

## **ANTECEDENTES GEOQUIMICOS Y DE INCLUSIONES FLUIDAS DEL YACIMIENTO EL TOQUI, XI REGION, CHILE: IMPLICANCIAS GENETICAS**

**Alfredo Cristian Bertens Neuman**

El objetivo de este estudio consistió en proponer un origen para la mineralización del yacimiento El Toqui, a través del estudio de inclusiones fluidas y de una caracterización geoquímica de los cuerpos mineralizados y estériles, además de la roca de caja. Dichos cuerpos se encuentran emplazados en niveles coquinoideos pertenecientes al miembro inferior de la Formación Coyhaique. La mineralización de mena consiste en un reemplazo selectivo o macizo de los mantos calcáreos por metales de base, principalmente Zn y en menor grado, por metales preciosos. La mineralogía de ganga está caracterizada por minerales calcosilicatados de skarn y por cuarzo. En el manto coquinoídeo principal se reconocen zonaciones tanto verticales de Pb, Zn, Fe y Bi, como horizontales de Au y Ag. El estudio de coeficientes de correlación señala que existe una estrecha relación entre Zn-Cd y Ag-Pb-Bi. El estudio geoquímico de la secuen-

cia estratificada sobre los mantos mineralizados muestra un enriquecimiento progresivo en profundidad de As, Au, Zn, Fe, Mn, Cu y Ba. Los datos de inclusiones fluidas indican que la mineralización se depositó en presencia de ebullición a temperaturas oscilantes entre 390°C y 160°C, con fluidos de salinidades entre 19% NaCl eq. y 3.5% NaCl eq.

Finalmente, la presencia de anomalías geoquímicas en Zn, Au y As en la secuencia estratificada de la Formación Coyhaique, además de los cuerpos mineralizados tipo roll-front y la existencia de cuerpos brechosos andesíticos tipo diques alimentadores, permiten proponer un origen hidrotermal para la mineralización en el yacimiento El Toqui.

Prof. Guía: Sr. Carlos Palacios  
27-12-93



# PATRONES DE DISTRIBUCION GEOQUIMICOS ASOCIADOS A LA EXPLORACION DE YACIMIENTOS DE COBRE EN LA CORDILLERA DE LA COSTA DE LA REGION DE ANTOFAGASTA: EJEMPLO DE CERRO CRISTALES

Antonio Gallego Ntogo

Ricardo Antonio González Montecinos

El presente trabajo tuvo como objetivo analizar los patrones de distribución geoquímicos de una zona de la franja costera del norte de Chile, de manera de encontrar una relación entre éstos y la geología del área.

El estudio se basó en un muestreo geoquímico de sedimentos de drenaje y en un mapeo geológico y estructural, ambos a escala 1:50.000, abarcando una zona de 1000 km<sup>2</sup>. Las 265 muestras recopiladas se procesaron mediante Análisis Semicuantitativo por Emisión de Plasma (ICP) en base a seis elementos (Cu, Pb, Zn, Ag, As y Mo). Los resultados geoquímicos se analizaron mediante un trabajo estadístico y gráfico, los cuales se contrastaron con los datos geológicos de la zona.

El área de Cerro Cristales corresponde a una porción de la Cordillera de la Costa de la Región de Antofagasta, que habría sido producto de una manifestación de un arco magmático Jurásico-Cretácico, caracterizado por la formación de rocas volcánicas de composición andesítica e intruída por grandes plutones de variada composición. Esta zona habría sido afectada por un tectonismo intenso a partir del Cretácico inferior, lo que se habría traducido en la formación de un sistema de fallas NS (Sistema de Falla

Atacama), caracterizado por dos megafallas principales, las fallas de Atacama y Coloso. Estas dos megafallas habrían controlado la formación de un duplex estructural contraccional, caracterizado por fallas de rumbo tensionales de dirección aproximada NNE. Estos arreglos estructurales habrían controlado el ascenso de fluidos mineralizantes; los que actualmente se representan como manifestaciones superficiales y en profundidad, de numerosos cuerpos vetiformes y mantiformes de cobre y hierro conocidos en la zona.

La alteración y mineralización de cobre y hierro se habría producido a través de dos eventos: El primero relacionado con una inyección de fluidos hidrotermales a través de fracturas durante la deformación de las rocas, produciendo una cementación de clorita, epidota, titanita, apatito y hematita. El segundo, habría sido tardío y sobreimpuesto a la brechización de las rocas, provocando la mineralización cuprífera en asociación con calcita y óxidos de hierro. Otro evento de alteración se habría manifestado como una carbonatización de carácter regional, la que podría corresponder a un episodio muy posterior a la formación de los yacimientos volcanogénicos de Cu-Ag del jurásico.



Los resultados de la geoquímica muestran que el cobre se distribuye en forma normal a través de un comportamiento bimodal entre los 33 a los 131 ppm; y en forma anormal (anomalía) bajo los 33 ppm y a partir de los 132 ppm. El plomo se distribuye normalmente entre los 3 y 17 ppm a través de un comportamiento bimodal ligado a un control litológico y estructural; mientras que la anomalía lo hace a partir de los 17 ppm asociada al sistema estructural de la zona. El zinc se distribuye normalmente bajo un comportamiento bimodal entre los 12 y los 83 ppm, y anormalmente sobre los 83 ppm, ambos bajo un fuerte control estructural. El arsénico se distribuye normalmente entre los 0 y los 23 ppm bajo un comportamiento bimodal, controlado por la litología y las estructuras; mientras que su anomalía se distribuye a partir de los 23 ppm. La plata y el molibdeno casi no se manifiestan en la zona.

En general todas las poblaciones anómalas encontradas se relacionan fuertemente con el sistema estructural Atacama-Coloso; y principalmente con el sistema estructural de duplex. Los campos generados por el plomo, el zinc y el arsénico muestran una cierta relación con el cobre a niveles anómalos, por lo que pueden ser perfectamente usados como guía de apoyo o de alternativa en la exploración cuprífera.

La plata y el molibdeno, que no están representados en el sistema, podrían haber permanecido inmóviles durante un posible fenómeno de lixiviación supérgena, incorporándose a hidróxidos de fierro. El muestreo de estos hidróxidos podría ser otra herramienta alternativa para la exploración en esta franja.

Prof. Guía: Sr. Carlos Palacios  
28-12-93

## ESTRATIGRAFIA DEL Terciario DE LA CUENCA LABRANZA, TEMUCO IX REGION

Berta Xiomara Rubio Pereira

El estudio realizado en la Cuenca de Labranza, ubicada entre los 38°-39° latitud sur y 72°-73° longitud oeste, comprende la reinterpretación de las columnas estratigráficas de los pozos perforados en dicha cuenca, el levantamiento geológico del área a escala 1:100.000, la interpretación de perfiles geológicos incorporando información de superficie y subsuperficie y el análisis paleogeográfico del sector.

Con lo anterior se concluyó que la cuenca, la cual alcanza una profundidad máxima de 1600 m, presenta un eje mayor de dirección NNW paralelo a los principales sistemas de fallas que la controlan. el basamento lo conforman rocas metamórficas y sedimentarias paleozoicas y mesozoicas, y la cobertura la constituyen rocas sedimentarias y volcánicas marinas y continentales del Terciario y Cuaternario.



La cobertura terciaria está conformada por tres unidades, que responden a tres ciclos depositacionales de la cuenca.

El primero, de edad Eoceno-Oligoceno Superior, de tipo sedimentario clástico continental con la formación de niveles carbonosos, estaría limitado por las fases orogénicas Incaica I y II. Se depositaron en este ciclo al menos 1400 m de sedimentos.

El segundo ciclo, de edad Oligoceno Superior-Mioceno Inferior, se caracteriza por la aparición de un arco volcánico adosado al borde oriental de la proto Cordillera de la Costa, cuya actividad cesa en el Mioceno Inferior. En este período la cuenca recibe aportes sedimentarios y volcánicos en un ambiente continental, los que son intruidos por filones de composición intermedia.

En el tercer ciclo, que comprende el Mioceno Medio-Mioceno Superior, se produce la transgresión del mar Pacífico sobre el continente, la que finaliza en el Mioceno Superior con la fase orogénica Quechua. En este período se depositan en la cuenca al menos 675 m de sedimentos clásticos marinos, en un ambiente que evoluciona desde nerítico externo a batyal superior durante el máximo desarrollo de la transgresión.

En las unidades de los ciclos Eoceno-Oligoceno Superior y Mioceno Medio a Superior se preservan niveles de areniscas cuarzo-líticas y limolitas con materia orgánica, que se proponen como secuencias de interés para estudios de porosidad y calidad de materia orgánica respectivamente.

Prof. Guía: Sr. Juan Varela  
09-12-93

## **GEOLOGIA Y ESTILO ESTRUCTURAL DE UN PERFIL DE LOS ANDES CHILENOS, A 35° LATITUD SUR, CON ENFASIS EN LA CORDILLERA DE LA COSTA, VII REGION**

**Sergio Adolfo Spichiger Blumel**

El presente estudio se realizó en el área ubicada en los 35° latitud Sur, entre las cordilleras de la Costa y Principal y consistió en el análisis de la estratigrafía, las condiciones de depositación y los rasgos estructurales de las principales unidades entre el Triásico Superior y el Oligoceno de la zona, con énfasis en la Cordillera de la Costa.

Las volcanitas del Triásico Superior (Formación Crucero Los Sauces), tienen una composición bimodal (traquitas y basaltos) y fueron originados por episodios efusivos producto de un adelgazamiento cortical. A fines del Triásico Superior, se produjo una transgresión marina desde el sector occidental. Este episodio está representado por las series sedimentarias marinas de la



Formación Estero La Higuera (lutitas y areniscas), las que corresponden a depósitos de ambiente somero a plataformal, cuya depositación estuvo caracterizada por reiterados flujos turbidíticos.

A partir del Lias se depositó, en un dominio de antearco, una serie marina de ambiente somero a hemipelágico y frecuentes flujos turbidíticos. La serie anterior, representada por la Formación Rincón de Núñez, está compuesta por areniscas y lutitas y presenta en su fracción detrítica, fragmentos de origen volcánico de composición intermedia. Estos últimos provinieron de la actividad de un arco magmático de reciente emplazamiento en el área. Esta cuenca estuvo relacionada con la zona de trasarco oriental (Formación Nacientes del Teno, mediante conductos marinos intermitentes hasta el Cretácico Inferior. A principios del Jurásico Medio, el arco aumentó su actividad depositando las potentes series volcánicas de la Formación Altos de Hualmapu. Estos depósitos, consistentes en andesitas, brechas andesíticas y tobas, colmataron la cuenca, terminando con el dominio marino en la zona. La similitud petrográfica entre las andesitas presentes en esta zona con las andesitas de la Formación Río Damas, en la Cordillera Principal, sugieren que éstas últimas tuvieron su origen en el mismo evento magmático.

