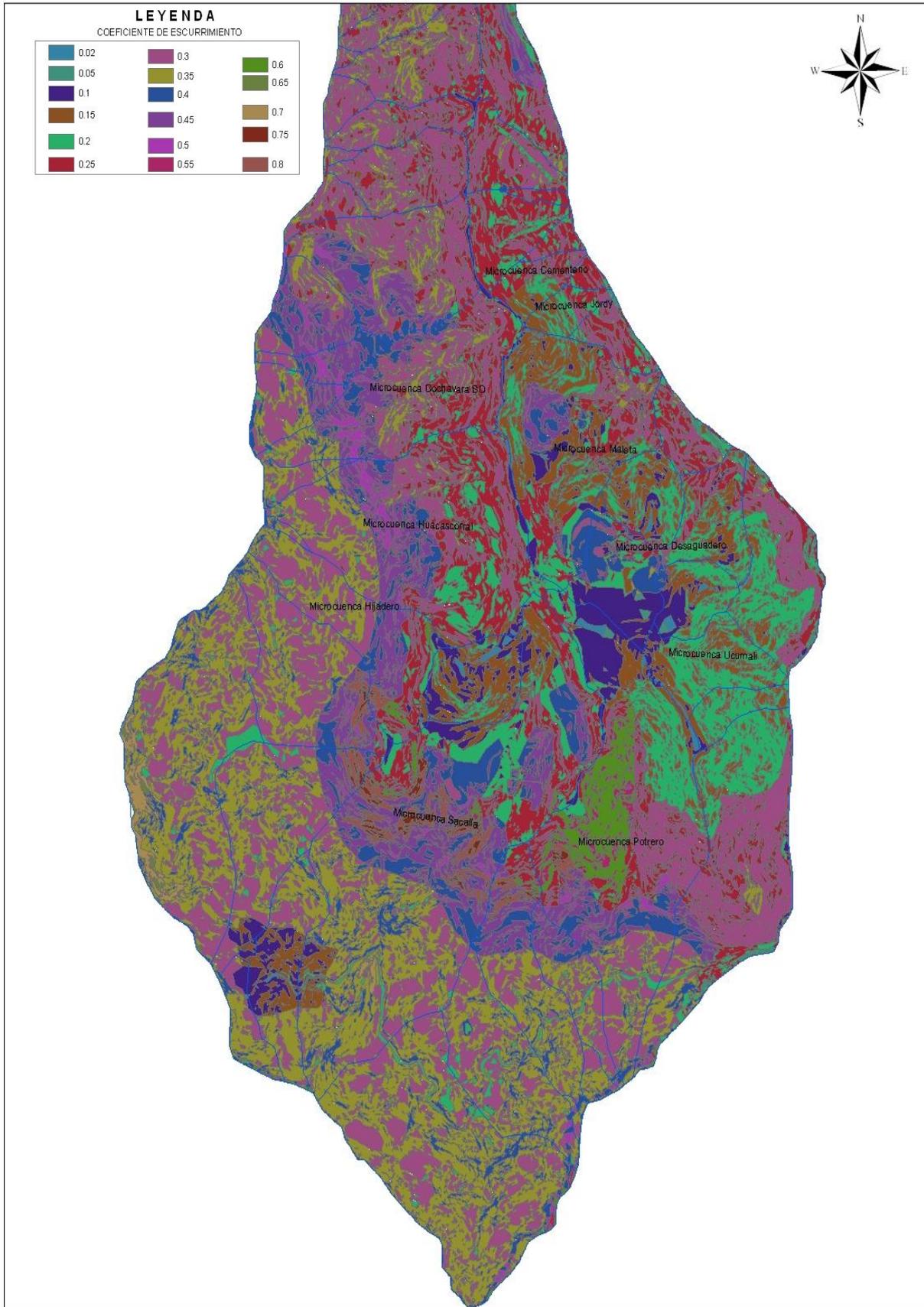


Figura D.5.1: Mapa de Coeficiente de Escurrimiento UMSR

ANEXO E

HIDROQUÍMICA UNIDAD MINERA SANTA ROSA

Tabla E5.1: Balance Geoquímico de Elementos Mayoritarios

REPORTE

UNIDAD MINERA SANTA ROSA

Identificación		A - 40	A - 41	ST -1	ST -2	ST -3	ST -6	ST-26	ST-31	SS -1	SS -2	SS -3	SS -4	SS -5	SS -6	SS -7	SS -8	SS -17	SS -32	SS -43	SS -44	
Parámetro / LC	Fecha	29/11/2007																				
Alc.Total	mg/L CaCO3																					
STD	mg/L	623.00	123.00	23.00	43.00	36.00	173.00	63.00	162.00	74.00	168.00	211.00	99.00	124.00	62.00	27.00	31.00	47.00	132.00	118.00	54.00	
STS	mg/L	9.00	2.90	2.90	2.90	2.90	120.00	2530.00	10.00	79.00	2.90	2.90	511.30	3.00	7.00	2.90	10.00	4.00	16.00	898.50	72.00	
EC	(µmhos/cm)	150.00	160.00	120.00	10.00	230.00	580.00	560.00	310.00	650.00	1150.00	2840.00	800.00	380.00	720.00	300.00	230.00	440.00	940.00	1750.00	560.00	
PH		3.00	3.84	4.90	5.54	6.33	7.58	7.26	5.66	8.27	8.70	6.56	5.00	6.48	6.98	6.26	6.22	5.77	5.00	7.84	7.05	
T	°C	16.5	18.6	13.4	18.3	14.4	14.3	15.9	15.3	15.5	15.9	14.6	13.3	14.4	15.8	15.1	15.0	15.5	19.2	11.4	12.2	
OD	mg/L	2.0	3.6	4.1	4.1	3.5	4.0	4.5	3.2	3.2	2.3	3.5	3.8	3.5	3.4	4.5	1.6	3.6	2.6	4.0	4.0	
DBO	(mg DBO/l)	1.9	6.0	1.9	12.0	1.9	1.9	1.9				15.0	18.0	10.0		3.0	11.0	1.9	1.9	1.9	1.9	
Cianuro Wad	mg/L	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.012	0.011	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	
Fenoles	mg/L	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0010	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	
