

DEPOSITACIÓN Y DEFORMACIÓN DE LA SECUENCIA VOLCÁNICA TERCIARIA EN EL SECTOR CORDILLERANO DE PATA DEL DIABLO, CAJÓN DEL MAIPO

Ramón Aguirre Maturana

El presente trabajo de título tuvo por objeto estudiar las condiciones de depositación y deformación de una secuencia volcánica de edad miocena inferior, de aproximadamente 1.500 m de espesor, que aflora en el sector cordillerano de Pata del Diablo (Long. 70.33° W, Lat. 33.66° S) en el Cajón del Maipo, Región Metropolitana de Chile. Para tal efecto, se realizó un levantamiento geológico escala 1:25.000 y una columna estratigráfica generalizada escala 1:1.500.

La secuencia es parte de las Formaciones Abanico y Farellones. Está subdividida en 4 unidades concordantes, que de base a techo son: Unidad 1, compuesta por lavas y brechas volcanoclásticas gruesas y finas; Unidad 2, compuesta por brechas volcanoclásticas finas, volcarenitas y tobas líticas y critalinas; Unidad 3, similar en litología a la Unidad 2, pero con numerosas intercalaciones de brechas gruesas y lavas, y Unidad 4, compuesta casi exclusivamente por andesitas de apariencia externa rojiza, con escasas intercalaciones de brechas volcanoclásticas. En base a las características litológicas y estructuras sedimentarias y volcanogénicas de los estratos que constituyen estas unidades, se definieron 6 litofacies que fueron interpretadas como lavas, flujos de detritos volcanoclásticos proximales tipo *debris flow*, flujos laháricos distales u oleadas piroclásticas, volcarenitas epiclásticas fluvio-lacustres, flujos piroclásticos laminares y depósitos piroclásticos de caída. Estos se habrían depositado en una cuenca de

subsistencia rápida lo que habría permitido la conservación de un espesor considerable de depósitos. En base a las relaciones estratigráficas laterales y verticales se definieron tres ciclos depositacionales. La secuencia se inicia con actividad volcánica extrusiva de lavas, seguido por la depositación de materiales piroclásticos y volcanoclásticos. Las lavas del Ciclo 1 (Unidad 1) provendrían de algún punto no determinado al W del área de estudio y el material volcanoclástico y eruptivo de los Ciclos II y III (Unidades 3 y 4) provendrían de un centro volcánico probablemente ubicado al NE. En cuanto a la paleogeografía, los estratos de Pata del Diablo se habrían depositado en una cuenca asociada a una importante actividad volcánica, en un sector relativamente alejado de los márgenes de dicha cuenca, donde se produjo depositación distal de depósitos volcanogénicos, y se desarrolló cierta actividad fluvial y lacustre de pequeña magnitud.

Producto de la deformación tectónica de la cuenca, posterior a la depositación, la secuencia sufrió fue plegada por un régimen de esfuerzos de orientación aproximada E-W, lo que generó un gran anticlinal cuyo eje, en el sector estudiado, coincide con el valle del río Maipo. Producto del mismo proceso de deformación, se produjeron numerosas estructuras que se concentran en el contacto entre las Unidades 1 y 2, donde, debido a las diferencias mecánicas entre éstas y, probablemente también, al deslizamiento flexural

durante la generación del anticlinal mayor, se desarrolló una falla inversa que alzó el bloque oriental sobre el occidental y generó las estructuras asociadas.

La fuerte subsidencia concuerda con la hipótesis de la existencia de cuencas

extensionales durante el Neógeno inferior y posiblemente el Paleógeno tardío en Chile Central.

Prof. Guía: Reynaldo Charrier

17.05.1999

CARACTERÍSTICAS GEOQUÍMICAS Y VARIACIONES TERMOBAROMÉTRICAS EN EL BATOLITO DE LA COSTA DE CHILE CENTRAL ENTRE LOS 33° Y 33°45' S.

Evelyn Araneda Villalobos

El Batolito de la Costa entre Valparaíso y Santo Domingo se compone de franjas plutónicas de elongación Norte-Sur, que decrecen en edad hacia el Este. Comprende unidades tanto paleozoicas (carboníferas), como mesozoicas (jurásicas y cretácicas), las cuales varían su fuente desde magmas continentales a mantélicos a medida que pasa el tiempo, formando un arco cada vez más inmaduro.

La geoquímica de elementos menores y trazas indican magmas más diferenciados durante el paleozoico y jurásico en comparación con los magmas cretácicos, los cuales muestran características más mantélicas.

En este estudio se intenta estimar los valores de presiones y temperaturas de emplazamiento para las unidades paleozoicas y jurásicas, a través de la utilización del geotermómetro hornblenda-plagioclasa de Blundy y Holland (1990) y de los geobarómetros de Al en hornblenda de Johnson y Rutherford (1989), Schmidt (1992) y Anderson y Smith (1995). Estos métodos están basados en trabajos experimentales y utilizan el contenido de Al^{iv} y Al^{Total} en las anfífolas para obtener los valores de temperaturas y presión, respectivamente y son aplicables a rocas de composición granodiorítica a tonalítica.

Los resultados obtenidos para las muestras paleozoicas incluyen valores de presión en el rango entre 4.1 y 5.7 kb y valores de temperaturas entre 762 y 906 °C. Las rocas jurásicas, por su parte, presentaron valores de presión entre 3.5 y 6.5 kb y valores de temperaturas dentro del rango entre 807 a 956 °C.

Las altas temperaturas obtenidas indicarían que la actividad de agua se enmarca dentro de condiciones subsaturadas, lo cual supone que a presiones fijas, la temperatura del solidus y de los campos de estabilidad de las fases presentes aumenta. Al analizar los métodos ya referidos, se eligió al geobarómetro de Johnson y Rutherford como el más adecuado para este tipo de sistemas. En cuanto al geotermómetro de Blundy y Holland (1990), se determinó que éste es aplicable en un amplio rango de condiciones, incluyendo las analizadas en este trabajo.

Las variaciones de presión a través del tiempo y del espacio pueden relacionarse con cambios en los procesos geotectónicos dominantes sobre el margen continental representado por el Batolito de la Costa.

Prof. Guía: Miguel Angel Parada

29.10.1999

GEOLOGÍA DEL SISTEMA DE VETAS AURÍFERAS RATÓN, PROVINCIA ELQUI, IV REGIÓN

Manuel Arenas Abarca

El presente trabajo tiene como objetivo elaborar un modelo geológico del Sistema de Vetas Auríferas Ratón, estableciendo las condiciones de formación del mismo.

El sistema se ubica en la Cordillera de la Costa de la IV Región a 38 Km, en dirección ENE, de la ciudad de La Serena (29°38' Lat. S y 70°55' Long. W). Se presenta en rocas estratificadas andesíticas de la Formación Arqueros del Cretácico Inferior. En el área se definieron dos unidades: *Unidad Ocoítica* (andesitas ocoíticas y tobas) y *Unidad Tobácea* (tobas, tobas brechosas andesíticas y lentes conglomérados). Esta última sobreyace concordantemente a la primera unidad. Se observan además diques de composiciones andesítica y granítica, los que se emplazaron con posterioridad a los eventos mineralizadores.

El sistema estructural en la zona de estudio corresponde a un *dúplex extensional* que se habría desarrollado en una zona de cizalle *dextral* con una dirección general de movimiento NNW. Su diseño parece corresponder al de la etapa residual, o al menos *post-peak*, de la evolución de una zona de cizalle. El desarrollo estructural configuró el espacio propicio para la circulación de fluidos los que dieron origen al sistema de vetas.

Las vetas han sido divididas, de acuerdo a sus texturas, en dos unidades diferentes:

a) brechas que se desarrollan principalmente en los codos dilatacionales de falla, y que a su vez han sido subdivididas en tres tipos diferentes: tipo 1 desarrolladas en la primera etapa de mineralización y de carácter clasto soportada. Los mecanismos de brechización involucrados en su

formación corresponderían a la brechización por desgarre (asociado a movimientos a lo largo de zonas de falla) y la brechización por implosión (combinación del mecanismo anterior y el de brechización por empuje). Tipo 2, posterior a las brechas antes señaladas y carácter de brecha matriz soportada con clastos principalmente redondeados. La brechización por empuje, asociada a hidrofracturamiento, sería su mecanismo de formación. Tipo 3 que presenta características similares a las del tipo 1 pero con matriz de sulfuros en vez de silíceas. Es posterior a las primeras brechas (tipo 1), pero su relación temporal con respecto a la de tipo 2 no es conocida. Sus mecanismos de formación corresponderían a la brechización por desgarre y brechización por implosión.

b) zonas de stockwork principalmente de cuarzo. Se observan como cuerpos subparalelos a las brechas o como continuación de estas.

De acuerdo a las texturas observadas en los cuerpos de veta, su relación espacial, la mineralogía observada y los datos de inclusiones fluidas se sugiere la siguiente paragénesis mineralógica:

Etapa I (275°-350°C, 5%-15% NaCl eq.): Cuarzo - clorita - epidota - Au ± Ag ± pirita ± blenda ± calcopirita.