La evolución tectónica de la región se caracterizó por la existencia de episodios compresivos intermitentes de

extensión regional variable desde principios del Jurásico. En la Cordillera de la Costa, éstos dieron lugar, durante el Cretácico, a una intensa deformación de los depósitos triásicos y liásicos, con características de restringidas fajas plegadas y falladas, provocando el alzamiento de las rocas paleozoicas y reactivando los sistemas de fallas NNW-SSE y E-W preexistentes. En la Cordillera Principal este régimen intermitente originó dos franjas de sobre-escurrimientos, la primera, a partir del Cretácico Superior y la segunda, caracterizada por plegamientos y fallas divergentes, a partir del Oligoceno. Esta última faja, presente en rocas de la Formación Coya-Machalí, sería producto de un episodio tectónico compresivo, el cual habría producido el alzamiento de un bloque, aprovechando las fallas normales de un dominio de sedimentación preexistente, reactivándolas y originando zonas de deformación divergentes.

Como apoyo a la determinación de las características estructurales en subsuperficie, se usaron herramientas gravimétricas y magnetométricas. Estas fueron fundamentales en la detección de potentes espesores de rocas sedimentarias en las Cordillera de la Costa y Principal, así como en la determinación de estructuras de carácter regional.

Prof. Guía: Sr. Reynaldo Charrier

03-11-93



# LEVANTAMIENTO GEOLOGICO Y GEOTECNICO DE UNA GALERIA DE RECONOCIMIENTO PARA UNA CENTRAL HIDROELECTRICA

Claudio Aránguiz Wolff

La presente memoria, se refiere al levantamiento geológico y geotécnico de la rama recta, de una galería de reconocimiento, para la casa de máquinas de una central hidroeléctrica.

La litología está representada por una diorita y una secuencia de tobas andesíticas recristalizadas, brechas y andesitas, cuyo contacto ocurre en el kilómetro 0.102, donde se manifiesta un suave metamorfismo. La diorita corresponde a un intrusivo plutónico asignado al Terciario inferior - medio y la roca de caja se incluye en el miembro Río Queuco de la Formación Curmallín (Eoceno - Mioceno).

La resistencia a la compresión simple se ha estimado a ambas rocas en 2000 kg/cm<sup>2</sup> y sus RQD estimados resultaron aproximadamente el 88 %. En general, las dos unidades litológicas se manifiestan no descompuestas, excepto en algunos tramos no muy extensos.

Las discontinuidades están representadas por fallas y fracturas con una frecuencia por metro moderada (4 a 5) y cuya distribución es homogénea por toda la excavación.

Las superficies de fracturas son predominantemente sublisas frecuentemente cerradas. Las fallas se pueden reunir en dos grupos principales, según su espesor, uno de 1 a 5 mm y otro de 10 a 50 mm. Los rellenos suelen ser zeolitas, arcilla ocre y kaolín y, en menor proporción, clorita, epidota y carbonatos.

Las principales familias de discontinuidades acumulativas que se establecieron para la unidad de diorita, mediante las redes estereográficas fueron las siguientes:

F1 = 060/88 NW (9%)

F2 = 089/42 SE (5%)

F3 = 150/42 SW (3%)

En cambio para la unidad de tobas andesíticas, las familias acumulativas principales fueron:

F1 = 112/68 SW (8%)

F2 = 104/32 NE (7%)

F3 = 094/78 NE (5%)

F4 = 113/44 SW (5%)

F5 = 055/61 SE (4%)

En ambas unidades predominan los rumbos subperpendiculares al eje de la galería y los manteos mayores de 45°. Se visualizan desplazamientos de algunas estructuras ocasionadas por fallas, pudiéndose medir rechazos del orden de algunos centímetros. Se pudo notar que las fallas inversas son algo más abundantes que las normales. Se midieron algunas estrías de fallas, las cuales preferentemente se ubican en el cuadrante NE en la red estereográfica.



Existe una moderada cantidad de sobreexcavaciones, a veces causada por las estructuras y otras por las labores. Se necesitaron 7 pernos de anclaje en el kilómetro 0.070 y cuatro marcos de madera en el portal de entrada.

Cabe agregar que la similitud de ambas unidades litológicas en el grado

de fracturamiento, en el RQD, en la resistencia estimada y otros parámetros, permiten reunirlos en una sola unidad geotécnica.

Prof. Guía: Sr. Reynaldo Charrier G.

16-06-94

## **DISTRIBUCION, CARACTERIZACION Y GENESIS DE LOS CUERPOS DE BRECHA UBICADOS EN EL SECTOR CENTRAL-ESTE DEL YACIMIENTO EL TENIENTE**

**Claudia Silvia Arredondo Castillo**

En el sector central-este del yacimiento El Teniente se estudiaron cuatro cuerpos de brecha que se describen a continuación:

- Brecha de anhidrita y turmalina: se emplaza al este del yacimiento y corresponde a una brecha de fábrica fracturada, con cemento de anhidrita, más turmalina en la parte superior. Los fragmentos pueden ser de diorita, andesita o brecha ígnea. La mineralización, representada por calcopirita, pirita y molibdenita, se encuentra en vetillas que cortan al cuerpo de brecha. La zona con cemento de anhidrita y turmalina presenta la siguiente asociación de alteración: cuarzo, sericita y clorita, que es posterior a la brechización de anhidrita; en el sector con cemento de anhidrita la alteración es del tipo potásica. La brechización con cemento de anhidrita se habría

producido entre la etapa tardi-magmática y la etapa hidrotermal principal; la adición de turmalina al cemento se asociaría a la etapa hidrotermal principal.

- Brecha de turmalina y cuarzo: se ubica al sur-este del yacimiento, cerca de la Brecha Braden. El cemento es de turmalina, cuarzo, anhidrita, calcopirita, bornita, tenantita, molibdenita, siderita, yeso, ankerita y calcita. Los fragmentos son de andesita biotitizada, con una alteración cuarzo-sericítica que puede ocurrir en los bordes de los fragmentos o alterarlos completamente. Ocurre con fábricas fracturada, mosaico y «rubble». Dadas las características de esta brecha, su formación se relaciona con la etapa hidrotermal tardía definida en el yacimiento.



- Brecha de anhidrita: se encuentra en el área central del yacimiento, en contacto con pórfidos dioríticos, su cemento es de anhidrita, con cuarzo, calcopirita, pirita y molibdenita subordinados. Los fragmentos son de andesita, pórfido diorítico y brecha ígnea. La asociación de alteración producida a través de los halos de vetillas que cortan el cuerpo de brecha es cuarzo, sericita y clorita, que se sobrepone a una alteración potásica anterior. La mineralización en el sector, representada por calcopirita y molibdenita, ocurre principalmente en vetillas que cortan la brecha. La formación de este cuerpo de brecha sería sincrónica con la etapa tardimagmática de alteración.

- Brecha de anhidrita y cuarzo: se emplaza en el sector central del yacimiento, a un costado del pórfido dacítico. Su cemento es de anhidrita y cuarzo, variando la composición desde el contacto con el pórfido dacítico hacia el este, aumentando el cuarzo y disminuyendo la anhidrita. Los fragmentos son de andesita con alteración biotítica. La mineralización se encuentra principalmente en vetillas que cortan la brecha. El proceso de brechización

que originó esta brecha se habría producido contemporáneamente con la etapa tardimagmática.

De los análisis geoquímicos realizados se distingue que los procesos de brechización provocan variaciones claras en la química de los fragmentos en los cuerpos de brecha estudiados: en la brecha de turmalina y cuarzo, y en la brecha de anhidrita y cuarzo, relacionados estos cambios con la alteración que se desarrolla en los fragmentos. En los otros cuerpos de brecha no se distinguen los efectos geoquímicos de la brechización por los otros procesos de alteración sobrepuestos.

De acuerdo a las características texturales y petrográficas descritas y al tipo de relaciones de contacto de las brechas con la roca de caja, se concluye que estos cuerpos de brecha se formaron in situ, que fueron generados por procesos hidrotermales relacionados con la evolución general del yacimiento y que su emplazamiento sería cercano a la superficie.

Prof. Guía: Sr. Waldo Vivallo

26-12-94

## EVALUACION GEOLOGICA Y ECONOMICA DE PROYECTOS DE EXPLORACION

Alejandra Marcela Avila Núñez

Las Gerencias de Exploraciones y de Estudios y Proyectos de Codelco Chile han diseñado una metodología para la evaluación de proyectos de ex-

ploración geológica. El desarrollo de esta metodología requiere de parámetros probabilísticos que cuantifican el riesgo de la exploración.



El presente trabajo tuvo como objetivo determinar las probabilidades de encontrar un yacimiento tipo pórfido cuprífero en las franjas metalogénicas de este tipo de yacimiento entre la I y VI Región de Chile. Estas probabilidades se requieren para la evaluación económica de proyectos de exploración, en dichas franjas metalogénicas. El estudio se centró en las franjas definidas por Sillitoe (1989), que corresponden a la Franja Cretácica, Franja Cretácica Superior - Paleoceno, Franja Eoceno Superior - Oligoceno y Franja Mioceno Superior - Plioceno. Para el cálculo de probabilidades, dichas franjas se clasificaron en clases de acuerdo a características geológicas y parámetros estadísticos, con el objetivo de ajustar los blancos, cuerpos y yacimientos a una función de distribución de probabilidades.

Los resultados obtenidos muestran que la Franja de pórfidos cupríferos de edad Eoceno Superior - Oligoceno junto con la franja Mioceno Superior - Plioceno presenta mayores probabilidades de encontrar un pórfido cuprífero de mayor tonelaje que las franjas

Cretácico Superior - Paleoceno y la Franja Cretácica. Estas probabilidades dependen principalmente de las características geológicas, del grado de intensidad que han alcanzado las faenas de exploración y de los resultados de dichas exploraciones. El éxito para una compañía además depende del área disponible para realizar exploración y de su presupuesto.

Se puede concluir que para llevar a cabo la exploración geológica cuando una compañía decide donde explorar debe considerar un amplio programa de exploración bien diseñado para poder disminuir en forma considerable el riesgo.

El riesgo en la exploración se puede representar como:

- 1.- La probabilidad de que exista un depósito mineral
- 2.- La probabilidad que el depósito mineral sea económico.

Prof. Guía: Sr. Carlos Palacios  
06-12-94

## **ESTUDIO GEOLOGICO DEL DISTRITO AURIFERO LAS PALMAS, CON ENFASIS EN LA VETA VALENCIA, VII REGION, CHILE.**

**Waldo Candia Baeza**

El distrito aurífero Las Palmas está situado 30 km al NW de Talca, en el borde oriental de la Cordillera de la Costa. En el distrito afloran andesitas y tobas andesíticas de la Formación Alto de Hualmapu (Jurásico Superior), que constituyen la roca de caja que alberga la mineralización. Estas rocas re-

presentan la exposición de un arco volcánico desarrollado a partir del Jurásico Superior, y activo hasta el Cretácico Superior.

