

Recibido: 25 / 11 / 2007, aceptado en versión final: 19 / 12 / 2007

## Caracterización del funcionamiento hidrogeológico de la unidad minera a cielo abierto Comarsa-Perú aplicando tecnologías geomáticas

HYDROGEOLOGICAL CHARACTERIZATION OF THE FUNCTIONING OF THE UNIT OPEN PIT MINING COMARSA-PERU APPLYING TECHNOLOGY GEOMATICS

**Cristian Cabello A.\*; Eliana Landauro S\*, Ciro Bedia\*\***

---

### 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 inventariados 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 muestran que el área de la UMSR está 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 tajos 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:  $\text{HCO}_3\text{-Mg}$  (2),  $\text{HCO}_3\text{B-Ca}$  (2) y  $\text{HCO}_3\text{-Na}$  (17).

Palabras clave: Sistema de información geográfica, hidrogeología, tratamiento digital de imágenes, modelización, Modflow.

### 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: GIS, Hydrogeology, Digital Image Processing, Modelization, Modflow.

---

\* Máster Internacional Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Minerales - RED DESIR

\*\* Docente de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
E-mail: cris\_1964@yahoo.it / eliana\_cca@yahoo.it

## I. OBJETIVOS

- Realizar un inventario de las aguas superficiales y subterráneas mediante el cartografiado, muestreo, análisis y propiedades físico-químicas de las aguas.
- Determinación de la superficie piezométrica, además de las direcciones de flujo de las aguas subterráneas.
- Caracterizar las condiciones hidrogeoquímicas del agua subterránea.
- Elaborar el modelo de flujo de las aguas subterráneas del acuífero con el propósito de simular escenarios de drenaje o recarga de la zona de investigación.

## II. GENERALIDADES

### Ubicación

La unidad minera Santa Rosa propiedad de la Compañía Minera Aurífera Santa Rosa S.A. (COMARSA), está ubicada en el distrito de Angamarca, provincia de Santiago de Chuco, departamento de La Libertad, a una altitud aproximada de 3600 m.s.n.m. (figura N° 1).

### Infraestructura de la unidad minera

#### Mina

La unidad minera está constituida de 4 tajos abiertos, que cubren una superficie aproximada de 630 hectáreas, los mismos que se comportan áreas de recarga (captación e infiltración) de agua de lluvias hacia el subsuelo.

#### Botaderos

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

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

#### Pilas de lixiviación

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

Los PADs, que en conjunto cubren un área total de 80 hectáreas, se comportan como “sombrias” o áreas que impiden la infiltración de aguas de lluvias, donde las escorrentías son derivadas y recirculadas hacia las pilas de lixiviación.

## Climatología

La zona de estudio se caracteriza por presentar un clima semiseco, 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.

## Meteorología

### Estaciones meteorológicas

Las estaciones meteorológicas consideradas y cuya información ha sido procesada en esta investigación han sido 10 estaciones; entre pluviométricas e hidrométricas.

### Temperatura

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.

### 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%.

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.

### Evaporación

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. (Vector Perú, 2004).

La evaporación promedio mensual asignada al área de investigación corresponde a 1248.42 mm.

### Precipitación

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



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.

### Estratigrafía

**Formación Chicama:** 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 disseminación de piritita diagenética y nódulos de Chert.

**Formación Chimú:** Esta formación sobreyace concordante sobre la formación Chicama que aflora en el distrito de Cachicadan y Angasmarca. La base de esta unidad está constituida por una alternancia de areniscas, cuarcitas y lutitas y la parte superior está 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).

## III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 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.

### Hidrología superficial

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, Piscocacha. El río Angasmarca a su vez presenta como afluentes principales a los ríos Hijadero y Piscocacha. 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.

### Hidrología subterránea

**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 al final del estiaje.

**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.

**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.

Los únicos piezómetros que han sido construidos para el monitoreo del nivel freático, se muestran en la Tabla 3.1, 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° 3.1: Resumen de pozos de monitoreo y piezómetros

CÓDIGO	UBICACIÓN		PROFUNDIDAD DEL POZO (m)	ALTITUD (msnm)	ELEVACIÓN 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.