Etapa II (195°-280°C, 4%-11% NaCl eq.): Cuarzo - clorita - epidota - pirita - blenda - calcopirita - Ag ± Au.

Los valores de pH de los fluidos mineralizantes pueden ser fijados en ligeramente ácidos a neutrales. Las salinidades

bajas a moderadas obtenidas en ambas etapas permiten inferir una mezcla de fluidos meteóricos y magmáticos para estos eventos.

Los resultados del análisis termométrico sugieren una evolución de temperatura decreciente en el tiempo, pasando el sistema de un carácter mesothermal en sus inicios, a meso-epitermal en sus postrimerías.

Los recursos geológicos del sistema fueron estimados en 26.000 onzas de oro para los primeros 160m de profundidad.

Las características del sistema de vetas Ratón permitirían modelarlo como un yacimiento mesothermal de baja sulfidización desarrollado, probablemente, durante el Paleógeno.

Prof. Guía: Carlos Palacios
17.11.1999

ANÁLISIS DE LITOFACIES, EVOLUCIÓN DEPOSITACIONAL Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA FORMACIÓN ABANICO EN EL ÁREA COMPRENDIDA ENTRE LOS RÍOS YESO Y VOLCÁN, REGIÓN METROPOLITANA

Oscar Baeza Urrea

El presente trabajo de título tuvo por objetivo estudiar las condiciones de depositación y deformación de la Formación Abanico en el área comprendida entre los ríos Yeso y Volcán. Para esto se realizó un levantamiento geológico, escala 1:25.000 y se confeccionaron columnas estratigráficas y perfiles estructurales. Se realizaron, además, dataciones radioisotópicas en estratos de esta formación, como también en otros depósitos más jóvenes. Para el análisis estructural se utilizó el programa TRISHEAR 1.4.2 (Allmendinger, 1998).

La Formación Abanico en el área de estudio consiste en una secuencia volcánica y volcano-sedimentaria de aproximadamente 2.340 m de espesor (no se observa la base, ni el techo), la cual fue posible subdividir en tres miembros. El Miembro I (inferior) está compuesto exclusivamente por lavas andesíticas. El Miembro II (medio) volcánico y volcano-sedimentario fue a su vez subdividido en tres asociaciones de estratos en base a sus características litológicas y

estratigráficas. Las asociaciones son las siguientes: Asociación de Estratos Inferiores, volcánica y volcano-sedimentaria, presenta restos fósiles de mamíferos y con una edad máxima de depositación de $27,67 \pm 0,12$ Ma (método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, plagioclasa); Asociación de Estratos Medios, volcano-sedimentaria y con una edad máxima de depositación de $25,64 \pm 0,12$ Ma (método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, plagioclasa); Asociación de Estratos Superiores, volcano-sedimentaria y portadora de restos fósiles de mamíferos. El Miembro III (superior) también fue subdividido en tres asociaciones de estratos. Las asociaciones son las siguientes: Asociación de Estratos Inferiores, volcánica y volcano-sedimentaria; Asociación de Estratos Medios volcano-sedimentaria; Asociación de Estratos Superiores, volcánica y volcano-sedimentaria. En base a las características litológicas, presencia o ausencia de estructuras sedimentarias o volcánicas, se definieron 9 litofacies, las que fueron interpretadas como: flujos piroclásticos, oleadas

piroclásticas, flujos hiperconcentrados, ceniza de caída, sedimentos epiclásticos (2 litofacies), flujo ignimbrítico, flujo de detritos, y lava, las que se habrían depositado en una cuenca de rápida subsidencia. La evolución geológica estaría marcada por un período de volcanismo efusivo, seguido de un episodio de volcanismo predominantemente explosivo, para luego proseguir con un nuevo episodio de volcanismo efusivo. Esta actividad volcánica habría depositado sus productos dentro de una cuenca y en un sector alejado de sus márgenes, en la cual se desarrolló actividad fluvial y lacustre.

La deformación observada en el área de estudio, sólo afecta a la Formación Abanico y está dominada por un pliegue anticlinal volcado con vergencia al Oeste, cuya charnela es progresivamente más apretada en los niveles superiores y cuyo eje presenta una dirección aproximada Norte-Sur, y por un pliegue sinclinal volcado (ubicado al Este del pliegue anticlinal). Las propiedades

geométricas de los pliegues sugieren que estos fueron generados por propagación por fallas, sin embargo, estas fallas no afloran en el área de estudio. De acuerdo a la modelación computacional la deformación del sector de estudio pudo ser generada por la propagación de dos fallas inversas (45° y 60° de manteo hacia el Este) y la actividad de un despegue horizontal de igual vergencia a lo largo del flanco posterior, horizontal del pliegue anticlinal volcado, en un nivel ubicado en la parte inferior del Miembro III o superior del Miembro II.

Para depósitos que sobreyacen discordantemente a la Formación Abanico se obtuvo una edad de $0,91 \pm 0,02$ Ma (método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, biotita), lo cual permite deducir una alta tasa de erosión (1,86 mm/año, máxima).

Prof. Guía: Reynaldo Charrier
03.11.1999

Prof. Guía: Sara Elgueta
24.09.1999

GEOLOGÍA DISTRITAL Y MINERALIZACIÓN AURÍFERA ASOCIADA A DOMOS RIOLÍTICOS EN EL YACIMIENTO EL PEÑÓN; II REGIÓN DE ANTOFAGASTA

Pablo Cabello González

El Yacimiento de oro y plata, El Peñón, ubicado a 120 km al SE de Antofagasta, corresponde a un depósito epitermal de baja sulfidación. La mineralización aurífera se presenta en vetas de cuarzo y brechas hidrotermales, hospedadas en rocas volcánicas de edad paleocena-eocena. La alteración característica de este yacimiento, corresponde al tipo cuarzo-adularia, caracterizada por la presencia de sílice-adularia-sericitita.

Las unidades litológicas de mayor distribución, a escala distrital, corresponden a ro-

cas volcánicas que se pueden correlacionar, por litología y dataciones radiométrica, con la Formación Augusta Victoria del Cretácico Superior - Eoceno. Las rocas volcánicas constituyen una secuencia bimodal con lavas andesítica-basálticas a dacíticas alternada con una serie de rocas volcánicas riolíticas, que son la expresión del emplazamiento de domos riolíticos, controlados estructuralmente.

La secuencia volcánica ha sido dividida en dos unidades informales. La Unidad Volcánica Dominador, que incluye lavas de ca-

rácter andesítico-basáltico a dacítico, y la Unidad Volcánica El Peñon, que agrupa al complejo de domos riolíticos y rocas piroclásticas asociadas. La composición química de estas rocas indica que ellas corresponden a una serie de afinidad calcoalcalina de alto potasio. Dataciones radiométricas indican edades comprendidas entre los 63 y 55 Ma para el magmatismo que dio origen a las rocas del área.

En el área se reconocen dos direcciones estructurales que controlan el emplazamiento de los domos riolíticos. Uno de dirección N45°E, a lo largo del cual se distribuyen una

serie de domos riolíticos y otro de dirección aproximada NS de carácter extensional, que controla el volcanismo que da origen a domos riolíticos y la actividad hidrotermal responsable de la mineralización de metales preciosos en El Peñon.

La mineralización en El Peñon se encuentra restringida principalmente a los domos riolíticos y las dataciones radiométricas disponibles indican un rango Paleoceno Superior - Eoceno Inferior para el evento volcánico y la mineralización.

Prof. Guía: Waldo Vivallo
22.11.1999

EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL VALLE DEL ACONCAGUA EN LA PROVINCIA DE QUILLOTA: UNA APLICACIÓN PARA LA ADMINISTRACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS

Alejandro Cohn Link

El presente estudio se enmarca dentro del programa de "Evaluación de Cuencas Subterráneas" a lo largo del país, a cargo de la Dirección General de Aguas y su objetivo principal es determinar el máximo caudal explotable de aguas subterráneas, que podría ser otorgado como derecho de aprovechamiento para la provincia de Quillota.

El área de estudio corresponde a la provincia de Quillota, V Región de Valparaíso, Chile. La zona presenta el relieve característico del Norte Chico, esto es, cordones montañosos orientados en sentido este-oeste separados por un valle profundo y amplio (valle del río Aconcagua).

El principal y único drenaje del área lo constituye el río Aconcagua y sus afluentes, los esteros Rabuco, Los Litres, San Pedro y Limache.

Se reconocen unidades de roca y unidades de depósitos sedimentarios. Las unidades de roca corresponden a una sucesión de sedimentitas y volcanitas con edades decrecientes de oeste a este, que van desde el Jurásico hasta el Neógeno, y rocas intrusivas que cortan a estas últimas. Las unidades de depósitos sedimentarios quedan representadas por depósitos cuaternarios fluviales, glacio-fluviales y abundantes depósitos de remoción en masa.