En el área estudiada se reconocieron 11 grupos de vetas de cuarzo aurífero, de las cuales las más importantes son las vetas Valencia, Quillay y Esperanza. Las



vetas se emplazan en fallas de orientación NW a EW, y alcanzan corridas de hasta 1.5 km (a lo largo de las cuales se reconocen sectores de clavos de mena que alternan con tramos de baja ley).

La veta Valencia tiene un rumbo general N60° a N85°W, con manteo variable de 60° sur a subvertical. Consiste en una veta principal, de 1 a 3 m de ancho, que en sectores se ramifica conformando cuerpos de mayor potencia. Mineralógicamente consiste de pirita, esfalerita y galena, con menores cantidades de calcopirita, especularita y oro nativo. La ganga consiste de cuarzo y clorita. La mineralización aurífera se encuentra en forma de oro nativo, asociado a cuarzo, rellenando fracturas en pirita y también asociado con esfalerita y galena. Las mayores leyes se encuentran asociadas a zonas de bandeamiento rítmico de cuarzo, clorita y sulfuros. La alteración hidrotermal de la roca de caja consiste en silicificación, con vetilleo de cuarzo que es más abundante cerca del contacto con la veta, y propilitización creciente en profundidad y hacia afuera de la veta. Adularia y sericita ocurren en los niveles superiores.

La estructura Quillay está confor-

mada por 4 vetas que contienen mineralización aurífera de mayor tonelaje que la veta Valencia, aunque con leyes promedio más bajas. La mas importante es la Veta Negra, que presenta bolsionadas de hasta 20 m de ancho, con mineralización asociada a brechización hidrotermal. Mineralógicamente consiste en cuarzo, jaspe, arcillas (clorita), pirita, esfalerita, galena, calcopirita, hematita y magnetita. Las texturas son bandeadas a brechosas. Presenta alteración argílico sericítica en los niveles superiores, con silicificación que aumenta en profundidad.

La veta Esperanza es una estructura tabular, con una potencia variable entre 1 y 3 m. Presenta mineralización aurífera asociada a cuarzo, con un mayor contenido de sulfuros de metales base, especialmente esfalerita y galena.

Las características mineralógicas, texturales y de alteración resumidas, permiten afirmar que Las Palmas corresponde a un yacimiento epitermal de tipo cuarzo adularia.

Prof. Guía: Francisco Franquesa  
07-07-94

## **GEOLOGIA Y EVALUACION DEL AREA SAUCE ORIENTAL YACIMIENTO DE COBRE TIPO SKARN EL SAUCE, COMUNA DE CABILDO, V REGION , CHILE**

**Juan Carlos Cano Matus**

Los antecedentes geológicos del yacimiento tipo Skarn de cobre El Sauce, ubicado en el Subdistrito Cabildo Central, han permitido inferir áreas con potencial económico en el contacto de la aureola metamórfica provocada por

el batolito granodiorítico de Cabildo y definir los límites del yacimiento entre las minas Las Guías y Los Maquis.

Estos antecedentes permitieron llevar a cabo un reconocimiento en el área



denominada Sauce Oriental, que se em-  
plaza en los equivalentes metamór-  
ficos-metasmáticos de las rocas car-  
bonatadas de la unidad estratigráfica  
intermedia de la Formación Lo Prado,  
denominada localmente como Secuen-  
cia Inferior Sauce. Se caracteriza por  
contener como minerales de mena a la  
Calcopirita y la Calcosina, este último  
como mineral de alteración.

El método de trabajo utilizado en el  
área de estudio empleó el modelo de  
evaluación para los skarn del yacimien-  
to El Sauce, definido por el suscrito en  
1989. Distingue varios tipos de reser-  
vas relacionadas a la calidad del mine-  
ral de cobre detectado. En él se em-

plean planos "estructurales" por manto  
que incluyen curvas de espesores y le-  
yes y que son utilizados para efectuar  
una cubicación detallada.

Los resultados de este estudio de-  
mostraron una cubicación total de 3,6  
millones de Toneladas In Situ con una  
Ley Media de 1,31% Cu total, para  
mantos con espesor mayor o igual a 4  
metros y 264 mil Toneladas In Situ con  
una ley media de 0,98% Cu Total, para  
mantos con espesores inferiores a 4  
metros.

Prof. Guía: Sr. Waldo Vivallo

06-07-94

## GEOLOGIA ESTRUCTURAL DE LA PENINSULA BRUNSWICK

Luis Ignacio Farfán Villegas

El sector estudiado se ubica en la  
zona central de la Faja Fallada y Ple-  
gada de Magallanes (FFPM), expuesta  
en la Península Brunswick.

Los depósitos preservados a lo lar-  
go de un perfil de orientación SO-NE  
en el sector sur de la Península Brun-  
swick evidencian una estratigrafía co-  
rrespondiente a la de un margen conti-  
nental pasivo desarrollado en una  
"Cuenca Marginal" cretácica con fon-  
do de rocas verdes. Estos depósitos  
fueron comprimidos y deformados a  
partir de mediados del Cretácico, y  
como producto las rocas se apilaron  
tectónicamente causando una sobrecar-  
ga y un alto topográfico. La sobrecar-  
ga tectónica impulsó el desarrollo de

una flexura cortical, en que la depre-  
sión generada constituiría una cuenca  
hacia el antepaís, y la erosión del alto  
topográfico proporcionaría durante el  
Terciario el relleno sedimentario que  
actualmente constituye la "Cuenca de  
Magallanes".

La deformación de las rocas aquí  
observadas se puede dividir en dos gru-  
pos principales:

- 1.- Despegue de la cobertura sedimen-  
taria, con desarrollo de estructuras  
imbricadas tipo dúplex concentra-  
das en un nivel estratigráfico, y aba-  
nicos imbricados como continua-  
ción de estos dúplexes hacia el  
antepaís.



2.- Reactivación inversa de fallas normales desarrolladas en el basamento durante el período de expansión de la cuenca en el Jurásico.

La Faja Fallada y Plegada de la Península Brunswick (FFPPB) se subdividió según la intensidad de la deformación y el estilo estructural en tres Provincias estructurales que se denominaron Provincia Interna, Provincia Imbricada y Provincia Externa.

Los mecanismos de deformación en la Provincia Interna son:

- i) El fallamiento del Basamento Paleozoico que permite su imbricación en tres escamas kilométricas.
- ii) El desarrollo de dúplexes en la base de la cobertura sedimentaria y fallas de corrimiento que divergen a partir de la falla de techo del sistema de dúplexes.

Los mecanismos de deformación en la Provincia Imbricada corresponden principalmente a los efectos de un abanico imbricado desarrollado como la continuación, en un nivel más somero de la falla de techo del sistema de dúplexes observado en la Provincia Interna. La propagación de las fallas de este Abanico Imbricado generó una serie de "anticlinales de pared colgante" asimétricos de longitudes de onda kilométricas, de cuya geometría se dedujo

un nivel basal de despegue aproximadamente a 4 Km de profundidad.

En la Provincia Externa la deformación se expresa como pliegues asociados a la propagación de fallas de un Abanico Imbricado de dimensiones menores a las del abanico desarrollado en la Provincia Imbricada, y representan la culminación del desplazamiento de las fallas de piso. Estos pliegues no presentan longitudes de ondas que superen la escala hectométrica. La característica más importante de este sector de la FFPPB es el manteo monoclinal hacia el nor-este que presentan las rocas en el sector nor-este de la Península, hasta el término de la deformación.

Se infiere la reactivación inversa de una gran falla extensional lítrica, cuya extensión abarca casi la totalidad de la zona estudiada. La orientación de esta falla es tal que permite el alzamiento de bloques de basamento y cobertura, alzamiento que es máximo en la zona del traspais y disminuye paulatinamente hacia el antepais.

El acortamiento total estimado para este sector de la FFPM es superior a los 55 km.

Prof. Guía: Sr. Jorge Skarmeta  
24-10-94

## **GESTION AMBIENTAL EN PROYECTOS MINEROS: ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL, PROYECTO MANTOVERDE, III REGION.**

**Manuela Ximena Garrido Lazo**

La Ley Sobre Bases Generales del Medio Ambiente, Ley 19.300, considera que todo proyecto que pueda tener in-

fluencia en el medio ambiente, deberá contar con el correspondiente Estudio de Impacto Ambiental. Dentro de las acti-



vidades clasificadas por la Ley que requieren un Estudio de Impacto Ambiental, los proyectos mineros ocupan un lugar destacado debido a la influencia decisiva que tienen en el medio ambiente.

En esta Memoria, que consta de dos partes, se presenta un estudio detallado de las características que debe tener el Estudio de Impacto Ambiental de un proyecto minero, y su aplicación al desarrollo del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Minero Mantoverde, el cual ha sido coordinado y visado por la autora de la Memoria, en su calidad de jefa del área de Gestión Ambiental de la Empresa Minera de Mantos Blancos S.A.

En la primera parte de la Memoria se desarrolla la metodología necesaria para la realización de un Estudio de Impacto Ambiental aplicado a un proyecto minero, así como la legislación correspondiente y las instancias que lo regulan y visan.

Dentro de este capítulo se especifican las distintas etapas de que consta un Estudio de Impacto Ambiental y sus contenidos fundamentales: antecedentes y descripción del proyecto, línea de base ambiental, identificación de efectos adversos y evaluación de impactos, medidas de mitigación y manejo ambiental, plan de monitoreo y plan de abandono.

En la segunda parte se presenta el Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Minero Mantoverde, desarrollado de acuerdo a la metodología descrita en la parte inicial. El proyecto Mantoverde, de propiedad de la Empresa Minera de Mantos Blancos S.A., se ubica en la III región de Atacama. El proyecto consiste en una explotación a rajo abierto para la extracción de 5.4 millones de toneladas

de mineral de cobre oxidado por año, con una ley media de 0.8 % de cobre total y procesamiento mediante lixiviación en pilas, extracción por solvente y electro-obtención para una producción de cátodos de cobre anual del orden de 42.000 toneladas. El proyecto Mantoverde obtuvo su aprobación ambiental en diciembre de 1993.

El alcance del Estudio de Impacto Ambiental realizado ha permitido incluir en la etapa de ingeniería de detalle las recomendaciones relativas al manejo ambiental tendientes a mitigar, evitar y/o reducir los impactos negativos en las variables sensibles diagnosticadas por el estudio.

Asimismo, y como parte de la experiencia profesional en el campo de los Estudios de Impactos Ambientales aplicados a proyectos mineros se han introducido varias recomendaciones relativas a la conveniencia de compilar datos ambientales de manera sistemática desde las primeras etapas del proyecto, la importancia de interactuar con los equipos técnicos promoviendo consideraciones ambientales de diseño e ingeniería en los proyectos, la necesidad de fortalecer el campo formativo en materias ambientales aplicadas desde las universidades, fomentando la participación de los geólogos en equipos multidisciplinarios de investigación y docencia en medio ambiente, especialmente aquellos relacionados con proyectos mineros.