### 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° 1 y 2) 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.

### Área de intervención minera

Se ha considerado con este término a los espacios ocupados por los PADs, botaderos, tajos, pozos de tratamiento hidrometalúrgico 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 gene-

rada 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 pueden visualizar en la figura N.º 2.

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 relacionados 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 (Aronoff, 1989). 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 y observar los cambios en la morfología en el área de actividad minera (Erhan S, *et al.*).

### 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 permiten 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 fuerte-



Fotos 1, 2. A la izquierda nivel freático en el tajo Sacalla. A la derecha nivel freático en el tajo Seductora.

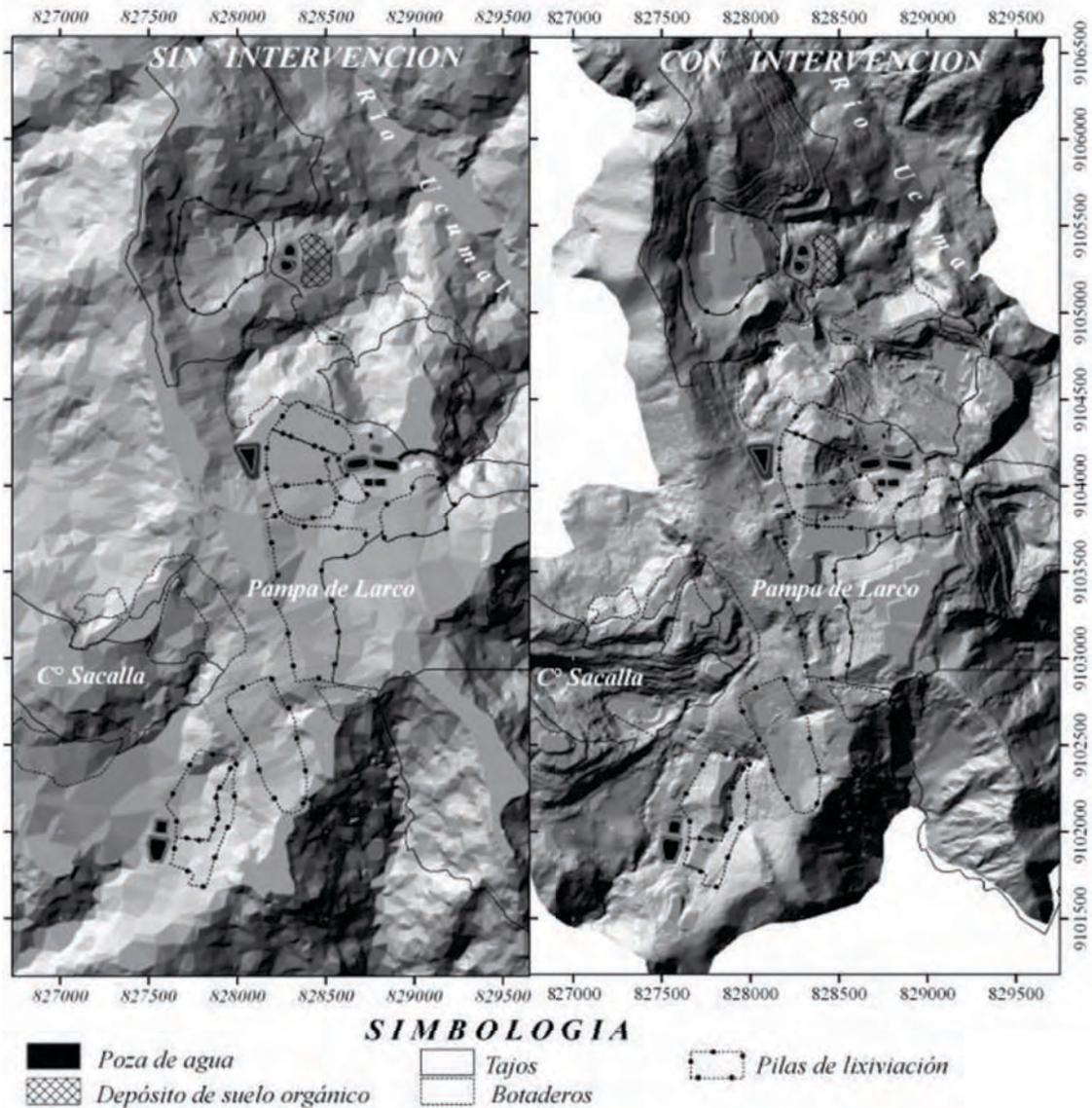


Figura N.º 2. Modelos digitales del terreno. A la derecha antes de la actividad minera (1994). A la izquierda actualmente durante el desarrollo de la etapa de operación y explotación de la unidad minera (2007).

mente 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.