A lo largo de toda el área de estudio, se reconocen dos unidades hidrogeológicas. Constituyendo la base de los depósitos, y sobreyaciendo a la roca fundamental, se encuentra una unidad de sedimentos del tipo arenas limosas con una abundante matriz de arcilla. Dispuesta directamente sobre la unidad recién mencionada, se encuentra una uni-

dad compuesta de sedimentos de granulometría gruesa a media, del rango gravas finas a gruesas, y matriz arenosa. Debido a su extensión y características de buena permeabilidad y potencia, constituyen el conjunto depositacional de mayor importancia hidrogeológica en el valle.

Se determinó para este acuífero valores de transmisividades medias bastante homogéneos, que fluctúan en el rango 50 - 250 m²/día. Sin embargo, en las inmediaciones de la localidad de Tabolango se determinaron transmisividades medias del orden de los 1000 m²/día, situación que se debe a que este sector no experimenta las contaminaciones limo-arcillosas que los principales esteros afluentes imprimen sobre el resto del valle del Aconcagua, propiciándose de este modo condiciones de muy buena permeabilidad.

Luego de un análisis anual, se determinó una recarga total para el acuífero del Aconcagua en la provincia de Quillota de 4802 l/s, siendo sus componentes más significativas la infiltración de aguas de riego

(3288 l/s) e infiltración desde canales de regadío (1100 l/s). La descarga natural total, por otra parte, se estimó en 831 l/s, y se debe casi en su totalidad a las recuperaciones que experimenta el río en el tramo del valle estudiado (814 l/s).

Bajo el supuesto que a largo plazo el acuífero del Aconcagua en el área de estudio estuviera en equilibrio, se deduce a partir de la ecuación de balance hídrico una descarga artificial (o caudal de explotación) equivalente a 3971 l/s, cifra que la DGA admite como valor límite de otorgamiento de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas para la provincia de Quillota. Lo anterior permite aprobar la constitución de las solicitudes ingresadas hasta la fecha 18 de marzo de 1998 (con un caudal total nominal solicitado de 11.831 l/s), sin perjuicio alguno de las condiciones de estabilidad de la fuente acuífera.

Prof. Guía: Sara Elgueta
24.09.1999

GEOLOGÍA, GEOQUÍMICA Y GEOTERMOMETRÍA DEL PROSPECTO DE CU-AU AMOS V REGIÓN DE VALPARAÍSO, FRONTERA CHILENO-ARGENTINA, CHILE

Samuel Collipal Contreras

El presente estudio tuvo por objetivo caracterizar el tipo de alteración-mineralización presente en el prospecto de Cu-Au Amos, centrándose en la descripción de las unidades litológicas y las asociaciones mineralógicas de alteración (definiendo su distribución espacial y temporal); en la determinación de la temperatura, salinidad y presión de las soluciones hidrotermales involucradas en la generación de la

mineralización y alteración, y la definición de los patrones de distribución de los elementos de interés económico, con especial énfasis en el Cu y Au.

Para cumplir con estos objetivos se interpretó la información del mapeo geológico superficial y de sondajes, se realizaron estudios microtermométricos en la matriz de brechas hidrotermales, en zonas de alteración filica y argílica avanzada; y se interpre-

taron las razones de respuesta geoquímica en muestras de roca de 4 sondajes.

Los resultados de este trabajo indican que la roca de caja del prospecto la constituyen rocas volcánicas de composición predominantemente andesítica, asignadas a la porción superior de la formación Abanico. Estas secuencias fueron intruídas en un ambiente subvolcánico por un complejo intrusivo multievento que incluye numerosos stocks (equigranulares y pórfidos) de composición andesítica, dacítica, diorítica a cuarzodiorítica y monzonítica, siendo esta última unidad la responsable de la alteración-mineralización mesotermal (de edad Mioceno superior para el evento de alteración fílica, con edades K/Ar en roca total: $9.9 \pm 0.5\text{Ma}$ y $8.9 \pm 0.7\text{Ma}$). Este complejo intrusivo es cortado por cuerpos de brechas ígneas sin/postmineralización y brechas hidrotermales postmineralización de extenso desarrollo superficial.

El prospecto Amos presenta un patrón de zonación espacial y secuencia temporal entre los eventos de alteración-mineralización compatibles con los de un depósito de tipo pórfido cuprífero: (1°) alteración potásica, central y temprana; (2°) alteración propilítica, periférica y concomitante a la alteración potásica; (3°) alteración fílica, tardía y presente en la zona intermedia entre las asociaciones potásica y

propilítica; (4°) alteración argílica avanzada, tardía y superpuesta sobre la alteración fílica. La mineralización de Cu, Au y Mo, en general, está directamente asociada a la zona potásica, presentando altas anomalías de Cu-Au y bajas anomalías de Mo. Del estudio de inclusiones fluidas se desprende una baja a moderada salinidad ($<26\%$ NaCl eq.) y una temperatura de formación mesotermal ($331\text{--}516^\circ\text{C}$) para los fluidos generadores de las brechas hidrotermales y parte de la alteración fílica, en condiciones de ebullición. Estos estudios sugieren niveles de erosión del orden de 1 a 2 km.

A partir de los resultados se postula para el prospecto Amos un modelo de tipo pórfido cuprífero de edad Mioceno superior, formado durante el evento metalogénico que dió origen a los depósitos de tipo pórfido cuprífero de edad Mioceno superior a Plioceno inferior de los Andes centrales de Chile. Además, se postula que la alteración argílica avanzada posee un carácter hipógeno y se desarrolló en las partes más altas del sistema de pórfido cuprífero, o bien, que esta posee un carácter epitermal y se superpuso al sistema de alteración-mineralización de tipo pórfido cuprífero previamente existente.

Prof. Guía: Brian Townley
28.01.1999

ESTUDIO GEOTÉCNICO DEL PROYECTO BOTADERO ESTE DEL YACIMIENTO RADOMIRO TOMIC

Fernando Cordero Verdugo

El objetivo de este estudio fue determinar las características geotécnicas, en particular la permeabilidad, de los materiales que constituyen el sustrato del lugar denominado Sector Este del Yacimiento Radomiro Tomic.

Debido a la cercanía al yacimiento y a su pendiente suave, este lugar fue considerado en estudios anteriores, como el sitio más favorable para destinarlo a botadero de mineral de baja ley, y eventualmente, un lugar

apropiado para realizar lixiviación *in situ*, sin uso de geomembrana.

Para lograr el objetivo principal de este estudio, se realizó un levantamiento geológico-geotécnico a escala 1:2.000 y la descripción de 12 sondajes y 40 calicatas. Durante las operaciones de excavación y barrenación se realizaron ensayos de permeabilidad en suelos y rocas.

Geológicamente, el sector de interés está constituido por una cubierta sedimentaria de 100 a 140 m de espesor. En sus 4 metros superiores se reconocen algunos niveles de arenas y gravas de granulometría menor a 5 cm y un horizonte evaporítico que alcanza hasta 2 metros de espesor. El resto de la columna está formada por gravas clastosoportadas, con clastos, en general, angulosos, de composición andesítica y diámetro hasta 30 cm. Estos sedimentos se interpretan como depósitos de corrientes de barro.

Este conjunto se apoya en discordancia de erosión sobre un basamento rocoso que en la zona oriental corresponde a una metandesita y en el sector occidental a un intrusivo, denominado Granito Elena.

Las rocas presentan, por lo general, un intenso fracturamiento; en los afloramientos se detectaron sobre 20 fracturas por metro. Las orientaciones principales de estas estructuras son N90°E/90° y N45°E/50-60° NE. Las fallas del área son de rumbo, dextrales, con direcciones predominantes NS y manteos subverticales.

La permeabilidad determinada para los sedimentos es alta, con valores de 10^{-1} a 10^{-3} cm/s. Las rocas pueden ser considerados materiales de muy baja permeabilidad; para ellas se obtuvieron valores de permeabilidad de 10^{-8} a 10^{-9} cm/s.

Los resultados de este estudio indican que los materiales que constituyen el sustrato del lugar denominado Botadero Este tienen condiciones geotécnicas favorables para ubicar ahí un botadero de mineral. Así mismo, el proceso de lixiviación *in situ* es geotécnicamente factible, y para implementarlo debe considerarse un estudio de impacto ambiental.

Prof. Guía: Sofía Rebolledo
20.05.1999

HIDROGEOLOGÍA DEL SECTOR DE SALAMANCA PROVINCIA DEL CHOAPA, IV REGIÓN

José Miguel García Navas

En el sector centro oriente del valle del río Choapa, se desarrollan distintas actividades agrícolas y mineras y asentamientos humanos que dependen del abastecimiento de agua superficial y subterránea. Debido a lo anterior, el presente trabajo de título tuvo como objetivo realizar una evaluación hidrogeológica ambiental, orientada a conocer la cantidad y calidad del recurso hídrico actual presente en el sector de Salamanca, Provincia de Choapa, IV Región.