Prof. Guía: Sr. Ricardo Thiele  
20-07-94



# ESTUDIO GEOLOGICO DE LAS MINAS CONSUELO Y EL ESPINO. DISTRITO MINERO NALTAGUA, REGION METROPOLITANA, CHILE

Jaime R. Oyarzún Bustos

El presente trabajo fue encomendado a Mindes S.A. y al autor por Sociedad Legal Minera Las Cenizas, con el propósito de efectuar una estimación preliminar de reservas en mineral sulfurado de cobre, en las minas Consuelo y El Espino, con la aspiración de obtener a lo menos 350.000 toneladas tanto de mineral demostrado como inferido y con ley no inferior a 1,75% de CuI.

El yacimiento tanto en la mina Consuelo como en la mina El Espino, es del tipo mantiforme, correspondiendo en ambos casos a un mismo manto de dos litologías. Arriba calizas arenosas

con una potencia media del orden de 2,5 m y abajo toba brechizada con una potencia media del orden de 4 m.

La mineralización es de calcopirita en la caliza arenosa y calcopirita y bornita en la toba brechizada.

El manto es cortado por grandes fallas normales que lo desplazan con hundimiento de bloques al oeste y rechazos estratigráficos del orden de 40 a 80 m y desfases laterales significativos.

Se comprueba la existencia de un tonelaje apreciable de rocas mineralizadas pero con baja ley en cobre Insoluble.

Mina	Caliza		Toba brechizada	
	Toneladas	% CuI	Toneladas	% CuI
Consuelo	291.589	0,81	400.231	0,79
El Espino	99.387	1,06	159.019	0,50

De estos tonelajes en la Mina Consuelo se reconocieron, con ley sobre 1,75% Cobre Insoluble, las siguientes reservas:

	Toneladas	% CuI
Reservas Medidas	17.140	1,92
Reservas Indicadas	5.670	2,19
Reservas Inferidas	24.581	2,19
	47.391	2,09

Prof. Guía: Sr. Waldo Vivallo 09-06-94



# HIDROGEOLOGIA DE LA CUENCA DE LA QUEBRADA CODOCEDO, PROVINCIA DE COPIAPO, III REGION

María Fernanda Rojas García

En el presente trabajo, se expone los resultados del estudio orientado a determinar la existencia de recursos hídricos subterráneos en la Cuenca de la Quebrada Codocedo, Provincia de Copiapó, III Región, identificando la secuencia estratigráfica a la que éstos se asocian; relacionando su calidad química con la zona mineralizada de La Coipa; determinando un uso de acuerdo a ésta última y finalmente, estimando la vida útil del embalse considerando una extracción continua de 15 l/s.

La geología del área en estudio presenta las siguientes unidades:

- Basamento Paleozoico expuesto en el sector de cabeceras de la cuenca, donde se desarrolla la Precordillera de Domeyko;
- Cobertura de: rocas sedimentarias y volcano-sedimentarias pre-Terciarias, distribuidas homogéneamente en el sector medio y de cierre de la cuenca, donde se desarrolla un relieve de transición de cordones de baja altura; flujos volcánicos de la cadena Maricunga - Cerro Vicuña, dispuestos discordantemente sobre las unidades anteriores; depósitos de gravas e ignimbritas del Mioceno Inferior, desarrolladas sobre una vasta superficie peneplanizada y sedimentos Cuaternarios depositados en los valles de la actual red de drenaje.

Las estructuras principales expues-

tas en la zona corresponden a un sistema de fallas inversas que han generado pliegues en compresión en el sector de cabeceras y otro sistema de fallas normales distribuido hacia la zona de cumbres bajas y peneplanizadas, que controlan la red de drenaje secundaria. La edad de ambos eventos es Oligoceno Inferior y Oligoceno Superior-Mioceno, respectivamente.

El acuífero definido en la zona se relaciona con depósitos no consolidados del Holoceno, de origen fluvio-aluvional, espesor reconocido en torno a 80 m, ancho medio de 200 m y extensión de 16 km, aproximadamente.

El nivel freático reconocido se ubica cerca de los 54 m de profundidad, con un grado de semiconfinamiento. Las pruebas de bombeo realizadas en este acuífero muestran que: los conos de depresión alcanzan barreras impermeables a distancias de 100 m; y que existen dos secuencias de transmisividad característica: los depósitos fluvio-aluvionales, con 1500 m<sup>2</sup>/día y otra unidad de menor permeabilidad, con 600 m<sup>2</sup>/día.

El respaldo hidrológico de la cuenca lo constituyen precipitaciones medias de 64 mm anuales, que son sobrepasadas por la alta tasa de evaporación, generándose un excedente hídrico en la cuenca sólo con precipitaciones de 20% de probabilidad de excedencia. En este caso, el escurrimiento superficial es del orden de 21 l/s y la recarga ha-



cia el acuífero alcanza cerca de 10 l/s, en la misma eventualidad.

El movimiento de agua subterránea ocurre desde las cabeceras de las quebradas Codocedo y La Coipa, con un gradiente hidráulico cercano al 3%. El flujo estimado en la Quebrada La Coipa coincide con el calculado en el sector de cierre de la cuenca y es, del orden de 1 l/s. En el sector medio éste alcanza a 10 l/s, influenciado por recargas externas probablemente desde medios de menor permeabilidad.

La descarga ocurre desde dos captaciones ubicadas en el tramo medio de la Quebrada Codocedo con un total de 15 l/s en forma continua y permanen-

te, además de la descarga natural hacia la cuenca de San Andrés. Considerando la extracción anterior, el acuífero será totalmente drenado al cabo de 17 años, sin considerar recarga.

La calidad química de la red de drenaje distingue entre tipos de nacientes, vegas y zonas de alteración, encontrándose dentro de éste último grupo las aguas superficiales de La Coipa-Codocedo y el agua subterránea de Codocedo. Son aguas calco-alcalinas, sulfatadas y ácidas.

Prof. Guía: Sr. Ricardo Thiele  
20-01-94

## GEOLOGIA, ALTERACION Y MINERALIZACION DEL PROSPECTO ANILLO, II REGION, CHILE

Orlando Rojas Otarola

Los antecedentes regionales y locales recogidos en el Prospecto Anillo con el objeto de revisar su potencial de mineralización, permiten señalar que la secuencia de rocas volcánicas presente en el sector, forma parte de una extensa provincia volcánica de edad Cretácico Superior - Eoceno que en el área de estudio alcanzó su máximo desarrollo durante el Paleoceno - Eoceno Inferior. Esta secuencia presenta una baja tasa de erosión y características compatibles con un volcanismo circunscrito a un ambiente de tipo extensional.

Las rocas volcánicas en el área del prospecto son intruída por una serie de

pórfidos dioríticos, los que forman fajas o diques de rumbos NNE - SSW o NW-EW. Estos cuerpos intrusivos representarían a cúpulas de masas ígneas profundas correlacionables con los complejos intrusivos del Cerro Paisaje y El Peñón de ca. 48 Ma y 42 Ma respectivamente.

Parte de los pórfidos dioríticos asociados al Complejo El Peñón, serían responsables del principal evento de alteración y mineralización datado en ca. 43 Ma (Eoceno Medio), el cual se expresa ampliamente en el área del prospecto, desarrollando una zonación de la alteración consistente en un sector central con alteración a pirofilita,



díasporo, alunita y fuerte silicificación que pasa hacia el sur a una zona con sericita, sin pirofilita y de menor silicificación. Esta zona central desarrolla hacia el este un halo externo propilitico con clorita - epidota en el cual se emplazan vetas limoníticas de rumbo NW - EW.

Las asociaciones mineralógicas de los distintos arreglos de alteración hidrotermal y los resultados del estudio de inclusiones fluidas, indican que el ambiente del sistema hidrotermal fue de alta sulfidización, baja actividad de potasio, temperaturas del orden de 311 °C y baja salinidad, evidenciándose una superposición («telescoping») de eventos de alteración y una participación predominante de fluidos meteóricos en el sistema. La paleo profundidad estimada fue de 1125 m.

La mineralización aurífera microscópica y la intensa mineralización de sulfuros descrita en el prospecto sería

aportada por fluidos hidrotermales relacionados a los «stock» de pórfidos dioríticos con desarrollo de vetillas de cuarzo, a vetas limoníticas y brechas hidrotermales.

Todo lo anterior implica un ambiente transicional entre un sistema epitermal ácido sulfato y un sistema tipo pórfido de oro para el Prospecto Anillo.

Los sectores con mayor potencial para futuras exploraciones se encontrarían asociados a la franja de pórfidos dioríticos de rumbo NNE-SSW y a la zona más meridional del prospecto, en donde se desarrollaría el centro del sistema hidrotermal y un ambiente tipo pórfido. Este último sector se encuentra, además, bajo cobertura aluvial.

Prof. Guía: Sr. Waldo Vivallo  
05-12-94

## **ESTUDIO GEOLOGICO SECTOR VETA NEGRA, V REGION**

**Hernán Soza Gática**

El presente trabajo tuvo como objetivo establecer el potencial cuprífero del sector Veta Negra ubicado inmediatamente al este de la mina El Soldado, en la Quinta Región, de propiedad de Cía. Minera Disputada de Las Condes.

La metodología empleada consistió fundamentalmente en mapeos geológicos a diferentes escalas y muestreos de roca, tanto en superficie como subterráneo.

En el Sector Veta Negra, aflora una secuencia volcano-sedimentaria, monoclinal de rumbo general NNE e inclinación de 30° al este. En ella es posible diferenciar una serie de niveles volcánicos de tipo brechoso, tobas y lavas con composiciones que varían desde andesítica a dacítica. También existen algunas niveles sedimentarios, del tipo areniscas, en los cuales se intercalan delgados niveles de lutitas y



conglomerados. La presencia de niveles traquíticos y cuerpos intrusivos de la misma composición, tienen particular importancia por su posible similitud con los fenómenos mineralogénicos que caracterizan el yacimiento de cobre El Soldado. Esta secuencia forma parte de la Formación Veta Negra de edad Cretácica Inferior.

En el área estudiada se reconocen dos sistemas estructurales principales, de rumbo NE y NO, que se manifiestan por fallas poco importantes y por algunos diques dioríticos con ésta orientación.

En el sector Veta Negra, la mineralización cuprífera está restringida a dos niveles de areniscas con intercalaciones finas de lutitas donde ocurre como calcosina, calcopirita y bornita diseminada y en venillas. También existen algunas vetas menores que afectan otras litologías. El potencial máximo establecido para los mantos de Veta Negra es del orden de las 200.000

toneladas métricas de mineral por cada kilómetro de corrida y por 100 metros de descuelgue.

En el sector Lena, ubicado al noreste del yacimiento El Soldado, en la parte basal de la secuencia volcánica que contiene los mantos de Veta Negra, la mineralización está en forma de vetas y vetillas emplazadas en andesitas. La mayor de éstas estructuras (Veta Lena) está también relacionada a un intrusivo traquítico. Veta Lena no es importante por su potencial, pero por la similitud del ambiente con aquel del yacimiento El Soldado se puede considerar que ella representa una estructura alimentadora que, en conjunto con otros elementos como la presencia de traquitas y fallas, pudo contribuir o ser parte del emplazamiento de clavos mineralizados de interés para CMD.