Nitratos	mg/L	1.068	4.300	0.300	0.550	0.220	0.010	0.080	0.100			0.580	0.160	0.170	0.720	0.260	0.310	0.090	0.090	10.340	0.450	

ELEMENTOS MAYORITARIOS

Cationes

Calcio	mg/L	3.8	4.6	0.0	0.8	1.6	29.8	4.8	3.2	16.9	31.4	50.7	11.3	10.5	11.3	1.6	2.4	1.6	10.5	42.7	12.9
Magnesio	mg/L	1.6	2.1	0.5	2.0	0.5	7.9	2.1	0.5	0.2	31.4	47.7	12.7	8.1	3.2	0.5	0.0	2.6	4.2	3.1	2.7
Sodio	mg/L	104.0	9.1	33.6	9.6	13.6	313.2	20.9	11.9	12.6	10.9	22.4	28.0	30.3	27.7	26.2	32.4	107.6	56.8	25.1	23.0
Potasio	mg/L	1.9	1.2	0.1	0.5	2.0	1.8	2.2	0.7	1.0	0.8	1.1	12.4	1.2	1.2	2.0	2.3	79.7	1.1	20.3	0.9
Cat metálicos	mg/L	0.4	0.5	0.2	0.2	0.2	1.5	0.7	1.7	3.4	0.2	0.5	213.9	1.2	1.6	0.2	0.8	5.9	1.2	336.6	2.5

Aniones

Cloruros	mg/L	24.5	1.0	0.5	0.4	0.9	1.8	1.7	0.4	0.8	2.8	2.5	4.0	0.5	0.6	0.7	0.5	2.1	0.9	2.1	1.7
Sulfatos	mg/L	1.9	1.2	0.1	0.5	2.0	1.8	2.2	0.7	1.0	0.8	1.1	12.4	1.2	1.2	2.0	2.3	79.7	1.1	20.3	0.9
Bicarbonatos	mg/L	249.0	43.5	88.8	34.8	37.6	954.0	72.9	40.7	81.7	256.1	445.9	147.6	149.0	119.3	71.3	87.8	196.4	198.7	180.9	107.8
Carbonatos	mg/L	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	10.0	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9

Dureza= 2.497Ca+4.115Mg		9.6	11.6	0.1	2.0	4.0	74.3	12.0	8.0	42.2	78.4	126.6	28.1	26.1	28.1	4.0	6.0	4.0	26.1	106.5	32.1
		6.5	8.6	2.1	8.3	2.2	32.6	8.5	2.3	1.0	129.4	196.3	52.1	33.5	13.0	2.2	0.1	10.5	17.1	12.8	11.1
Dureza temporal	mg/L	16.0	20.1	2.1	10.3	6.2	107.0	20.5	10.3	43.2	207.7	322.9	80.2	59.6	41.1	6.2	6.2	14.5	43.2	119.3	43.2