En la zona de estudio afloran rocas estratificadas cretácicas asignadas a las formaciones Quebrada Marquesa y Salamanca intruidas por rocas graníticas de la Unidad Chalinga (cretácica). En el valle del río, las rocas mencionadas constituyen el basamento del relleno sedimentario compuesto por depósitos terciarios de la Formación Confluencia y por depósitos cuaternarios.

El relleno sedimentario cubre alrededor de 92 km² y presenta espesores máximos

de entre 48 y 113 m. De acuerdo a datos gravimétricos, los mayores espesores se ubican en Tahuinco con 113 m, en Quelén con 110 m y en Santa Rosa con 100 m.

Se han definido cuatro unidades hidrogeológicas que contienen a dos tipos de acuíferos. Un acuífero libre que se desarrolla en las unidades cuaternarias y en el techo de la Formación Confluencia y un acuífero semiconfinado constituido por la base de la Formación Confluencia. Este acuífero subyace a un estrato de arcilla impermeable que a su vez, infrayace al acuífero libre.

En el área de estudio, el río Choapa presenta un régimen nivo-pluvial que varía a pluvio-nival después de recibir al río Chalinga y al estero Camisas. La recarga por escorrentía superficial es de 14,1 m³/s.

La conexión río-acuífero es un factor importante para la recarga de este último, debido a la buena permeabilidad de los sedimentos. La tasa de infiltración se calculó en 5,1% y el volumen anual infiltrado en 19.355.000 m³.

Se estima que el volumen almacenado en este sistema corresponde a 294.765.000 m³. Las áreas potencialmente importantes para la explotación son los sectores de Tahuinco, Quelén y Santa Rosa.

La calidad de las aguas superficiales y subterráneas en este sector es apta para el uso doméstico y agrícola. De acuerdo al muestreo y posterior análisis, las aguas subterráneas son bicarbonatadas cálcicas y las aguas superficiales varían de sulfatadas cálcicas en el sector oriental a bicarbonatadas cálcicas en el sector poniente del área de estudio, estas facies hidroquímicas están asociadas a la presencia de rocas intrusivas en el área de estudio.

La concentración anómala del ion cadmio en el pozo P10 de la localidad de Quelén Bajo no cumple con la norma chilena de calidad de agua, por lo que sería importante, a futuro, mantener un continuo monitoreo de este elemento en las aguas subterráneas del sector.

Prof. Guía: Sara Elgueta
14.12.1999

GEOQUÍMICA TRADICIONAL Y BLEG APLICADAS EN LA EXPLORACIÓN DE ZONAS CUBIERTAS: ZONA 5, DISTRITO MINERO ANTENA, V REGIÓN

Rodrigo Jorquera Bernal

El Distrito Minero Antena (V región, Costa), ubicado a 100 kms al NW de Santiago y a unos 18 kms de Viña del Mar, presenta importantes anomalías de oro en sedimentos activos. En base a estudios geoquímicos y de morfoscopia de granos de oro previos a este trabajo, se definió como blanco de interés un área denominada zona 5 (la que se encuentra en gran parte cubierta, con un gran desarrollo de suelo in situ y vegetación) y además se reconoció en te-

reno la existencia de cuerpos mineralizados auríferos (enjambres de diques de granitoide rico en cuarzo y muscovita).

Objetivos del presente trabajo son estudiar la respuesta de metodologías geoquímicas en suelos y sedimentos y delimitar en sectores cubiertos zonas geoquímicamente anómalas asociadas a los cuerpos mineralizados ya inferidos por estudios anteriores. Se busca además establecer la influencia de las características de las

muestras, como el tamaño de los granos de oro, transporte del suelo, etc., en la respuesta de los distintos métodos geoquímicos aplicados.

Se consideraron muestras de suelo y de challeo de sedimentos y cárcavas. Las muestras de suelo fueron analizadas mediante Ensaye a Fuego y Bleg. Las muestras de sedimento fueron analizadas mediante Ensaye a Fuego y por Concentración física (challeo y concentradores centrífugos). La respuesta de Ensaye a Fuego (considerando el tamaño de muestra tomada y la malla de tamizaje) en muestras de suelo es mala, con un altísimo porcentaje de muestras bajo el nivel de detección del oro. La respuesta de Bleg es notoriamente mejor (una sola muestra bajo el nivel de detección del oro), lo que sumado a la utilización de Razones de Respuesta en la interpretación de los datos, permite inferir zonas anómalas. Para las muestras de sedimentos analizadas por concentración física, se interpretaron anomalías las que, en conjunto con la información de Bleg y la geología, permitieron definir con mayor detalle zonas geoquímicamente anómalas.

También se estudiaron los granos de oro recuperados de sedimentos, tanto su distribución de tamaños, morfología como análisis de éstos por microsonda. El modelamiento estadístico de la fineza de los granos de oro recuperados de sedimentos indica una fuente única o varias de similares características. La morfoscopia de granos

de oro recuperados de sedimentos sugiere una proveniencia preferentemente Proximal (50 a 300 mts de transporte) y en menor medida Cercana (menos de 50 mts) y Distal (más de 300 mts y hasta varios kms). El estudio de distribución de tamaños de granos de oro indica que existe oro grueso en la zona (promedio 0,60 mm).

La presencia de oro grueso en el sector de estudio influye de manera dramática en los resultados entregados por los distintos métodos geoquímicos aplicados, siendo necesario definir un protocolo de muestreo. En el análisis deben considerarse al menos 53 kg. de muestra (de acuerdo a la teoría de muestreo con una confianza del 68%), y de utilizarse tamizaje (malla 10) realizar análisis de retalla. Como alternativa, pulverizar completamente la muestra.

En base a de geología, geoquímica Bleg, geoquímica de concentración física y análisis de microsonda, se pudo delimitar 3 probables anomalías geoquímicas (del orden de varias centenas de metros de largo), y sugerir la existencia de una cuarta.

Se propone por último, la realización de una campaña de sondajes de aire-reverso en dos etapas, la primera con sondajes en tijera (1200 mts) y la segunda con sondajes inclinados según manto de los eventuales cuerpos mineralizados (900 mts).

Prof. Guía: Carlos Palacios
21.04.1999

ALTERACIÓN HIDROTHERMAL Y MINERALIZACIÓN EN EL DISTRITO MINERO CANCHAS, COMUNA DE TALTAL

Jaime López Uribe

El distrito minero Canchas se ubica en la Cordillera de la Costa, 40 km al este de Taltal y contiene depósitos, mayoritariamente

vetiformes, de Cu y Cu-Au, alojados en rocas plutónicas del Cretácico Inferior. En este distrito se realizó un estudio geológico cuyo

objetivo es caracterizar la geología, estructura, los depósitos metalíferos y alteración hidrotermal presente en este distrito, para sugerir un modelo que explique la mineralización del sector y detectar zonas de interés prospectivo.

El estudio comprende un levantamiento geológico, escala 1:25.000, de un área de 195 km² y muestreo geoquímico de regolito en torno al sector de mina Candelaria. Las características mineralógicas de la mena y rocas de caja fueron determinadas por medio de estudios al microscopio de secciones pulidas y cortes transparentes. Estudios microtermométricos de inclusiones fluidas permitieron definir las condiciones de salinidad y temperatura de los fluidos responsables de la alteración y mineralización.

Los depósitos metalíferos del distrito Canchas están hospedados en rocas intrusivas del Complejo Plutónico Cerro del Pingo (CPCP). En todos ellos sólo se ha explotado mineralización oxidada de cobre, la que se extiende hasta una profundidad promedio de 70m; la mineralización primaria consiste en pirita-calcopirita (oro) y el enriquecimiento secundario es escaso. De acuerdo a la morfología de los depósitos, en el área de estudio se reconocen tres tipos de yacimientos de Cu y Cu-Au. El primer grupo de depósitos está integrado por vetas de cuarzo con óxidos de cobre, orientadas preferentemente al NW-SE, con alteración cuarzo-sericítica y silícea en estrechos halos alrededor de las vetas y temperaturas de formación en el rango de los depósitos mesotermales (300->500°C). El segundo tipo de depósito corresponde a un cuerpo irregular (Candelaria) ubicado en la intersec-

ción de vetas, con alteración potásica y silícea en la roca de caja y temperaturas de formación semejantes a las vetas. El tercer tipo de yacimiento representado por Mina Nueva, tiene características de Pórfido Cuprífero, con mineralización diseminada de calcopirita-pirita hospedada en un pórfido cuarcífero. La alteración hidrotermal en Mina Nueva asociada incluye una zona central potásica, con parches de alteración cuarzo sericítica sobreimpuesta, todo rodeado por un halo externo de alteración propilítica. Las inclusiones fluidas indican un rango de temperatura entre 200 y más de 500°C.