Prof. Guía: Sr. Waldo Vivallo

Orlando Rojas Otazola

## EVALUACION GEOLOGICA DEL PROSPECTO CUPRIFERO TUGAL, IV REGION, COQUIMBO, CHILE

Juan Carlos Zamora Gamez

El presente trabajo se originó de un programa de exploración que identificó una vasta zona que presentaba mineralización de cobre contenida en rocas sedimentarias que por su volumen podrían sostener el desarrollo de un proyecto minero de gran envergadura. Para tal efecto se propuso definir el control de la mineralización, su extensión y potencial explotable e identificar niveles

mineralizados similares ubicados en las proximidades para que en conjunto conformaran un yacimiento.

El trabajo contempló el levantamiento geológico a escala 1:10000, sobre foto aérea ampliada, no compensada, de un área de 28 km<sup>2</sup>. Además se completaron 8000 metros de perfiles estratigráficos a escala 1:1000. Finalmente se realizaron 10 sondajes verticales con recuperación



de polvo para intersectar el manto mineralizado en profundidad.

El Prospecto Cuprífero Tugal se ubica a unos 40 kilómetros, en línea recta, al noreste de la ciudad de La Serena en la Cuarta Región, próximo al antiguo distrito argentífero de Arqueros. Sus coordenadas geográficas medias son 29°45' latitud sur y 70°55' longitud oeste, su altura media es de 1.400 m. s. n. m.

El área de la zona estudiada esta íntegramente ocupada por una alternancia de rocas calcáreas de origen marino y ocoitas asignadas a la Formación Arqueros, que se encuentra levemente plegada formando un anticlinal ancho, cuyo flanco occidental se expone en la zona, y que se encuentra íntensamente fallado produciendo una repetición múltiple de los estratos.

Se observan minerales de cobre alojados en una secuencia de areniscas, conglomerados, tobas calcáreas, calizas puras y calizas bioclásticas a través de toda la columna. Es sin embargo, en la base del Miembro 4 de la Formación Arqueros donde se presenta la mejor concentración, formando un manto de 3 a 10 metros de potencia asociados a calizas puras, fosilíferas.

La mineralización consiste en calcosina, calcopirita, bornita, pirita (en orden decreciente de ocurrencia) acompañada de abundante hematita y menor cantidad de magnetita. Aparece además malaquita y crisocola como minerales secundarios. La calcosina es el mineral más abundante, se presenta finamente diseminada, con granos menores de 50 micrones, lo que hace difícil su observación a simple vista, salvo cuando esta formando núcleos en zonas de alta ley. Es de origen primario y constituye normalmente el único mineral de cobre presente, a veces acompañado por trazas de malaquita que aparece reemplazándola

en zonas expuestas a la meteorización. Tanto la calcopirita como la bornita muestran una granulometría mayor, son visibles a simple vista y su distribución es periférica a la zona de calcosina. No se observaron minerales de plata, pero existe una correspondencia con los valores de cobre.

Se postula un origen diagenético para la mineralización de cobre presente en Tugal, formado por soluciones ricas en cobre que invadirían las rocas sedimentarias inmediatamente después de su depositación cuando todavía presentaban porosidad y cantidades de hidrocarburos suficientes y condiciones especiales de Eh y pH que permitirían la precipitación del cobre de soluciones provenientes de la diagénesis de las rocas vecinas. Las rocas sedimentarias marinas se habrían depositado en cuencas aisladas, salinas de poca profundidad ricas en material orgánico.

Unos 9 km al oeste de Tugal se encuentran las minas del Distrito de San Antonio que explotaron mantos mineralizados con cobre y hierro y cantidades menores de oro alojados en niveles de calizas que corresponden a los observados en Tugal y que fueron metamorfizados por el granito de Santa Gracia.

Con los antecedentes obtenidos de trabajos anteriores combinados con los resultados del presente trabajo se identificaron reservas potenciales de 3.790.000 toneladas de 1.07% de cobre para el sector central de Tugal y 2.310.000 toneladas de 1.27% de Cu para el sector al norte. Tanto al oeste como al sur de la zona central existen posibilidades de encontrar 1.580.000 toneladas de mineral de sobre 1% de Cu.

Prof. Guía: Sr. Waldo Vivallo  
01-06-94



# CARACTERIZACION GEOLOGICA Y GEOESTADISTICA DEL CUERPO POTENCIAL EN EL YACIMIENTO DE MANTOS BLANCOS

Andrés Edgardo Molina Hidalgo

El yacimiento cuprífero de Mantos Blancos se localiza en el Desierto de Atacama, a 45 km al noreste de la ciudad de Antofagasta, en la Segunda Región de Chile.

La secuencia volcánica que alberga al yacimiento, comprende rocas volcánicas intermedias a riolíticas de edad probable Triásico tardío. Las rocas intrusivas están representadas por numerosas y variados tipos de diques máficos y cuerpos subvolcánicos andesíticos y dioríticos. Las fallas son aproximadamente verticales de dirección norte - noreste, que delimitan bloques de rocas y cuerpos mineralizados. La mineralización corresponde a cuerpos irregulares oxidados y sulfurados de cobre, confinados principalmente en la unidad dacítica.

Protercera es un cuerpo mineralizado que se localiza en la parte central norte del yacimiento, y es donde se centra el estudio en detalle de: la distribución de las especies mineralógicas, tratamiento estadístico y geoestadístico de las leyes existentes en dicho cuerpo, además la evaluación del recurso mineral por diversos métodos, comparándolos entre sí. Finalmente se investigó la aplicación del concepto de regionalización.

Para tales propósitos, se caracteriza geológicamente el cuerpo mineralizado en base a su litología, mineralogía y estructuras, con énfasis en la asocia-

ción mineralógica de las especies sulfuradas.

Comparando los diferentes sistemas de muestreos, se determinó que no es recomendable usar los sondajes churn drill en cálculos de evaluación.

Las zonificaciones sulfuradas principales que se definieron en Protercera son:

- Calcopirita
- Calcopirita-Bornita
- Calcosina-Bornita

Estas zonificaciones presentan diferencias estadísticas notables entre sí, pero el comportamiento distribucional de la mineralización para todas es Normal. Estas diferencias posibilita definir una regionalización de carácter mineralógico a objeto de mejorar los resultados de evaluación.

El tratamiento geoestadístico, consistió en realizar una aplicación práctica del análisis estructural de la regionalización, usando la herramienta variograma y la variable % cobre insoluble. Por lo tanto:

- El desplazamiento de la variable en los gráficos de leyes, indican claramente que su variación tiene un comportamiento de Fenómeno Estacionario.
- Los variogramas experimentales calculados en sentido horizontal y



vertical, fueron ajustados según el modelo teórico. Este modelo de ajuste es compatible con el resultado anterior de Fenómeno Estacionario.

- Los distintos alcances geoestadísticos obtenidos en Proterocera, representan un cuerpo anisótropo que varía entre 10 y 50 metros, destacándose la dirección norte sur como la de mayor longitud, y la dirección vertical como la de menor longitud. Estos resultados se corresponden con la descripción geométrica y control estructural preferencial del cuerpo mineralizado.
- El efecto pepita ajustado a todos los modelos fue  $C_0=0,1$ . Se interpreta el valor de este parámetro como razonablemente bueno, indicando que la calidad del muestreo es homogénea entre sí.

Para los diferentes métodos de evaluación aplicados sobre un mismo sector geológico y una base de datos común, se obtuvo que los estimadores geoestadísticos e Ivor simple producen

una sobre-estimación a las leyes bajas y una sub-estimación a las leyes altas. En cambio, el método Ivor condicionado manifiesta un comportamiento distinto y sistemático respecto a los otros, produce una sobre-estimación en todo momento.

Finalmente, se evidencia que en una regionalización por Zonas Minerológicas, los parámetros geoestadísticos efecto pepita y meseta deben ajustarse según corresponda a la Zona, manteniéndose el modelo esférico y alcance dentro de un cierto rango. Un efecto pepita variable influye directamente en la función semivariograma y cálculos siguientes de evaluación, además, las distintas mesetas obtenidas corrobora las diferencias entre varianzas estadísticas que existen entre una población y otra, asociadas a una determinada Zona Minerológica.

Prof. Guía:

Marcos Alfaro-Francisco Franquesa

22-03-94

## RECONOCIMIENTO HIDROGEOLOGICO DE LA ZONA COSTERA LITORAL CENTRAL, V REGION

Marcela Ester Valenzuela Bustamante

El presente estudio, realizado en la empresa Ingeniería Sitac S.A., se orienta al reconocimiento de áreas hidrogeológicamente interesantes, en la zona costera de la V región comprendida entre Los Molles por el norte y Llolleo por el sur.

Estas áreas deberán reunir características que justifiquen una futura evaluación acabada de sus aguas subterrá-

neas, teniendo presente que la finalidad es el abastecimiento de agua potable a los actuales centros-turísticos deficitarios del recurso, o a lugares con potencial desarrollo urbano-turístico.

Uno de los factores que hacen interesante el estudio del recurso hídrico en esta zona es que, durante el verano y los feriados largos, la afluencia de turistas es elevada y, aún cuando se ha



desarrollado una importante infraestructura para la distribución de agua potable, en muchos lugares los recursos resultan insatisfactorios. Además, continuamente se están creando nuevos centros de turismo, que requieren de más agua para sus instalaciones.

En su primera parte, el trabajo se orientó a la recopilación y análisis de antecedentes básicos, relacionados con la hidrología, geomorfología, hidrogeología, geología y clima del área. Se recopiló también, la información de los derechos de aprovechamiento de agua subterránea, solicitados y constituidos, en el sector en estudio.

La segunda fase del estudio consistió en el reconocimiento del terreno, con la finalidad de obtener antecedentes complementarios al análisis previo y conocer el uso real de las captaciones de agua subterránea, de mayor relevancia en cada sector.

Sobre la base de los antecedentes hidrológicos e hidrogeológicos examinados, se realizó, para cada cuenca y sector costero, un balance de carácter estimativo de la explotación actual y la disponibilidad del recurso.

Finalmente, agregando al análisis los antecedentes de la disponibilidad legal del recurso y el atractivo turístico

co, se seleccionaron 26 áreas de interés, algunas de las cuales no cumplen con todos los requisitos establecidos, pero tienen algún factor que hace determinante su elección.

Las áreas seleccionadas presentan diversos grados de relevancia, en cuanto a la superficie que cubren y al caudal explotable, sin embargo el presente estudio no considera la priorización de ellas.

La evaluación hidrogeológica de estas cuencas litorales debe considerar, como parte fundamental, la determinación del flujo subterráneo hacia el mar, para explotar el acuífero sin riesgo de intrusión salina, que significaría el deterioro de la calidad del agua para todos los usuarios del sector en cuestión.