MILIEQUIVALENTES POR LITRO

Calcio	meq/l	0.19	0.23	0.00	0.04	0.08	1.49	0.24	0.16	0.85	1.57	2.54	0.56	0.52	0.56	0.08	0.12	0.08	0.52	2.13	0.64
Magnesio	meq/l	0.13	0.17	0.04	0.17	0.04	0.65	0.17	0.04	0.02	2.59	3.92	1.04	0.67	0.26	0.04	0.00	0.21	0.34	0.26	0.22
Sodio	meq/l	4.52	0.39	1.46	0.42	0.59	13.62	0.91	0.52	0.55	0.47	0.97	1.22	1.32	1.20	1.14	1.41	4.68	2.47	1.09	1.00
Potasio	meq/l	0.05	0.03	0.00	0.01	0.05	0.05	0.06	0.02	0.03	0.02	0.03	0.32	0.03	0.03	0.05	0.06	2.04	0.03	0.52	0.02
SUMATORIA CATIONES		4.84	0.80	1.50	0.62	0.71	15.76	1.32	0.72	1.41	4.63	7.43	2.82	2.51	2.03	1.26	1.53	4.97	3.33	3.48	1.86
Cloruros	meq/l	0.69	0.03	0.01	0.01	0.03	0.05	0.05	0.01	0.02	0.08	0.07	0.11	0.01	0.02	0.02	0.01	0.06	0.03	0.06	0.05
Sulfatos	meq/l	0.04	0.03	0.00	0.01	0.04	0.04	0.05	0.01	0.02	0.02	0.02	0.26	0.02	0.02	0.04	0.05	1.66	0.02	0.42	0.02
Bicarbonatos	meq/l	4.08	0.71	1.46	0.57	0.62	15.64	1.20	0.67	1.34	4.20	7.31	2.42	2.44	1.96	1.17	1.44	3.22	3.26	2.97	1.77
Carbonatos	meq/l	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.33	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
SUMATORIA ANIONES		4.84	0.80	1.50	0.62	0.71	15.76	1.32	0.72	1.41	4.63	7.43	2.82	2.51	2.03	1.26	1.53	4.97	3.33	3.48	1.86

ERROR ADMISIBLE +/- 5%

	Ecat-Ean	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Ecat+Ean	9.68	1.59	3.01	1.24	1.43	31.52	2.64	1.45	2.83	9.26	14.87	5.64	5.02	4.05	2.52	3.06	9.94	6.67	6.96	3.73
	ERROR	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Admisibilidad	Admi	Admi	Admi	Admi	Admi	Admi	Admi	Admi	Admi	Admi	Admi	Admi	Admi	Admi	Admi	Admi	Admi	Admi	Admi	Admi	Admi

Tabla E 5.2: Análisis físico químico de aguas subterráneas – Unidad minera Santa Rosa

		ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO AGUAS SUBTERRANEAS									
		(miliequivalentes por litro)									
		A - 40	A - 41	ST - 1	ST - 2	ST - 3	ST - 6	ST-26	ST-31	SS - 1	SS - 2
Ca	meq/l	0.191	0.232	0.001	0.040	0.081	1.489	0.241	0.161	0.845	1.569
Mg	meq/l	0.129	0.171	0.041	0.165	0.043	0.652	0.170	0.045	0.020	2.586
Na	meq/l	4.572	0.424	1.464	0.427	0.640	13.663	0.966	0.535	0.574	0.495
HCO ₃	meq/l	4.112	0.743	1.486	0.600	0.646	15.670	1.225	0.698	1.369	4.532
SO ₄	meq/l	0.040	0.025	0.003	0.010	0.041	0.037	0.047	0.014	0.021	0.017
Cl	meq/l	0.690	0.028	0.014	0.011	0.025	0.051	0.048	0.011	0.023	0.079