Las similitudes de la mineralogía de mena, tipo de alteración de la roca de caja y rangos de temperatura indicados por las inclusiones fluidas, sugiere que los depósitos tipo veta y el bolsón de mina Candelaria corresponden a depósitos genéticamente relacionados entre ellos. Su emplazamiento en las rocas plutónicas del CPCP, el carácter mesotermal de los depósitos y salinidad de los fluidos hidrotermales involucrados (39% NaCl eq.) son compatibles con un origen relacionado a la etapa hidrotermal tardía de las rocas que componen el CPCP. El escaso desarrollo del enriquecimiento secundario puede ser explicado por un bajo contenido de pirita en la mena primaria.

El estudio geoquímico del sector de Mina Candelaria, permitió definir tres áreas de anomalías geoquímicas. El Area 1 (35Ha), con valores anómalos de Cu, Mo, As, Sb el Area 2 (35Ha) con contenidos anómalos de Cu, Mo y S y el Area 3 (25Ha) anómala en Cu.

Prof. Guía: Waldo Vivallo
14.12.1999

PALEONTOLOGÍA Y BIOESTRATIGRAFÍA DE LAS FACIES CALCÁREAS MARINAS DE LAS FORMACIONES ARQUEROS Y QUEBRADA MARQUESA, CRETÁCICO INFERIOR, ESTE DE LA SERENA, IV REGIÓN. CHILE

Francisco Mourgues Ortega

Este estudio responde a la necesidad de clarificar las relaciones estratigráficas entre las formaciones Arqueros, volcánica con intercalaciones de sedimentitas calcáreas marinas, y Quebrada Marquesa, volcano-sedimentaria continental, con una intercalación marina cerca de su base. El objetivo general es establecer la relación de temporalidad entre las facies calcáreas marinas presentes en ambas formaciones, a través del estudio sistemático de la fauna que contienen, además, asignar la unidad informal Rocas Clásticas Calcáreas a una de estas formaciones.

El trabajo se realizó a través de la medición de cuatro perfiles estratigráficos de detalle, ubicados en las localidades de Quebrada de Los Choros (Rocas Clásticas Calcáreas), Llano de Arqueros (Formación Arqueros) y Quebrada El Porotal (Formación Quebrada Marquesa); donde las sucesiones calcáreas estudiadas presentan mayor continuidad. De los perfiles se extrajo material fosilífero y litológico, con ubicación estratigráfica precisa. Previo a su estudio y determinación, los fósiles fueron preparados, etiquetados y descritos, y luego ilustrados mediante fotografías. Las muestras litológicas se estudiaron al microscopio, lo que permitió el reconocimiento de microfacies que se identificaron según los esquemas clásicos de clasificación para rocas sedimentarias carbonatadas y terrigenoclasticas.

Las sucesiones presentan fauna común y microfacies similares tales como micritas,

biomicritas y bioesparitas, con aportes variables de extraclastos de origen volcánico, lo que indica un ambiente infralitoral superior, además, muestran similitudes en las unidades supra e infrayacentes, las cuales corresponden a productos volcánicos.

En Quebrada de Los Choros, de acuerdo al reconocimiento de la Zona de *Crioceratites (c) schlagintweiti*, se comprobó el Hauteriviano superior, con un espesor mínimo de ca. 40 m y compuesto por una alternancia entre bioesparitas extraclásticas mal lavadas y volcarenitas con cemento calcáreo. La sucesión alcanzaría hasta el Barremiano superior, según el antecedente bibliográfico del hallazgo de *Cochidites (c) apolinarii*.

En Llano de Arqueros, de acuerdo a la presencia de *Agriopleura sp. aff. A. blumenbachi*, se reconoció el Barremiano superior, con un espesor mínimo de 100 m y compuesto por ooesparitas, biomicritas y micritas con intercalaciones finas de areniscas líticas. En esta localidad se reconoció, también, el Hauteriviano superior, según la presencia, entre otros, de *Rutitrigonia sp. aff. R. longa*, *R. agrioensis* y *Steinmanella (T.) transitoria* y el dato histórico del hallazgo de *Crioceratites (c) nolani*; el espesor del piso es de ca. 100 m y se compone de micritas, biomicritas y bioesparitas.

En la localidad de Quebrada El Porotal, por la presencia entre otros, de *Rutitrigonia sp. aff. R. longa*, *R. agrioensis* y *Steinmanella (T.) transitoria*, se reconoció

el Hauteriviano superior, con un espesor de ca. 60 m, compuesto por una alternancia entre micritas y biomicritas extraclásticas y grauvacas y volcarenitas con cemento calcáreo.

Finalmente, se postula la correlación entre las facies calcáreas marinas de la Formación Arqueros con las Rocas Clásticas Calcáreas y, por otra parte, entre el miembro 2 de la Formación Arqueros y la intercalación marina cercana a la base de la Formación Quebrada Marquesa. De acuerdo

con esto, se propone un engranaje entre estas últimas unidades, que representan el Hauteriviano, donde el piso Barremiano (miembro 4 de la Formación Arqueros) se acuñaría, junto con el miembro 3, entre el Hauteriviano y los productos volcánicos suprayacentes.

Prof. Guía:

Ernesto Pérez D'Angello

21.10.1999

PETROGÉNESIS DEL MAGMATISMO BÁSICO DEL MESO-CENOZOICO EN LA PENÍNSULA BYERS, ISLA LIVINGSTON. (ARCHIPIÉLAGO DE LAS SHETLAND DEL SUR, ANTÁRTICA)

Orlando Oteiza Diamante

El objetivo general del estudio, es la petrogénesis del magmatismo básico del Meso-Cenozoico en la Península Byers, Isla Livingston (Archipiélago de Shetland del Sur, Antártica). Dicho estudio es el primero en su clase en la Península y complementario a los estudios referentes a la evolución geológica de las Shetland del Sur en la Antártica.

Para la realización del trabajo fue necesario una campaña de terreno de 25 días de duración, realizada durante los meses de enero de 1997 y 1998, con ayuda del Instituto Antártico Chileno (INACH). En dicha actividad fueron recolectadas 50 muestras de rocas volcánicas y subvolcánicas, 10 de ellas más tarde serían analizadas geoquímicamente por el método de ICP-OES, en el Departamento de Geología de la Universidad de Chile. Además se contó con una datación radiométrica K-Ar, realizada en el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN). Finalmente, el estudio

se centró en el análisis petrográfico y geoquímico de las muestras seleccionadas.

Las islas del Archipiélago de las Shetland del Sur son el resultado de un magmatismo producido desde el Jurásico Superior en un contexto geotectónico de arco de isla, asentado en un basamento de esquistos y rocas sedimentarias deformadas. A fines del Cenozoico, al desaparecer progresivamente la Placa Phoenix debajo de las Shetland se terminan los procesos de subducción y se abre, a partir del Cuaternario, el estrecho de Bransfield. La geología de la Península Byers, Isla Livingston, está caracterizada por la presencia de rocas estratificadas del Mesozoico, marinas y continentales, pertenecientes al grupo Byers, intruidas por cuerpos ígneos de tipo filones manto, diques y cuellos volcánicos de composición basáltica a andesítica. Estos últimos presentan textura porfírica a glomero-porfírica, algunos con textura fluidal y/o amigdaloidal. Los fenocristales son principalmente de

plagioclasa, piroxeno (clinopiroxeno), olivino y anfíbola (andesitas ácidas del Chester Cone), en una masa fundamental intergranular y/o intersertal.

Inicialmente, durante el Jurásico Superior - Cretácico Inferior, el volcanismo se emplazó dentro de una cuenca sedimentaria marina. Evidencias de dicho volcanismo lo constituyen afloramientos de rocas hialoclásticas con matriz carbonatada que aparecen al frente o en la parte superior de filones manto basálticos (peperitas). En Lair Point se observan flujos de lava vítreas con fracturas dibujando una superficie adoquinada característica de un enfriamiento en agua. Las fracturas están rellenas con ceolitas, calcita, cuarzo-calcedonia. Otros flujos cercanos al Chester Cone y al Falso Negro, presentan características similares.

El volcanismo del Cretácico Superior está representado por diques y cuellos volcánicos. Entre ellos, Cerro Negro con una edad (K-Ar) de 78 ± 5 Ma. y Sealer, con un complejo sistema de prismación. Algunas lavas presentando una marcada disyunción

columnar (Don Carlos, Falso Negro), evidencian un emplazamiento en forma de derrames y corresponden, por lo tanto, a las manifestaciones más recientes de la Península, de edad probablemente terciaria. Una fase de erosión importante ocurrió por lo tanto al límite Cretácico - Terciario.

El volcanismo basáltico-andesítico en la Península Byers es subcalcalino, con afinidad transicional entre toleítica y calcoalcalina. Las rocas presentan un alto grado de fraccionamiento ($MgO < 7\%$) con enriquecimiento en Sr, K, Ba, Th; valores cercanos al N-MORB para elementos Nb, Ce, P, Zr, Hf, Sm, Ti, Y, Yb, Sc y razones $(La/Lu)_n$ cercanas a 2,5. Estas rocas se habrían generado mediante una tasa de fusión parcial relativamente alta (15-30%) de un manto probablemente Iherzolítico. Las características geoquímicas de estas lavas son las propias de las que se originaron en un ambiente tectónico de arco de islas.