Por esta razón, se recomienda hacer sondeos de exploración durante la evaluación independiente de las cuencas, en los cuales se controle las características físico-químicas del agua subterránea durante las pruebas destinadas a conocer las constantes elásticas del acuífero.

Prof. Guía: Sr. Francisco Townsend  
20-07-94

## **ABASTECIMIENTOS DE MATERIAS PRIMAS PARA UNA PLANTA DE FABRICACION DE CAL EN LA III REGION**

**Víctor Antonio Vidal Piñeiro**

El desarrollo minero de la Tercera Región en los últimos años ha impli-

cado un importante crecimiento de la demanda de cal. A los numerosos usua-



rios de este producto existentes hacia el año 1988, se agregaban los consumos de una serie de otros proyectos en estado de evaluación, que de materializarse significarían nuevos e importantes mercados de este producto. Estas razones motivaron a Cemento Bío Bío S.A., para decidir la instalación de una moderna planta de cal con una capacidad instalada de alrededor de 150.000 toneladas al año, que debería estar ubicada en las cercanías de la ciudad de Copiapó.

El presente trabajo corresponde a la descripción de los trabajos de prospección, estudios geológicos, químicos y evaluación de materias primas calcáreas destinadas al abastecimiento de la planta. Los estudios de prospección preliminares y antecedentes recopilados de informes geológicos anteriores realizados por diversos autores, revelaron que en los sedimentos calcáreos de la franja de depositación marina neocomiana ubicada en la Tercera Región, al sur de Copiapó, existían varios sectores con reservas de caliza potencialmente interesantes en cantidad y calidad. Los estudios y muestreos iniciales realizados por Cemento Bío Bío S.A. a través de su filial INACESA, permitieron definir como horizonte de prospección las capas del miembro superior de la Formación Nantoco, nivel estratigráfico que mostró la presencia de un paquete de 30 a 50 metros de potencia de calizas con contenidos de  $\text{CaCO}_3$  superiores a 90%.

En una segunda etapa se determinó la existencia de cinco puntos ubicados en los sectores de Cerro Jilguero, Cerro Ladrillos, Quebrada Meléndez, Quebrada Cerrillos y Totoralillo. Dichos puntos fueron recomendados

como sectores favorables para centrar en ellos la investigación. Mediante estudios superficiales, se cubicaron reservas superiores a 5.000.000 de toneladas posibles de caliza apta para el proceso en los cuatro primeros.

Se definió, por ubicación, accesos, reservas y calidad física y química de la caliza, a Cerro Jilguero como el blanco de estudio principal. En él se desarrollaron dos campañas de sondajes, una de diamantina y otra con recuperación de polvo, las que entregaron una cubicación final de 11.000.000 toneladas de caliza de alta ley, suficientes para soportar el abastecimiento a la planta en sus primeros 20 años de producción. Las reservas probadas tienen un contenido promedio de 93% en  $\text{CaCO}_3$ , 52% de  $\text{CaO}$  y 3% de  $\text{SiO}_2$ . En el sector Sur del depósito se delimitó un cuerpo de 1.500.000 toneladas de caliza con contenido de  $\text{SiO}_2$  inferior a 3%. Desde este sector se extraerá mineral destinado a la fabricación de cales especiales con bajo contenido en este elemento. En forma adicional se detectó, estudió y evaluó un depósito de caliza magnesiana, ubicado en Cerro Ladrillos, el cual ha permitido a la empresa abordar nuevos proyectos en el campo industrial y agrícola. La caliza magnesiana cubicada en Cerro Ladrillos alcanza a 2.200.000 toneladas con contenido de  $\text{MgO}$  de 13% a 19%, constituyéndose en la actualidad en el único depósito explotado de este tipo de material en el país.

Prof. Guía: Sr. Carlos Palacios

05-12-94



# EVALUACION HIDROGEOLOGICA DEL SECTOR NORTE DEL SALAR DE AGUAS BLANCAS. PROVINCIA DE ANTOFAGASTA, II REGION

Carmen Cecilia Copier Mella

Mediante la evaluación hidrogeológica se busca determinar la disponibilidad de aguas subterráneas en un área específica. Esto considera determinar la identificación de las principales unidades acuíferas, calidad química del agua alumbrada, volumen embalsado y tiempo de vida útil del reservorio subterráneo.

En este estudio se analizó el sector norte del Salar de Aguas Blancas, Provincia de Antofagasta, 11 Región, que cubre un área de 860 km<sup>2</sup>. Esta zona incluye unidades litoestratigráficas que van desde el Cretácico Inferior hasta el Terciario Inferior, las que están intruidas por cuerpos plutónicos de edades jurásicas a eocenas. Sobre estas unidades de roca se disponen depósitos de relleno terciarios y cuaternarios, siendo los depósitos aluviales los de mayor potencial hidrogeológico.

Los sedimentos saturados existentes en el área corresponden a una interestratificación muy densa de acuíferos constituidos por arenas y gravas, y por acuífijos integrados por arcillas y limos. Existe una sobrecarga de fracciones finas que le confiere un carácter de confinamiento a la unidad acuífera definida.

Las aguas del sector son de buena calidad química, neutras a levemente ácidas, relativamente duras, relativamente blandas, no carbonatadas y con predominio de sulfatos.

La geometría acuífera se determinó a partir de estudios geofísicos y sondajes de exploración, determinando espesores

saturados de 100 m, anchos de 2 km y extensión de 20 km.

Los valores de las constantes elásticas del acuífero, calculadas por medio de pruebas de bombeo, son para el coeficiente de transmisividad de 130 m<sup>2</sup>/día y para el coeficiente de almacenamiento de 1%.

La recarga se cuantificó en base a estimaciones de volúmenes de infiltración, que potencialmente podrían alcanzar el acuífero, siendo ésta de 53.981.900 millones de metros cúbicos para un periodo de retorno de cien años, equivalente a 17 l/s.

Los caudales subterráneos que ingresan desde el sur y oeste han sido calculados en 10,2 y 3,0 l/s, respectivamente. Además existe un flujo subterráneo saliente hacia el este de 2,7 l/s.

La descarga natural ocurre a través de evaporación desde superficies con nivel freático superficial. La descarga artificial la constituye en la actualidad, un caudal de 15 l/s extraído en forma continua y permanente desde un pozo ubicado en la Estación Yungay y a corto plazo, los caudales que la Dirección General de Aguas otorgue en la zona.

Se concluye que, sin considerar recarga, existe respaldo hidrológico suficiente para explotar un caudal continuo de 40 l/s durante 11 años, con una depresión de 35 m.

Prof. Guía: Sra. Sara Elgueta  
28-8-95



# APLICACION DE SENSORES REMOTOS PARA DIFERENCIACION LITOLOGICA Y CARACTERIZACION HIDROTHERMAL PROVINCIA DE ATACAMA, III REGION, CHILE

Pamela Cristina Castro Retamal

El presente trabajo de título tiene como objetivo investigar la aplicación de distintas técnicas de procesamiento digital de imágenes Landsat Thematic Mapper. Esto con el fin de discriminar unidades litológicas y zonas con rocas hidrotermalmente alteradas, en terrenos cordilleranos carentes de cubierta vegetal.

El estudio se centró en un área de la Franja de Maricunga, en la alta cordillera de Copiapó, III Región, Chile. Esta zona forma parte del borde occidental de la puna o altiplano (4000 m snm) y se caracteriza por una gran sequedad atmosférica y escasa cubierta vegetal. Desde un punto de vista geológico está constituida por rocas estratificadas (sedimentarias y volcánicas) e intrusivas cuyo rango de edad se extiende desde el Paleozoico hasta el Terciario, con grandes áreas cubiertas por rocas volcánicas terciarias las que localmente presentan una intensa alteración hidrotermal.

Para diferenciar unidades litológicas se utilizaron las técnicas denominadas «Balance Contrast Enhancement Technique» (BCET) y "Decorrelation Strech". Los resultados indican que, para el área estudiada, la mejor discriminación se obtiene mediante la técnica de BCET en las bandas TM7, TM4 y TM1 en rojo, verde y azul (RGB) respectivamente. La nueva imagen es visualmente amigable,

con un alto grado de discriminación entre las unidades litológicas, y basada en la utilización del máximo de la información espectral disponible, (números digitales 0-255). Comparada con la técnica Decorrelation Stretch, el procesamiento de imágenes por la técnica Beet es más rápido, permitiendo la posterior clasificación y elaboración en un corto tiempo de espacios mapas con un buen grado de confiabilidad, convirtiéndose así en una excelente herramienta para la exploración minera.

La identificación de las zonas afectadas por alteración hidrotermal fue realizada por los métodos de **Razón de Bandas y Componentes Principales**. Los resultados del estudio de las zonas de alteración permitieron concluir que la Razón de Bandas es la metodología más efectiva, pues ella permite de una manera sencilla y rápida la identificación específica de rocas hidrotermalmente alteradas. Las distintas composiciones probadas en Falso color, demostraron que las Razones de Bandas (CRC) más convenientes para la detección de áreas argilizadas y limonitizadas son la razón TM5/TM7 y TM5/TM4 respectivamente.

Prof. Guía: Sr. Waldo Vivallo

08-05-95



# GEOLOGIA Y GEOQUIMICA DEL BATOLITO NORDPATAGONICO Y ROCAS VOLCANICAS ASOCIADAS A LA ZONA DE FALLA LIQUIÑE-OFQUI (45°05' - 41°40' L.S.), X REGION

Victor Carrasco Mayega

Este trabajo tuvo como objetivo ampliar el conocimiento geológico, y entregar una interpretación del origen y evolución de las rocas plutónicas y volcánicas de la región. El sector estudiado se ubica en la X Región de Los Lagos, entre las latitudes 41° 05' y 41° 40' S.

En base a antecedentes petrográficos y radiométricos, se distinguieron granitoides cretácicos y miocenos, designados como Super Unidad Puelo y Super Unidad Ralún, respectivamente.

## 1) La Super Unidad Puelo (SUP),

consiste de dos unidades plutónicas: a) U. Cochamó, compuesta por dioritas de anfíbola, leucogabros y gabronoritas. Comúnmente es atravesada por venas de cuarzo-plagioclasa; b) U. Cascajal, compuesta por tonalitas de hornblenda, biotita y +/- piroxeno. La SUP se distribuye al Este de la Zona de Falla Liquiñe-Ofqui (ZFLO), con orientación Norte a Sur y edades que oscilan entre los 108 y 124Ma.

## 2) La Super Unidad Ralún (SUR)

se compone de 4 unidades: a) U. Cayutúe, compuesta por dioritas cuarcíferas de hornblenda y biotita; b) U. Reloncaví, compuesta por tonalitas de hornblenda y biotita. Presenta inclusiones máficas y localmente orienta-

ción mineral; c) U. Peulla, compuesta por granodioritas y tonalitas de hornblenda y biotita; y d) U. Lago Chapo, compuesta por granitos y granodioritas de biotita y muscovita de grano fino. La SUR se dispone con una orientación regional NNE a NS. La SUR tiene un rango promedio de edad entre 10 a 18Ma.