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 Angasmарca-Ucumalí, presentan características independientes por su composición litológica y tectónica (Gráfico 3.1).

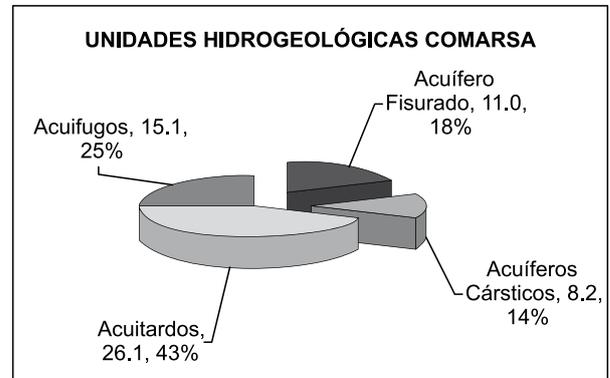


Gráfico N.º 1. Unidades hidrogeológicas – unidad minera Santa Rosa.

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.

### Acuíferos

**Acuíferos figurados:** 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 km<sup>2</sup>, representando el 18.2% de la superficie del área de estudio (figura N.º 3, hidrogeológico).

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

**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 km<sup>2</sup>, 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

CaCO<sub>3</sub>, como la que se observa en la figura N.º 4, isoconductividades presentes en el área de la unidad minera Santa Rosa.

**Acuíferos acuitardos:** son unidades hidrogeológicas cuya

Los acuitardos representan otras unidades hidrogeológicas muy diferenciadas 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.

**Acuíferos acuífugos:** 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.

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.º 5.

De los métodos aplicados a los datos seleccionados, se determinó el método Kriging simple como el más adecuado para representar las hidroisohipsas. En la figura 5 se ha aplicado el método de interpolación de inversa distancia al cuadrado (IDW) a los datos del modelo, las isolíneas obtenidas no reflejan los valores que se encontraron de nivel freático en el sector Sacalla, la isolínea indica que a una altitud de 3400 m 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 -2007).