Prof. Guía: Diego Morata
15.07.1999

EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL VALLE DE MALLARAUCO, PROVINCIA DE MELIPILLA

Cristián Pereira Farías

El presente estudio, realizado con el patrocinio de la Dirección General de Aguas, está motivado por la falta de información hidrogeológica en la provincia de Melipilla, lo que provoca una incertidumbre en la administración de los recursos hídricos subterráneos. Su principal objetivo es la evaluación hidrogeológica de la cuenca de Mallarauco, esto incluye: delimitación de la cuenca, definición de unidades y acuíferos, caracterización química de las aguas super-

ficiales y subterráneas, y evaluación del estado de explotación de las aguas subterráneas. El sector de estudio se ubica inmediatamente al norte de la ciudad de Melipilla abarcando un área de 550 km².

La metodología del trabajo comenzó con la recopilación y análisis de antecedentes de tipo geológico, geofísico, hidrológico e hidrogeológico, y un estudio fotogeológico, que permitió confeccionar un marco hidrogeológico general. Luego se hizo un

levantamiento gravimétrico hacia la cabecera del valle a fin de determinar la geometría del basamento rocoso. Posteriormente se realizó un reconocimiento en terreno del área, que incluyó la toma de muestras de sedimentos, para un análisis granulométrico, y de aguas superficiales y subterráneas, con el fin de caracterizarlas y clasificarlas según su calidad química. Con todo esto se confeccionó un mapa hidrogeológico y la presente memoria.

El valle de Mallarauco es regado casi exclusivamente con aguas provenientes del río Mapocho a través del canal Mallarauco. Así, se concluye que el 90% de la recarga del sistema subterráneo proviene del riego con aguas de este canal y solo un 10% del agua lluvia, llegando a un total de 3.500 l/s. El principal mecanismo de descarga de este sistema es la recuperación de agua hacia el estero La Higuera, actuando como un rebalse al subir los niveles estáticos. Cabe destacar que el sistema hídrico subterráneo del área estudiada depende en gran medida del canal Mallarauco.

Del balance hídrico, se concluye que la cantidad explotable de agua subterránea es de 3.500 l/s, por encima de la explotación potencial actual de 257 l/s. Esta diferencia en el consumo disminuirá el caudal del estero La Higuera, por lo que se deben tomar en cuenta los derechos de aguas superficiales aguas abajo, con el propósito de analizar la cantidad de agua subterránea explotable.

Los acuíferos más atractivos se encuentran en la parte media y baja del valle, constituidos por dos unidades de arena y grava con algo de arcilla, semiconfinadas por un acuífero freático pobre a muy pobre, siendo

este último el de mayor volumen en la zona. La cantidad de agua embalsada por los acuíferos es de 178.820.000 m³.

Respecto a la calidad de las aguas, se puede señalar que los resultados de análisis químicos mostraron que las aguas superficiales son neutras y bicarbonatadas-sulfatadas cálcico-sódicas en su entrada, y sulfatadas-bicarbonatadas cálcico-sódicas a su salida, presentando un alto riesgo de salinización del suelo. Son altas en sodio, pudiendo ser perjudiciales para algunas plantas. Por otra parte, las aguas subterráneas son neutras y sulfatadas-bicarbonatadas cálcicas, con valores de SO₄ que alcanzan hasta los 350 mg/l, superando la norma chilena de riego y consumo. Este alto contenido de SO₄ también se observa en las aguas superficiales a la salida del valle. El origen de estos sulfatos se explicaría por los fertilizantes usados en la extensa zona agrícola.

Se recomienda medir el caudal superficial en el valle de Mallarauco durante todo el año, tanto en la entrada (canal Mallarauco) como en la salida (estero la Higuera). Esto permitiría una mejor evaluación, y por lo tanto, una mejor administración del recurso hídrico en el área.

Un estudio hidroquímico que incluya nitratos, fosfatos y microelementos permitiría un mejor análisis de la influencia de los fertilizantes en el valle y del real efecto de los contaminantes entrantes a través del canal Mallarauco, provenientes del río Mapocho.

Es recomendable realizar un control de la salinización del suelo por efecto del riego.

Prof. Guía: Sara Elgueta
30.09.1999

ALTERACIÓN HIDROTHERMAL EN EL DEPÓSITO EPITERMAL DE AU- AG EL PEÑÓN, II REGIÓN ANTOFAGASTA

Miguel Angel Pérez Aspe

El proyecto El Peñón, ubicado a 120 km al sur este de la ciudad de Antofagasta, corresponde a un depósito epitermal del tipo adularia-sericita, alojado en rocas volcánicas asignadas a la Formación Augusta Victoria. Estas últimas corresponden a domos, tobas riolíticas con diversos grados de soldamiento, dacitas y andesitas. La mineralización de Au y Ag, contenida en vetas de cuarzo-adularia, se presenta como electrum, cerargirita, bromargirita, oro y plata nativos.

La roca de caja de las vetas ha sido afectada por alteración hidrotermal del tipo cuarzo-adularia, cuarzo-sericítica y propilítica. Los sectores más altos del depósito han sido, además, afectados por lixiviación ácida. Alteración supérgena caracterizada por la presencia de alunita y minerales de arcilla, se superpone a las asociaciones de alteración hipógena.

La distribución de la alteración hidrotermal y la mineralización en el depósito, evidencia control estructural. La presencia de fallas y fracturas facilitó la circulación de los fluidos, determinando la ubicación de vetas y halos de alteración. Las asociaciones de alteración están, a su vez, determinadas por la composición de la roca de caja; las riolitas favorecen el desarrollo de alteración cuarzo-sericítica, mientras que la alteración propilítica afecta preferentemente a dacitas y andesitas.

La distribución de la alteración argílica supérgena está controlada por la permeabilidad de la roca de caja, alcanzando su mayor extensión en rocas fracturadas y tobas con bajo grado de soldamiento.

La asociación cuarzo-adularia, junto a la mineralogía de mena, indican un ambiente hidrotermal con pH alcalino a neutro y baja actividad de azufre. La asociación cuarzo-sericita evidencia reacciones de hidrólisis de feldspatos primarios, con fluidos hidrotermales de pH neutro a débilmente ácido. Ambas asociaciones son consistentes con temperaturas menores a los 300°C. La presencia de alunita y zonas argílicas de origen supérgeno indican condiciones ácidas para este evento.

Texturas de reemplazo de carbonato por sílice, presencia de brechas hidrotermales y rocas afectadas por lixiviación ácida indican ocurrencia de ebullición, con pérdida de CO₂ y H₂S, para el sistema hidrotermal que generó el depósito. La geoquímica de la roca de caja alterada sugiere que el proceso de alteración produjo un enriquecimiento en K y pérdida de Ca y Na.

Dataciones radiométricas K/Ar señalan una edad entre los 53-59 Ma para la alteración, y entre 55 Ma y >60 Ma para la roca de caja.

Prof. Guía: Waldo Vivallo
21.07.1999

GEOQUÍMICA DE CRISTALES DE AU EN EL DEPÓSITO TIPO PÓRFIDO DE ORO DE CERRO CASALE, FRANJA DE MARICUNGA, III REGIÓN, CHILE

Pablo Rivas Bustamante

El presente trabajo corresponde a un estudio geoquímico de cristales de oro en el pórfido aurífero Cerro Casale, ubicado en el cinturón metalogénico Maricunga, III Región, Chile. El depósito está hospedado en un complejo de pórfidos dioríticos y granodioríticos, brechas ígneas y brechas hidrotermales, datados en 13.5 Ma, que intruyen rocas félsicas del Mioceno.

Se reconocen una alteración potásica central y una alteración potásica periférica, ambas tempranas y caracterizadas por cuarzo, feldespato alcalino, biotita, magnetita, hematita y oro, superpuestas por una alteración filica (sericita, cuarzo, pirita, turmalina, calcopirita y oro). El total de recursos que contiene el depósito Cerro Casale se estima en 800 millones de toneladas que contienen 20 millones de onzas de oro.

Durante este estudio se separaron y analizaron mediante microsonda electrónica 68 granos de oro provenientes de 11 muestras de los pórfidos diorítico, granodiorítico y de las brechas hidrotermales. En estas muestras se incluyen granos de oro asociados a las alteraciones potásica central, potásica periférica y filica.