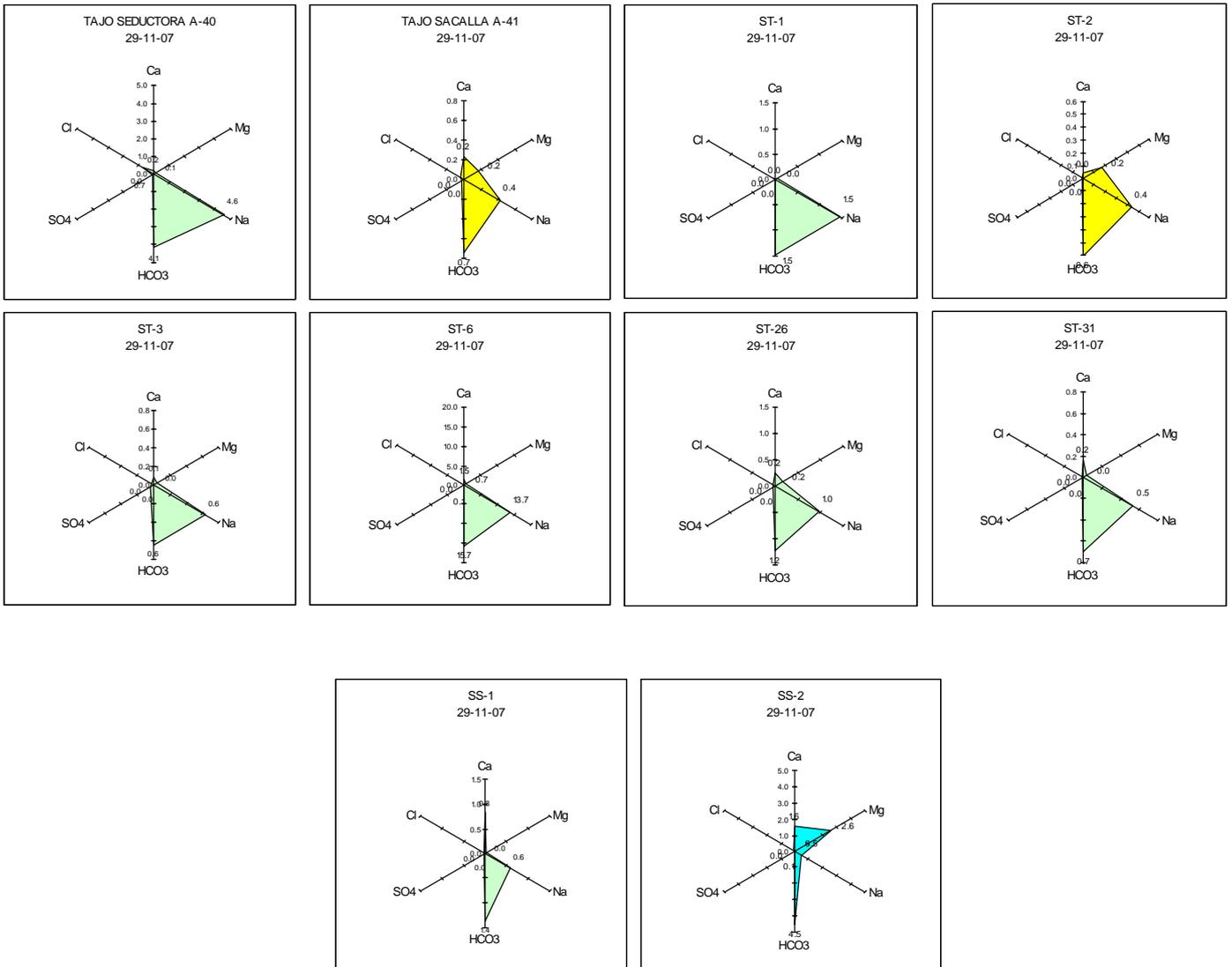
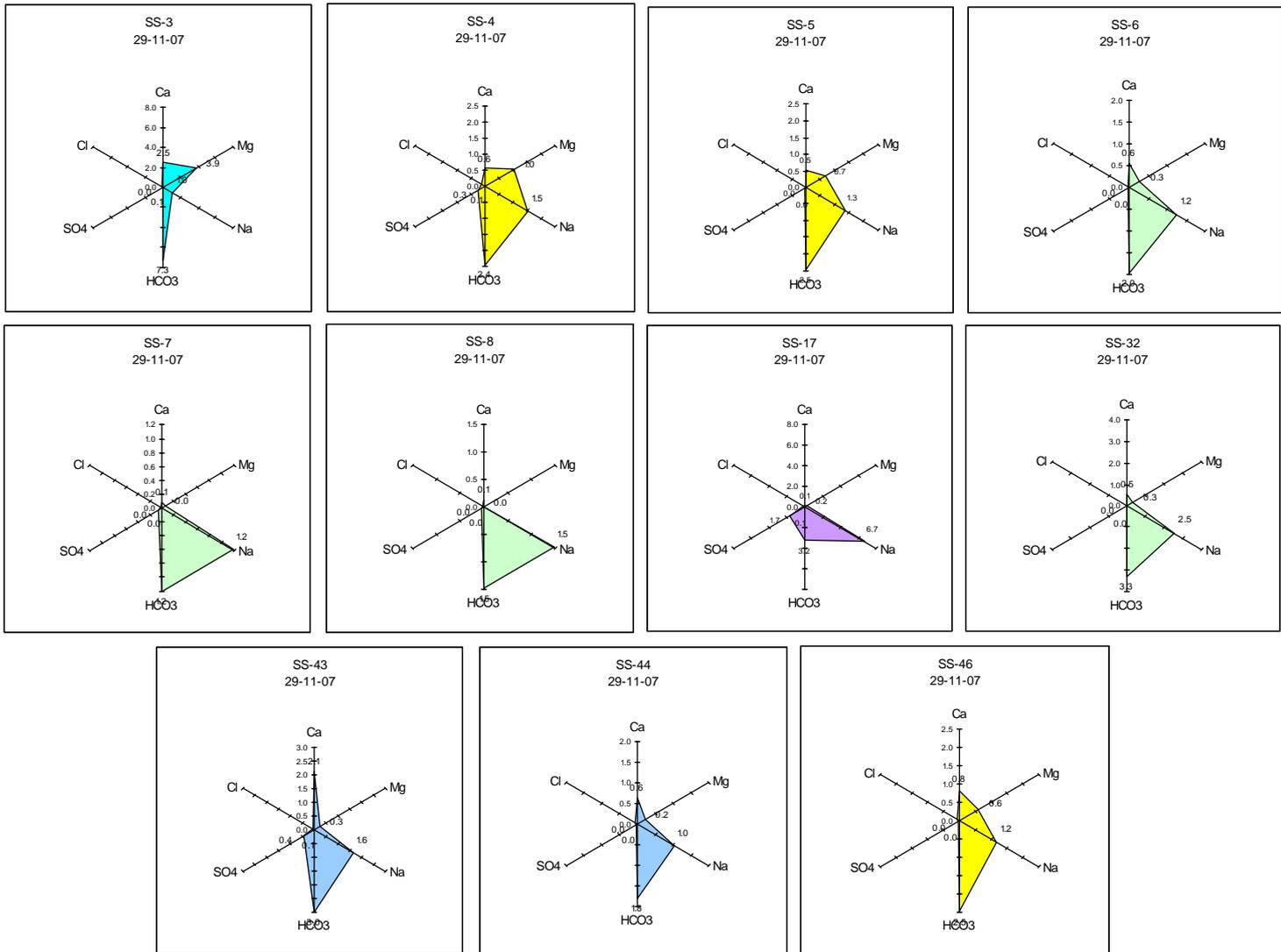