Las rocas de la SUP y SUR son asignadas a la serie calcoalcalina trondjemítica y con afinidades a un arco magmático inmaduro de bajo  $K_2O$ . las rocas de falla presentes en los granitoides son escasas y discontinuas, con predominio de brechas cohesivas y salbandas en la SUP, y de cataclasitas y foliación magmática y tectónica en la SUR.

Las unidades Cayutúe, Reloncaví y Peulla tienen características mantélicas y presentan afinidad con un arco magmático inmaduro de bajo  $K_2O$ . Por su parte, la U. Lago Chapo habría tenido aportes metasedimentarios del complejo de subducción paleozoico.

La foliación magmática y tectónica, de orientación principal NNW a NS, de los granitoides de la SUR, se interpreta asociándola con los planos axiales de los pliegues en échelon dentro de una zona de cizalle simple dextral.

El emplazamiento de los granitoides miocenos fue controlado por la ZFLO,



y aprovechando, en parte, las estructuras de extensión (releasing bend) desarrolladas a lo largo de esta estructura.

La respuesta de ambas Superunidades a la actividad de la ZFLO fue relativamente diferente, siendo el comportamiento más frágil para las rocas cretácicas que en las miocenas, debido a diferencias térmicas. De este modo, las rocas de la SUR permitieron la generación de estructuras como la foliación (orientación mineral) y, de rocas menos frágiles como cataclasitas. En cambio, la SUP presenta rocas más frágiles, del tipo brechas cohesivas.

Se postula que el origen de la ZFLO se habría debido a la reactivación en el Mioceno, de estructuras desarrolla-

das en el sistema arco volcánico-cuenca marginal, durante el Jurásico Superior-Cretácico Inferior.

Alineados a lo largo de la ZFLO se construyeron varios centros eruptivos menores (CEM, Pleistoceno-Holoceno) de composición basáltica. El volcán Cerro Cuernos del Diablo (C°CD), ubicado a 25 Km al Este de la ZFLO, exhibe un alto contenido de  $K_2O$  y alta razón  $Al_2O_3/CaO$  respecto de los CEM.

Profes. Guías:  
Sres. Miguel Angel Parada  
Leopoldo López  
07-01-95

## **EVALUACION DE LA MINERALIZACION AURIFERA EN LA BRECHA KIMBERLEY, DISTRITO TAMBO**

**Víctor Manuel Estay Penna**

El presente trabajo tiene como objetivo mostrar como en la brecha Kimberly Distrito Tambo, se pudo optimizar la evaluación y calidad de las reservas de la mina utilizando el conocimiento detallado de la geología y un sistema computacional que permite modelar el yacimiento en tres dimensiones y almacenar y manejar grandes cantidades de datos

La evaluación se hizo utilizando el sistema Datamine y aplicando la técnica geoestadística de Krigeage. La metodología aplicada se lleva a cabo a través de tres etapas principales. Estas

son el modelamiento geológico, el tratamiento estadístico de los datos y la estimación de las reservas.

El modelamiento se hace en base a unidades geológicas, que son unidades de roca con similares características litológicas, de alteración y mineralización, que permiten simplificar la interpretación de la geología y su relación con la mineralización

El tratamiento estadístico de los datos se realiza para seleccionar aquellos que serán utilizados en la evaluación y para determinar los parámetros que usa el proceso de Krigeage.



La técnica de Krigeage consiste en encontrar la mejor estimación posible de un bloque utilizando las leyes que se encuentran dentro y/o fuera de él. Para ello se usó el sistema Datamine.

Es de gran importancia para obtener buenos resultados en este tipo de estimación, una buena definición de las unidades geológicas del yacimiento y un buen criterio en la selección de los datos.

La estimación mediante Krigeage usando el sistema Datamine permite obtener un cálculo de reservas confiable, que puede compararse fácilmente con el mineral extraído.

Prof. Guía: Sr. Carlos Palacios  
09-08-95

## **DISTRIBUCION Y CARACTERIZACION DE LA MINERALIZACION Y ALTERACION EN LOS NIVELES SUPERIORES DE LA MINA ESTE DEL YACIMIENTO LOS PELAMBRES**

**Leonardo Flores Rodríguez**

En el Yacimiento de tipo pórfido cuprífero Los Pelambres, se estudió el sector Mina Este, definido por las coordenadas UTM N 6.489.500 a N 6.490.200 y E 359.000 a E 5359.500 y cotas 3126 a 3054 m.s.n.m. En este sector se caracterizó la ocurrencia de la alteración y mineralización metálica y su respectiva distribución. Se modeló la distribución de los sulfuros usando criterios geológicos y herramientas geoestadísticas. En la Mina Este, se reconoció la presencia de un stock cuarzo diorítico, al menos dos generaciones de intrusiones porfídicas y un cuerpo de brecha hidrotermal. La mineralización hipógena, distribuida en las unidades litológicas mencionadas, corresponde a calcopirita, bornita y pirita. Estos sulfuros se presentan diseminados y en distintas generacio-

nes de vetillas; siendo las vetillas de halo gris las con mayor contenido de sulfuros de cobre. En la brecha hidrotermal, existen además concentraciones altas de bornita. Entre las asociaciones típicas de alteración de los pórfidos cupríferos, en la Mina Este se reconoció la alteración potásica y fílica. El estudio textural indica que en el stock diorítico se habrían registrado las etapas tardimagmática, hidrotermal principal, hidrotermal tardía y supergéna.

La mineralización del sector en estudio presenta una zonación, con dos núcleos de alta concentración de sulfuros de cobre, en los sectores norte y sur. El núcleo del sector norte es rico en calcopirita y bornita, observándose una tendencia de la bornita a ocu-



par una posición central. Espacialmente el núcleo norte está relacionado al cuerpo de brecha hidrotermal sugiriendo un control litológico sobre él. En el Sur se ha identificado un segundo núcleo de mineralización, rico en calcopirita. En el resto del área estudiada, la calcopirita es el sulfuro de cobre más abundante. En el sector Sur, los cuerpos de altas concentraciones de sulfuros de cobre se encuentran limitados hacia el NW y SE por fallas de rumbo NE a NNE.

La pirita presenta una distribución caracterizada en planta por la existencia de tres franjas, aproximadamente paralelas y de orientación NE a NNE. El contenido de pirita aumenta de NW a SE y hacia el extremo Sur, el límite entre la alta y baja concentración de pirita se relaciona a una falla de orientación aproximadamente NNE.

Las fallas más importantes se encuentran orientadas NE a NNE con manteos fuertes hacia el SE. La orientación de estas fallas, es aproximadamente coincidente con la orientación principal de las vetillas de halo gris, en las que se encontró la mayor concentración de calcopirita y bornita en un dominio externo a la brecha. Las fallas mencionadas, habrían jugado un rol importante durante el proceso de alteración supérgena, incrementando la permeabilidad secundaria de las rocas y controlando el enriquecimiento secundario. La calcosina constituye el sulfuro de enriquecimiento dominante y se encuentra siempre asociado a covelina. Los núcleos de alta concentración de calcosina y covelina se correlacionan espacialmente con los

núcleos de alta concentración de calcopirita y bornita en el Norte; y con los núcleos de alta concentración de calcopirita en el Sur, determinando la ubicación de las zonas de más altas leyes de cobre.

En el sector norte, se observa una correlación espacial importante entre el núcleo hipógeno de alta concentración de calcopirita y bornita y una unidad de alteración potásica caracterizada por la ocurrencia de feldespato potásico, biotita y cuarzo en proporciones variables. En el resto del área estudiada, la mineralización metálica coexiste con asociaciones mineralógicas características de la alteración potásica y filica en el stock diorítico, encontrándose la última sobreimpuesta a la primera.

La comparación entre los resultados entregados por los modelos geológico y geoestadístico de distribución de sulfuros, permite concluir que ambos resultan coincidentes en relación a la ubicación y orientación de los cuerpos mineralizados. Sin embargo, el kriging ordinario utilizado en el modelo geoestadístico exhibe limitaciones. En particular, en el caso de la bornita, produce sobreestimación de las dimensiones de los cuerpos. Consecuentemente, resulta imprescindible imponer restricciones a este interpolador con el objeto de conciliar sus resultados con los del modelo geológico.

Prof. Guía: Sr. Carlos Palacios  
23-06-95



# GEOLOGIA DEL PROYECTO CUPRIFERO LOHPAN

## REGION METROPOLITANA

Fernando Marambio Eckhardt

El presente trabajo de título tuvo como objetivo reconocer geológicamente y ubicar a nivel de reservas inferidas e indicadas, las zonas mineralizadas existentes en el área del Proyecto Lohpan.

El Proyecto Cuprífero Lohpan se encuentra ubicado al Este del pueblo de Til Til, a 60 k. al N de Santiago. En el área aflora una alternancia de ocoitas, andesitas y brechas volcánicas, que forman un paquete monoclinál de rumbo N10-50W/60E. Estas rocas se asignan al miembro Ocoa, perteneciente a la Formación Veta Negra (Cretácico inferior), la cual suprayace en concordancia sobre la Formación volcano-sedimentaria denominada Formación Lo Prado, e infra-yace a otra secuencia de igual origen, reconocida como Formación Las Chilcas.

Estas secuencias litológicas están intruidas, en el sector estudiado, por un cuerpo ígneo con forma de digitación tubular vertical, de composición granodiorítica.

Se reconocieron tres sistemas estructurales: N20W/30-50E, N60W/60-90N y N10-20E/ con manteos subverticales, los cuales presentan relación con la mineralización en el área.

La mineralogía de mena principal consiste en bornita finamente diseminada en las andesitas y brechas volcánicas, encontrándose en algunos sectores acompañada por calcosina. La zona de oxidación posee un desarrollo casi nulo.

En el área estudiada se reconoció una fuerte silcificación, cloritización y epidotización, relacionada a las zonas mineralizadas. rodeando a éstas, se observó una fuerte hematitización.

Dependiendo del estilo de mineralización, se pueden distinguir tres tendencias principales:

- 1) Sectores en los cuales la mineralización penetró andesitas y ocoitas, formando cuerpos mineralizados irregulares, subverticales, asociados a fracturamiento tensional (N10-20E). Estos cuerpos están espacialmente asociados a conductos mineralizados.
- 2) Sectores en donde la mineralización se halla en brechas volcánicas, en cuerpos mineralizados tipo estratoligado, de formas irregulares, y dislocados por un fuerte fracturamiento. En el principal exponente de esta tendencia (El Manzano), se manifiesta una franja de mineralización intensa, que representa la traza superficial del conducto mineralizador.
- 3) Sectores que representan los conductos mineralizadores, relacionados con estructuras N20W, y en pequeños cuerpos controlados por fracturamiento distensivo N-S alrededor del intrusivo, con mineralización de pirita, bornita y calcosina en forma subbordinada.