Los resultados del estudio geoquímico indican que los granos de oro depositados durante la alteración potásica central (muestras tomadas desde el pórfido granodiorítico

y de fragmentos de él incluidos en brechas hidrotermales) presentan altos contenidos de Ag (17 - 26%) y bajas concentraciones de Cu (0 - 0.05%). Los granos de oro depositados durante la alteración potásica periférica (muestras tomadas desde el pórfido diorítico y de fragmentos del mismo incluidos en brechas hidrotermales) exhiben concentraciones de Ag y Cu intermedias (8 - 14% y 0.025 - 0.125% respectivamente). Los granos de oro asociados a la alteración filica (muestras tomadas desde la matriz de brechas hidrotermales y desde vetillas con alteración filica en pórfidos), se caracterizan por presentar bajos contenidos de Ag (1 - 7%) y altas concentraciones de Cu (0.05 - 0.275%).

Estos datos indican además, que en el depósito estudiado, tanto los fluidos hidrotermales que causaron la alteración potásica, como aquellos que provocaron la alteración filica, aportaron oro al sistema. Además es posible señalar que en el depósito Cerro Casale la Alteración filica de retrogrado no disuelve ni remueve los granos de oro formados durante la alteración potásica temprana.

Prof. Guía: Carlos Palacios
17.05.1999

INFLUENCIA DE LAS ESTRUCTURAS EN LA RUPTURA DE PROBETAS SOMETIDAS A COMPRESIÓN UNIAXIAL. ANDESITA, TENIENTE 4 REGIMIENTO. YACIMIENTO EL TENIENTE

José Miguel Rodrigo Basualto

Actualmente, la mayor parte de la explotación en el yacimiento El Teniente se realiza en roca primaria, la cual presenta mayor rigidez y dureza, así como fragmentación más gruesa y menor ley que la roca con enriquecimiento secundario. Las propiedades mecánicas de la roca son particularmente relevantes en la explotación de la zona primaria. Por esta razón, la División El Teniente encarga la realización de ensayos geotécnicos en los distintos tipos litológicos presentes en el yacimiento. Uno de estos ensayos es el de compresión uniaxial (UCS), el cual pretende determinar la resistencia de la roca intacta. La presencia de discontinuidades en las probetas ensayadas, influye de forma muy significativa en el resultado final de estas pruebas y, en consecuencia, en las conclusiones que de ellas se desprenden.

En este trabajo, se proponen formatos de descripción para los ensayos de compresión uniaxial y triaxial, tracción directa e indirecta y corte directo en celda Hoek. Mediante la aplicación de uno de estos formatos, se estima la influencia de las vetillas (estructuras selladas, con relleno mineral) en la ruptura de probetas de andesita sometidas a ensayos de compresión uniaxial, extraídas de uno de los sectores productivos del yacimiento (Teniente 4 Regimiento). Así mismo, se identifican los rellenos minerales de estructuras, que condicionan la falla de las probetas antes mencionadas. Además, se caracteriza en forma preliminar el *stockwork* (intenso enrejado de vetillas) que afecta al

sector del cual fueron extraídas las probetas de andesita ensayadas.

Una adecuada descripción geológica de las probetas sometidas a ensayos geotécnicos, en forma previa y posterior a dichas pruebas, permite una interpretación más objetiva de los resultados obtenidos. El formato de descripción aplicado a las probetas de andesita, sometidas a ensayos de compresión uniaxial, permite concluir que, en la mayoría de los ensayos, las vetillas tienen participación en la ruptura de las probetas, llegando a influir en un 82% de las muestras ensayadas mediante este método. Los rellenos minerales más frecuentes de las vetillas presentes en las probetas observadas, están compuestos por anhidrita, cuarzo, calcopirita y turmalina. Minerales como cuarzo y turmalina han mostrado ser los más resistentes. Anhidrita y calcopirita aportan menor resistencia a las vetillas. Cuarzo y anhidrita generalmente se presentan juntos en el relleno y su aporte a la resistencia depende fundamentalmente de su abundancia relativa, siendo más resistentes las vetillas ricas en cuarzo. Calcopirita, bornita y molibdenita tienden a controlar la resistencia de las vetillas en la medida que su disposición forma una "lámina continua" dentro del relleno de la estructura, es decir, cuando constituyen la "sutura" del relleno de la vetilla.

En este trabajo, se entiende que aquellas estructuras que no son consideradas en un determinado método de mapeo, presentan el *stockwork* asociado a dicho método. Mediante la aplicación del método de mapeo

mediante líneas de detalle, se observó que la disposición espacial de las estructuras mapeadas a escala 1:1.000, es distinta de la disposición de parte del *stockwork* asociado a dicho método (estudiado en este trabajo con líneas de detalle). Sin embargo, el mapeo con líneas de detalle también tiene asociado un *stockwork*, cuya intensidad fue estimada mediante el método, denominado en este trabajo, "conteo de *stockwork*". La aplicación de este último método permite concluir que las líneas de detalle realizadas en este trabajo, sólo incluyen aproximadamente el 12% de las vetillas observables en la zona de estudio.

Observaciones realizadas en terreno sugieren que las estructuras pertenecientes al *stockwork*, asociado al mapeo escala 1:1.000, tienen una participación importante en el fracturamiento del macizo rocoso. Dichas estructuras representan la gran mayoría de las caras de los bloques que se desprenden en el frente de hundimiento de la mina Regimiento (C-29, Nivel de Hundimiento). Se recomienda realizar estudios de mayor detalle en cuanto a la participación e influencia de estas estructuras, en éste y otros sectores del yacimiento, así como en otras litologías.

Prof. Guía: Sofía Rebolledo
12.07.1999

SEDIMENTACIÓN Y PALEO GEOGRAFÍA DE LA FORMACIÓN SPRINGHILL, EN LA BOCA ORIENTAL DEL ESTRECHO DE MAGALLANES, ARGENTINA

Jesús Sánchez Ojeda

El bloque Área Magallanes cubre una superficie de 244 km², y está localizado dentro de la actual plataforma continental Argentina, 10 km al este de la desembocadura oriental del Estrecho de Magallanes. El trabajo se focaliza en el estudio de una formación sedimentaria que data del Jurásico Superior - Cretácico Inferior, conocida con el nombre de Formación Springhill. Esta formación corresponde al reservorio clásico de hidrocarburos, explotado dentro de la Cuenca de Magallanes. La profundidad a la que se encuentra la Formación Springhill dentro del bloque, fluctúa entre los 1500 y 1600 metros bajo el nivel medio del mar. La morfología actual del techo de esta formación, está caracterizada por dos cordones de altos estructurales paralelos, que conforman un sistema de horst y graben, de orientación noroeste,

localizado en la parte central del bloque. Esta formación corresponde a una secuencia transgresiva depositada de manera discordante sobre los depósitos volcánicos ácidos (tobas y riolitas) que constituyen la denominada Formación Tobífera. En el Bloque Área Magallanes, las facies sedimentarias que constituyen la Formación Springhill, corresponden a depósitos parálicos arenosos y limosos.

El objetivo central de este trabajo es la definición de un modelo paleogeográfico que muestre la distribución de facies para la Formación Springhill. Para ello se describieron 8 testigos y se realizaron correlaciones con perfiles de pozo e interpretaciones de facies con mapas de amplitud sísmica.

Se definen un total de 14 facies sedimentarias para la formación Springhill,

las cuales se agruparon en 4 asociaciones de facies, con las cuales, se elaboró el modelo paleogeográfico. Las asociaciones descritas corresponden a: asociaciones supramareales, intermareales, de playa-barrera y de frente de playa ("shoreface"). Las asociaciones supramareales corresponden a ambientes muy restringidos que se desarrollaron hacia las zonas más elevadas del bloque. Las asociaciones intermareales se distribuyen hacia los flancos de los altos, y constituyen depósitos representados por facies de planicies y canales de marea. Las asociaciones de playa -barrera constituyen depósitos de arenas gruesas cuarcíferas acrecionados en torno a los dos altos estructurales y se encuentran protegiendo una zona ubicada detrás de la playa, donde predominan las mareas. Finalmente, las asociacio-

nes más profundas corresponden a las de frente de playa.

Se pudo establecer, que dentro del Bloque Área Magallanes, la formación Springhill se depositó durante tres ciclos sedimentarios, definidos por tres eventos de inundación, de carácter regional.

Finalmente, se concluye que la paleogeografía del área estuvo dominada por depósitos intermareales, principalmente limosos, desarrollados en los flancos más tranquilos de los altos estructurales y depósitos de playa-barrera, que resguardaron a estos ambientes protegidos de la acción de las olas. Por ello, la paleogeografía que se interpreta es similar a la de una isla, con arenas costeras en la playa y limos hacia el interior.

Prof. Guía: Sara Elgueta
04.11.1999

CARACTERÍSTICAS PETOGRÁFICAS Y MINERALÓGICAS DE LAS ROCAS DEL SECTOR LAS CRUCES-PUNTA TRES CRUCES (33° 30' LAT. S) REGIÓN DE VALPARAÍSO: IMPLICANCIAS PETROGENÉTICAS

Leonardo Sanhueza Fritis

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo determinar las condiciones físicas de formación (P, T) de las rocas pertenecientes al Complejo Metamórfico de Valparaíso, que afloran en el área costera de Chile Central comprendida entre Punta Tres Cruces y la playa grande de la localidad de Las Cruces (33° 30' Lat. S). Para ello se realizó un estudio petrográfico y mineralógico composicional (EMPA) y un análisis geotermobarométrico.