Tabla E5.2a: Análisis físico químico de aguas subterráneas – Unidad minera Santa Rosa
ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO AGUAS SUBTERRÁNEAS UNIDAD MINERA SANTA ROSA

		(miliequivalentes por litro)										
		SS -3	SS -4	SS -5	SS -6	SS -7	SS -8	SS -17	SS -32	SS -43	SS -44	SS -46
Ca	meq/l	2.535	0.563	0.523	0.563	0.081	0.121	0.081	0.523	2.133	0.644	0.805
Mg	meq/l	3.924	1.041	0.670	0.260	0.043	0.003	0.210	0.341	0.256	0.221	0.595
Na	meq/l	1.002	1.536	1.347	1.235	1.188	1.468	6.722	2.497	1.610	1.023	1.163
HCO ₃	meq/l	7.339	2.450	2.472	1.986	1.199	1.470	3.249	3.287	2.996	1.798	2.467
SO ₄	meq/l	0.023	0.259	0.024	0.025	0.042	0.048	1.660	0.022	0.423	0.019	0.021
Cl	meq/l	0.070	0.113	0.014	0.017	0.020	0.014	0.059	0.025	0.059	0.048	0.048



Anexo E5.3: Cantidad de iones disueltos
muestras unidad minera Santa Rosa

Tabla E5.3: Iones disueltos- muestras UMSR
MILIEQUIVALENTES POR LITRO

COD	SUM CATIONES	SUM ANIONES	SUM ION
A - 40	4.892	4.842	9.734
A - 41	0.827	0.796	1.624
ST -1	1.507	1.503	3.010
ST -2	0.633	0.621	1.254
ST -3	0.764	0.713	1.476
ST - 6	15.804	15.758	31.562
ST-26	1.377	1.320	2.697
ST -31	0.740	0.723	1.463
SS - 1	1.439	1.413	2.852
SS - 2	4.650	4.628	9.278
SS - 3	7.461	7.433	14.893
SS - 4	3.140	2.821	5.961
SS - 5	2.540	2.510	5.050
SS - 6	2.058	2.027	4.085
SS - 7	1.312	1.260	2.572
SS - 8	1.591	1.532	3.123
SS - 17	7.012	4.969	11.981
SS - 32	3.361	3.334	6.695
SS - 43	3.999	3.478	7.477
SS - 44	1.888	1.864	3.752
SS - 46	2.562	2.536	5.098