FIGMMG

CRISTIAN CABELLO A., ELIANA LANDAURO S., CIRO BEDIA

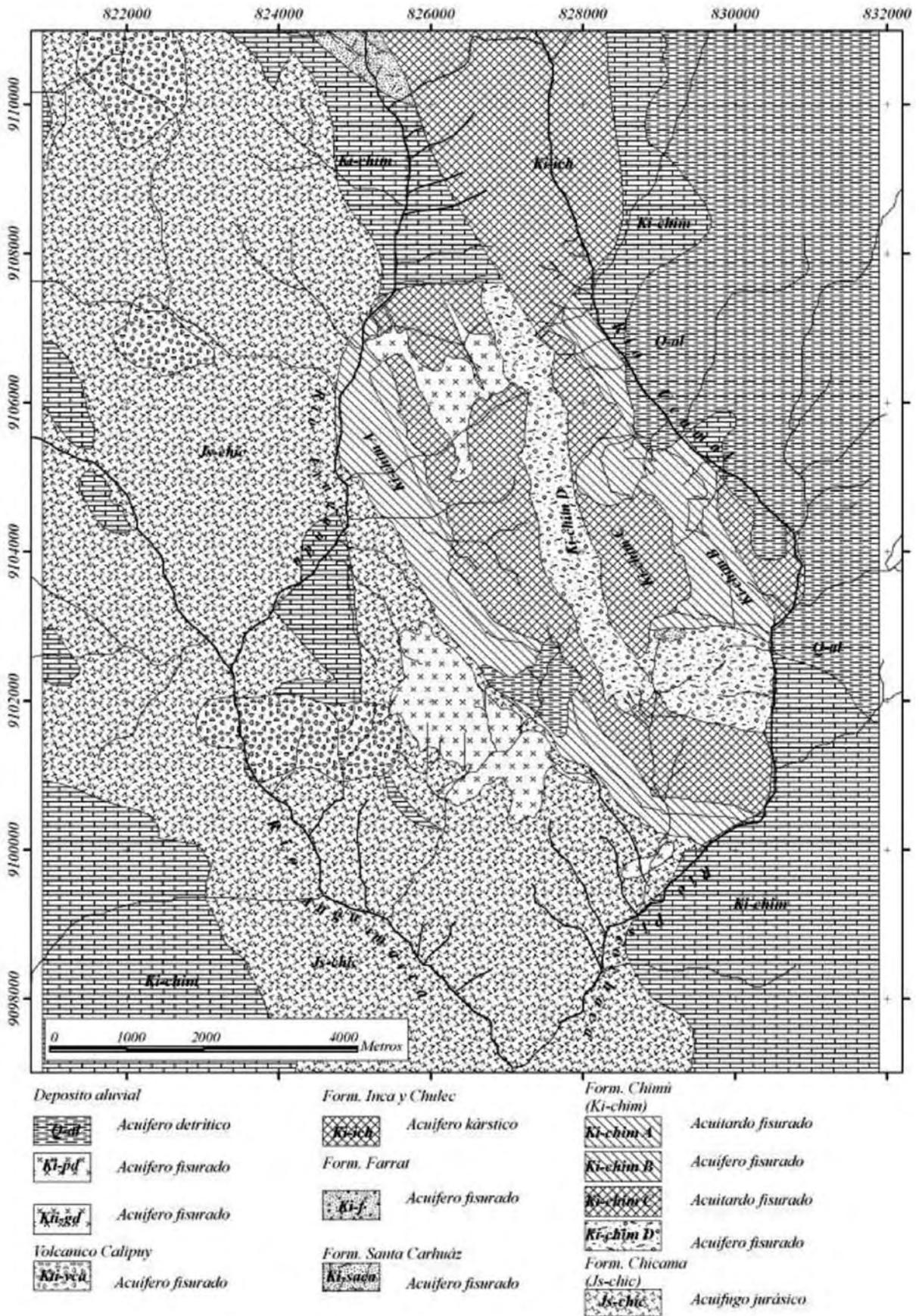


Figura N.º 3. Unidades hidrogeológicas–unidad minera Santa Rosa.