En el área estudiada, como resultado de una campaña de sondajes, se cubieron en carácter de indicado un total de 700.000 ton con 1,88% de Cut. El potencial del proyecto se estimó en el orden de 2.000.000 ton.

Prof. Guía: Sr. Carlos Palacios

6-1-95



# CARACTERIZACION DE LA FASE INICIAL DEL PROCESO DE FRAGMENTACION DE LA ZONA DE MINERAL PRIMARIO INDUCIDA POR LA MINERIA MASIVA, SECTOR TENIENTE 4 SUR - YACIMIENTO EL TENIENTE

Jorge Patricio Pereira Pérez

En la presente memoria se informan los resultados del estudio del fenómeno de fragmentación primaria, asociado al método de explotación denominado Panel Caving, en rocas andesíticas del sector productivo Teniente 4 Sur del Yacimiento El Teniente.

La geología del sector Teniente 4 Sur está caracterizada por andesitas, dioritas, brechas hidrotermales, pórfido andesítico y diques de lampróvido y latita.

Las unidades mencionadas fueron agrupadas en dos dominios estructurales: (a) Dominio Estructural 1 (DE1), situado en la zona de fallas Teniente Sur, constituido por andesitas, dioritas, brechas hidrotermales y diques de lampróvido y latita; (b) Dominio Estructural 2 (DE2), en la intersección de las zonas de fallas Teniente Sur y Teniente Oeste, constituido sólo por andesitas. La zona de fallas Teniente Sur tiene orientación general N50°-60°E/70°-90° y un ancho promedio de aproximadamente 300 m. La zona de fallas Teniente Oeste tiene orientación N30°-40°W/70°-90° y un ancho promedio de 120 m.

Las Estructuras más importantes, en cuanto a espesor y traza, corresponden a las fallas P, S y Teniente Sur 1, las cuales tienen su máxima expresión en el DE1.

Las rocas del área estudiada fueron agrupadas en seis unidades geotécnicas, cuatro en el DE1 y dos en el DE2. Las

unidades definidas en el DE1 tienen frecuencia de fracturas por metro cúbico (ff/m<sup>3</sup>) entre 5 y 9.5 y Rock Mass Rating (RMR) entre 42 y 62. En el DE2, las unidades geotécnicas tienen una (ff/m<sup>3</sup>) entre 9 y 13 y un RMR entre 35 y 45.

En base al análisis retrospectivo de granulometría y forma, y a las características litológicas y estructurales, se evaluó, en las unidades andesíticas, la aplicación de las metodologías de predicción de fragmentación primaria: TENIENTE, SIZE y BCF-EXPONENCIAL (Block Cave Fragmentation); y se validaron sus criterios conceptuales.

Las tres metodologías requieren de tres sets ortogonales entre sí con distribuciones exponenciales negativas para la variable espaciamiento. La metodología BCF requiere además, los siguientes parámetros: Intact Rock Strength (IRS), Intact Block Strength (IBS), RMR, m (parámetro del criterio de falla de Hoek & Brown), condición de esfuerzo y orientación del frente de hundimiento.

La metodología TENIENTE, presentó las menores dispersiones para la estimación de las granulometrías fina, media y de sobretamaño mayor a 1 m<sup>3</sup>. La metodología SIZE, entregó la menor dispersión para el coeficiente de clasificación promedio. La metodología BCF, entregó las mayores dispersiones.

Prof. Guía: Sra. Sofía Rebolledo  
20-06-95



# INVESTIGACION DE RECURSOS DE AGUAS SUBTERRANEAS EN EL ALTIPLANO DE ARICA

María Estela Sandoval Díaz

El presente trabajo de título, patrocinado por la Dirección de Riego del Ministerio de Obras Públicas, tiene como objetivo básico definir las acciones que deben llevarse a cabo para suplementar los actuales recursos de agua potable de Arica, ciudad que actualmente tiene un fuerte déficit de abastecimiento.

En conformidad a lo dispuesto en el Dto. Supremo MOP N° 102 de 15-04-92, que declaró de emergencia poner en marcha un programa destinado a encontrar una solución rápida y factible al abasto de agua potable de Arica, la Dirección de Riego inició en mayo de 1992 la construcción de 10 pozos profundos en el Parque Nacional Lauca, Provincia de Parinacota, cuya ejecución fue encomendada a una empresa especialista en este tipo de obras. Simultáneamente con estos trabajos, y con el fin de localizar con mayor precisión la existencia de acuíferos, se contrató una exploración geofísica en el área, mediante mediciones de gravedad y sondeos eléctricos verticales, lo que corresponde a una secuencia de desarrollo apropiada en una investigación de este tipo.

La empresa contratista dio término a los trabajos el 10 de enero de 1993. De los 10 sondajes construidos que significaron unos 1250 m de perforación, 7 de ellos dieron resultados positivos, proporcionando en conjunto un gasto de 341,6 l/s según las pruebas de bombeo efectuadas. Cabe señalar que el déficit de agua potable para Arica es del

orden de 280 l/s, de manera que el caudal disponible de los pozos cubre con creces el déficit existente.

La calidad de las aguas obtenidas reúne, en general, los requisitos exigidos para aguas de uso doméstico. El arsénico, que es un elemento limitante en estos casos, presenta una concentración en mg/l menor que los valores máximos permitidos en las normas pertinentes.

Las aguas extraídas de los pozos serán entregadas al canal Lauca, mediante aducciones especiales. Este las conducirá hasta la Central Chapiquiña, punto desde el cual la Empresa de Servicios Sanitarios de Tarapacá-ESSAT, decidirá las formas que utilizará para su traslado a los lugares de consumo.

Los trabajos realizados han demostrado que los pozos construidos en el Altiplano, representan una solución de interés para completar las necesidades de agua potable de Arica, en los períodos de mayor consumo. No obstante, se estima conveniente analizar mediante estudios hidrogeológicos acabados, la capacidad de almacenamiento del acuífero y sus potenciales recargas, a fin de definir una eventual construcción de sondajes en la misma área, o buscar nuevas fuentes de recursos para cubrir las necesidades futuras de consumo de la población.

Prof. Guía: Sra. Sara Elgueta

18-01-95



# NUEVOS ANTECEDENTES ESTRATIGRAFICOS Y ESTRUCTURA DEL AREA DE TERMAS DEL FLACO, VALLE DEL RIO TINGUIRIRICA, VI REGION, CHILE

Franyo Alexis Zapatta Nicolis

El reciente hallazgo en el valle superior del río Tinguiririca, en el sector de Termas del Flaco, VI Región, de una abundante fauna de mamíferos fósiles de edad Cenozoico inferior en capas rojas continentales, asignadas por autores anteriores al miembro arenoso volcánico de la Formación Colimapu, ha puesto en evidencia la necesidad de realizar una profunda revisión de la estratigrafía del área. Este estudio se realizó a escala 1:25.000.

Las unidades reconocidas corresponden, con nombres informales, de más antigua a más joven a: Toba Blanca de 104 Ma, Unidad Clástica Café-rojiza y Formación Coya-Machalí, que contiene mamíferos fósiles. Estas unidades sobreyacen a la Formación Baños del Flaco, de edad titoniana.

La Toba Blanca de 104 Ma (<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar) corresponde a un remanente lenticular de una toba cristalina riolítica masiza de grano fino, apoyada directamente sobre la Formación Baños del Flaco y bajo la Formación Coya-Machalí. La edad de 104 Ma es posterior a la segunda regresión marina Mesozoica de la cuenca Mendoza-Neuquén, o sea, que es post Formación Baños del Flaco, por lo que puede haber sido depositada después de la erosión local o durante una no deposición local de los miembros superiores de la Formación Baños del Flaco.

La Unidad Clástica Café-rojiza está formada por 40 m de brecha conglomerádica en la base y 170 m de lentes de conglomerados y areniscas gruesas canalizadas, intercaladas en una serie de areniscas de grano fino y lutitas laminadas con huesos de dinosaurio. Se dispone sobre la Formación Baños del Flaco y subyace discordantemente a la Formación Coya-Machali. Al sur del Paso El Fierro esta unidad no existe, de modo que allí la Formación Coya-Machali se apoya directamente sobre la Formación Baños del Flaco. Ha sido atribuida por casi todos los autores anteriores, como parte de la Formación Colimapu, sin embargo, los depósitos profundos de plataforma de la Formación Baños del Flaco están abruptamente cubiertos por una brecha basal, lo que, junto con el carácter retrogradante de esta serie, contrasta con los depósitos esperados para una regresión. Esta unidad podría corresponder a una serie más joven que los depósitos regresivos superiores de la cuenca Mendoza-Neuquén, depositada después de la erosión de la Formación Colimapu (si esta estuvo presente en la región), lo que implicaría una discordancia erosional importante.

La Formación Coya-Machalí (Eoceno superior-Mioceno inferior), está formada en la zona de estudio por más de 1.000 m de depósitos alternados de



lavas basálticas, piroclastos, tufitas y sedimentitas detríticas, fluviales y lacustres. Se apoya discordantemente sobre la Unidad Clástica Café-rojiza al norte del paso El Fierro; al sur de éste sobreyace a la Formación Baños del Flaco. Los depósitos inferiores de esta unidad fueron considerados como parte de la Formación Colimapu por los autores anteriores, hasta el hallazgo en ellos de fósiles de vertebrados de edad Eoceno superior-Oligoceno inferior. Por ese motivo la Formación Coya-Machalí tiene una extensión mayor de lo aceptado hasta la fecha.

Se reconoce a lo largo del valle del río Tinguiririca una serie de intrusivos hipabisales de pequeñas dimensiones, que corresponden a filones manto andesíticos, pórfidos andesíticos de anfibola, pequeños cuerpos subcirculares dacíticos, gabros y diques, que se alojaron principalmente en los niveles superiores de la Unidad Clástica Café-rojiza y en la Formación Coya-Machalí.

Las unidades mesozoicas forman una serie homoclinal con rumbo aproximado N-NE y una inclinación de 40° a 55° al oeste. Las unidades terciarias tienen rumbo aproximado N-

NW e inclinación de 30° a 45° al oeste en general. La estructura deformacional más importante en la región es la Falla El Fierro, destacándose la importancia de fallas similares menos expuestas, reconocidas en este trabajo, asociadas con grandes pliegues de vergencia oriental. Estas estructuras, que cortan al basamento mesozoico de la cuenca terciaria de Coya-Machalí, se interpretan como fallas normales asociadas a la apertura de la cuenca y reactivadas durante su inversión, y por esa razón, corresponderían a una tectónica de tipo «thick-skinned».

El tipo de depósitos de la Formación Coya-Machalí, el aumento de su espesor hacia el oeste y la existencia al oeste de Termas del Flaco de niveles con una fauna fósil aun más antigua que la de los niveles basales de esa localidad, sugieren el desarrollo de una extensa cuenca asociada con actividad magmática, durante el Paleogeno superior y Neogeno inferior.

Prof. Guía: Sr. Reynaldo Charrier  
03-07-95