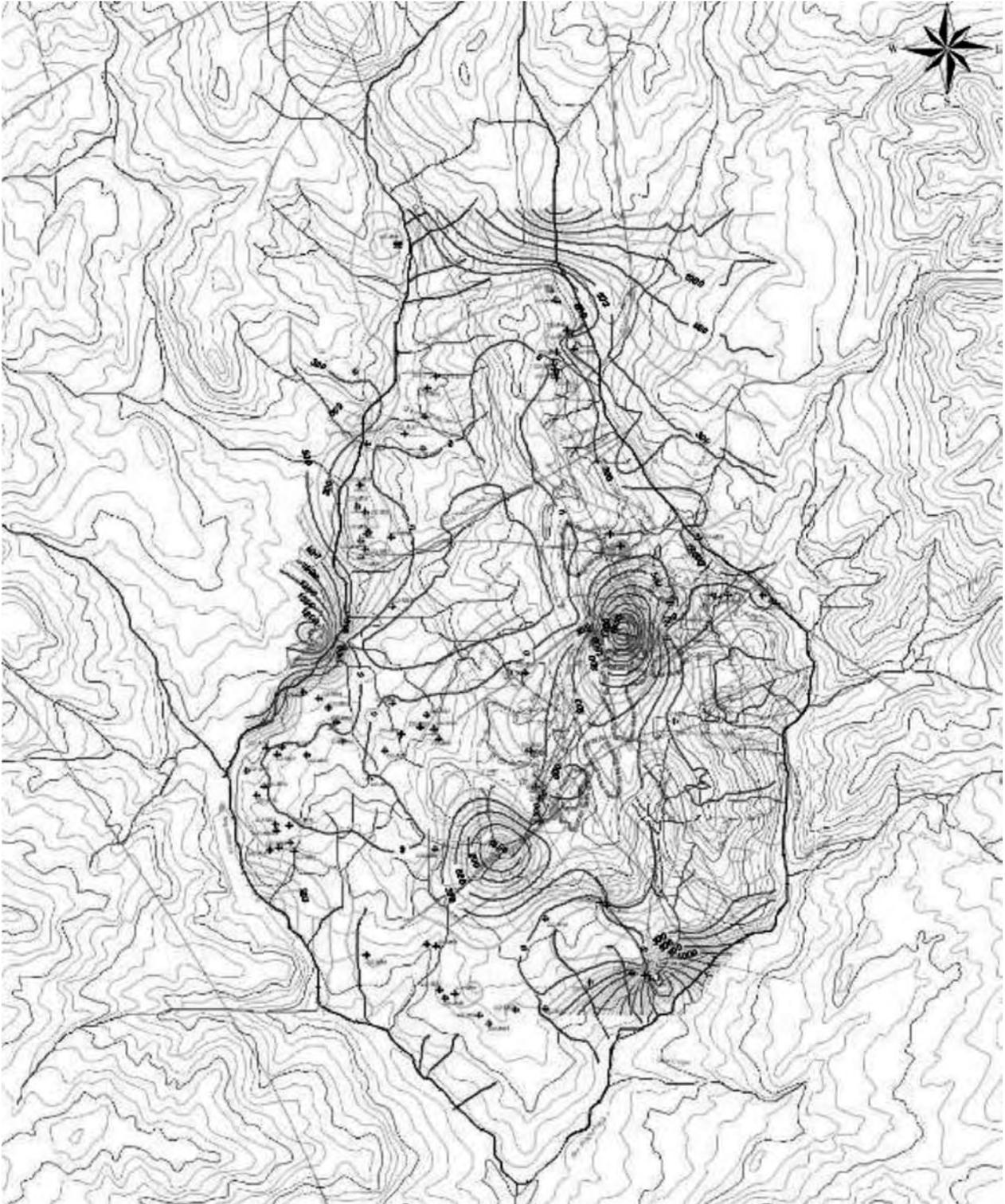


Figura N.º 4. Isoconductividad – unidad minera Santa Rosa.

### Modelo 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. 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

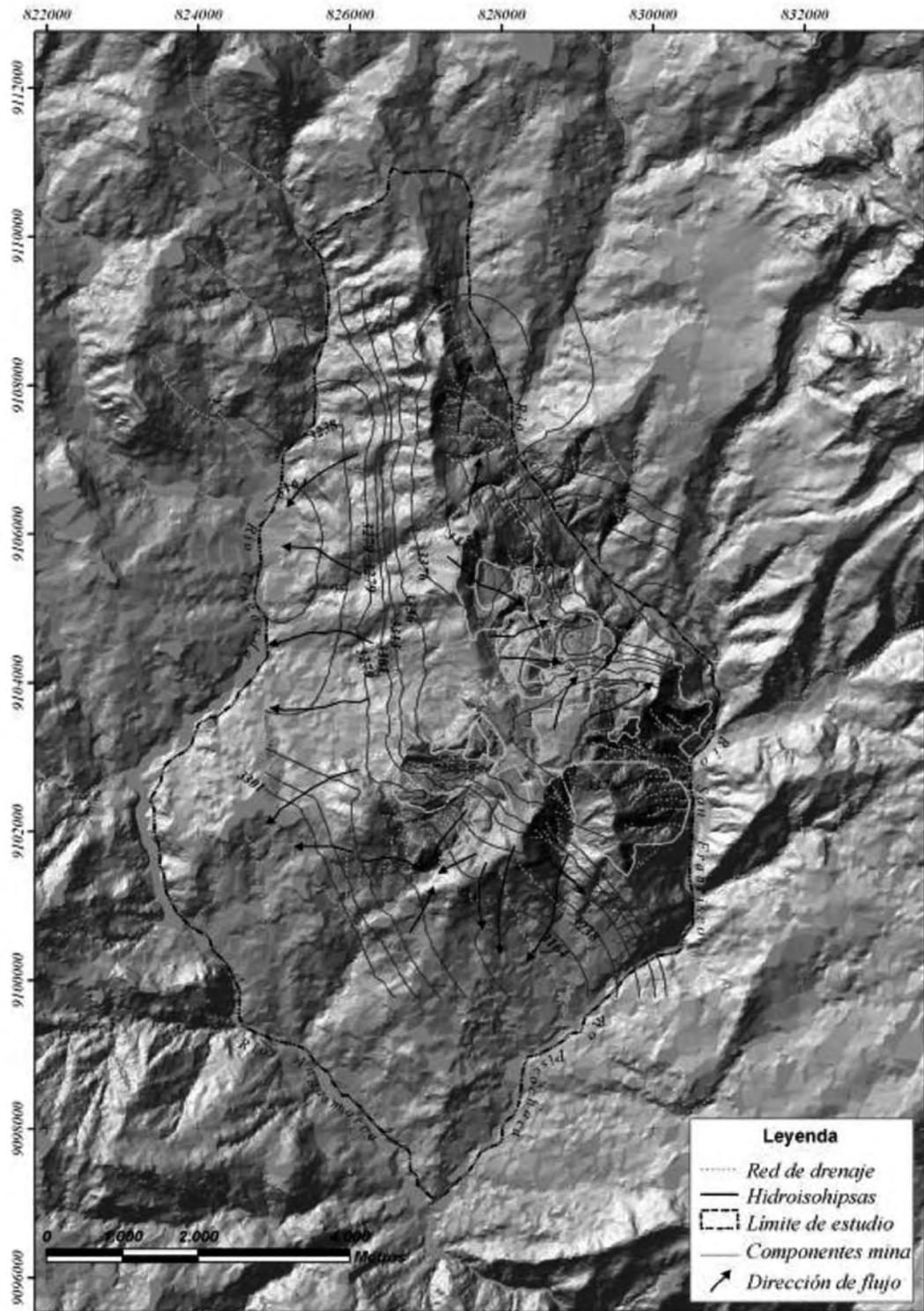


Figura N.º 5. Morfología del nivel freático en noviembre 2007.

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. La figura 6 muestra una sección hidrogeológica obtenida a partir del modelo generado con el programa Visual Modflow.

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.

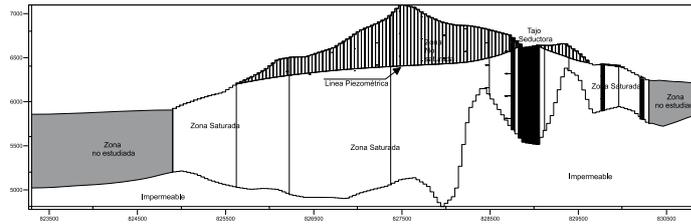


Figura N.º 6. Sección hidrogeológica Este - Oeste

El modelo del 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 de la investigación (Chiang W. y Kinzelbach W., 1998).

#### IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 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%.
  - 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.
  - 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 primeros el contacto entre las aguas subterráneas y el escurrimiento superficial es inmediato.
  - 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).
  - Los resultados del modelo en régimen estacionario nos indican que el flujo estimado de las reservas almacenadas en el medio poroso es 4018.84  $\text{m}^3/\text{d}$  (46.51 l/s), así mismo el caudal que fluye a través de los afloramientos ha sido estimado en 4026.86  $\text{m}^3/\text{d}$  (46.60 l/s), con 0.20% de error.
- 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 2 206 215.50  $\text{m}^3$  (2.206 MMC).
  - Los nuevos trabajos que se ejecuten deben de estar soportados por las herramientas de la geomática, con la cual se hacen análisis más profundos y con mayor precisión y rapidez.
  - Lo anteriormente expuesto permitirá elaborar en un nuevo modelo numérico de alta fiabilidad, así como poder hacer diferentes tipos de análisis estadísticos de la información obtenida como es el análisis experimental, componentes principales, variabilidad de los niveles de aguas subterráneas, etc.

#### V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARONOFF S. (1989). Geographic Information Systems: A management perspective. WDL Publications, Ottawa (Canadá). 293pp
2. CHIANG, W. y Kinzelbach, W. (1998). Processing Modflow: A Simulation System for modelling Groundwater, flow and pollution. Hamburg-Zurich. 327 pp.
3. 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, pp. 826-834.
4. JACAY, J. (2000). Estratigrafía y su relación con la mineralización en el distrito minero de Santa Rosa. Rep. Int. COMARSA 10 pp.
5. 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].
6. 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.