En el sector se reconocieron cuatro tipos litológicos principales: 1) gneisses tonalíticos de biotita + granate, 2) gneisses graníticos

de biotita + granate, 3) metagabros y 4) anfibolitas. Entre la playa grande de Las Cruces y Punta El Lacho, los gneisses conforman un complejo migmatítico.

En los gneisses se evaluó en desempeño de varios geotermómetros de granate y biotita. Las temperaturas obtenidas fueron de ~650°C para los gneisses graníticos de biotita + granate, de ~770°C para los gneisses tonalíticos de biotita + granate y de ~640°C para un melanosoma incluido en gneiss tonalítico. En los metagabros se determinaron presiones de 6,5-8,5 Kbar y temperaturas de 650-800°C, usando el

geobarómetro de clinopiroxeno y plagioclasa (Mc Carthy y Patiño-Douce, 1998) y el geotermómetro gráfico de dos piroxenos (Lindsley, 1983).

Estos resultados permiten establecer que la zona de estudio corresponde a un terreno metamórfico, cuyo grado máximo es consistente con condiciones de presión y temperatura usualmente consignadas a la facies granulita, aunque no fueron reconocidas las asociaciones mineralógicas que definen dicha facies. Todas las rocas están afectadas por metamorfismo retrógrado caracterizado principalmente por la presencia de muscovita y tremolita-actinolita.

La información disponible no es suficiente para determinar la relación genética entre metagabros y cada componente del complejo migmatítico. La formación de migmatitas *in situ* es posible en las condiciones de presión y temperatura aquí determinadas, lo que

permite sugerir que los gneisses graníticos representen productos de anatexia. En ese caso, los gneisses graníticos constituirían el leucosoma, los gneisses tonalíticos el mesosoma (o bien metatexitas) y las bandas melanocráticas incluidas en los gneisses, el melanosoma (restita silícea). Otros procesos también pueden estar involucrados, como migmatización por inyección.

Se sugiere, en lugar de granulitas, la denominación propuesta por Winkler (1979) para rocas que si bien han sido sometidas a procesos de metamorfismo regional de alto grado no poseen las asociaciones minerales diagnósticas de la facies granulita: granoblastitas de biotita + granate.

Prof. Guía:
Miguel Angel Parada
13.12.1999

EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL ÁREA PUERTO MONTT-FRUTILLAR, Xª REGIÓN

Isabel Santibañez Boric

En el presente trabajo se exponen los resultados del estudio orientado a evaluar hidrogeológicamente los alrededores de Puerto Montt y Frutillar, Xª Región de Los Lagos.

Los objetivos consistieron fundamentalmente en identificar, delimitar y caracterizar los depósitos sedimentarios que constituyen acuíferos y determinar sus parámetros hidráulicos, como permeabilidad y transmisividad. La metodología consistió en la integración y reinterpretación de la estratigrafía de pozos y de la geología de superficie, la elaboración y análisis de mapas de isopiezas e isopropiedades y la inter-

pretación de pruebas de bombeo y perfiles hidrogeológicos.

La zona de estudio abarca parte de dos hoyas hidrográficas, clasificadas como de "Ríos tranquilos con regulación lacustre en la zona húmeda de Chile". La precipitación anual fluctúa alrededor de los 2.000 mm; la temperatura es templada, con promedios anuales de 10°C; la evaporación media anual es mayor que 750 mm y la evapotranspiración anual promedio está entre los 500 y 550 mm/año.

La ocurrencia de acuíferos en la zona está ligada al desarrollo y relleno de la Depresión Intermedia; los depósitos más comu-

nes son los glaciales y sus respectivos depósitos fluvioglaciales, algunos depósitos volcánicos de tipo lahárico, de avalancha volcánica y de flujo piroclástico, y depósitos fluviales menores.

El relleno sedimentario es heterogéneo y puede considerarse para efectos de una caracterización regional, un sólo cuerpo acuífero libre constituido esencialmente por gravas y arenas moderada a bien seleccionadas, subredondeadas a redondeadas, con matriz arenosa y cantidades variables de finos, presentando espesores de hasta varios cientos de metros.

La porosidad del material acuífero varía entre 20 y 50%, la conductividad hidráulica entre 10^{-3} y 10^3 m/día, y la transmisividad entre 10^0 y 10^5 m²/día. La mayoría presenta transmisividad sobre los 10^2 m²/día, consideradas medias a altas.

El análisis de la estratigrafía de los pozos y sus permeabilidades respectivas, así como los caudales específicos y las transmisividades calculadas, llevan a concluir que si bien a gran escala existe una relación entre geología de superficie y características del acuífero, a nivel de detalle ésta sólo puede ser tomada como una guía. En ningún caso las características de la unidad geológica de superficie admiten ser asociadas directamente al acuífero en profundidad.

Para futuros trabajos, una adecuada comprensión de la dinámica glacial, junto a la aplicación integrada de varios métodos cuantitativos, permitirá definir las características hidrogeológicas locales de otras áreas.

Prof. Guía: Sara Elgueta
02.09.1999

GEOQUÍMICA Y PRODUCTOS DE ALTERACIÓN EN EL ÁREA GEOTERMAL DE PUCHULDIZA, REGIÓN DE TARAPACÁ, CHILE

Luis Urzúa Monsalve

El área geotermal de Puchuldiza se encuentra ubicada en el Altiplano Chileno a una altura de 4.150 m.s.n.m., en las coordenadas 19°23'S y 69°00'O. Está situada en una cuenca de origen tectónico, limitada al norte por la Sierra Uscana, al este por el cerro Condoriri, al sur por la serranía de Pesajere. La cuenca es un graben constituido por una secuencia de estratos volcánicos y sedimentarios cuyas edades oscilan desde el Cretácico al Pleistoceno; los niveles sedimentarios están compuestos principalmente por areniscas bien estratificadas mientras que los niveles volcánicos están constituidos por tobas y andesitas.

En el área se han realizado diversos estudios de exploración, sin embargo los procesos

de interacción entre el agua circulante y las rocas del sistema no han sido estudiados en detalle. Un estudio de estas características proporciona una importante herramienta para examinar cómo varían las fases mineralógicas con respecto a la profundidad y a la composición del fluido en el reservorio.

Establecida la mineralogía de alteración, mediante análisis petrográficos y difracción de rayos-X, se procedió a relacionar la química de los fluidos del reservorio con estas fases empleando el método de Henley et al. (1984). Para efectuar esta relación se construyeron diagramas de estabilidad a 25°C y 200°C en los sistemas $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{H}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ y $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{MgO}-\text{H}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ a partir de las bases de datos termodinámicos.

Considerando la química de las aguas del reservorio en los diagramas de estabilidad resultan como minerales en equilibrio a 200°C cuarzo, calcita, mica potásica y clorita. Esta secuencia mineralógica es coincidente con las fases minerales presentes en las muestras de profundidad (200 a 700 m) en contacto con fluidos cercanos a la temperatura considerada (200°C). Al disminuir la temperatura del fluido (temperaturas menores a 200°C) las fases mineralógicas esperadas como productos por los diagramas de estabilidad coinciden con la mineralogía de las muestras superficiales, en las que predominan los filosilicatos pertenecientes al grupo de la caolinita y la esmectita.

ANÁLISIS HIDROQUÍMICO Y CONSIDERACIONES ACERCA DE LA EVOLUCIÓN DE LA LAGUNA DEL NEGRO FRANCISCO

Marcela Venegas Sada

La laguna del Negro Francisco se ubica a 110 km al sureste de Copiapó, entre los 27°25' S y los 27°30' S, y entre los 69°07' O y los 69°18' O, a una altura aproximada de 4.125 m.s.n.m.

Esta laguna se emplaza en la cuenca cerrada más austral del altiplano chileno. Posee un carácter endorreico, indicando que su descarga se produce principalmente por evaporación desde su superficie libre de agua.

La cuenca que alberga la laguna en su sector topográficamente más bajo, corresponde, a una depresión sedimentaria, que contiene las unidades con mayor potencial hidrogeológico, limitada por rocas paleozoicas de bajo a nulo potencial hidrogeológico, consideradas en este trabajo, como basamento impermeable.

La laguna se encuentra dividida en dos por una barrera aluvial, en dirección este-

De lo expuesto con anterioridad se desprende que el estudio de los procesos de interacción agua-roca proporciona una importante herramienta para determinar las fases mineralógicas estables en diferentes condiciones físico-químicas que presenta un sistema geotérmico. Una mayor precisión para esta determinación puede ser obtenida a través de los datos aportados por un muestreo de gases tanto de las fuentes termales como de los pozos exploratorios.

Prof. Guía: Alfredo Lahsen
02.11.1999

noreste. La laguna del sureste, cuenta con una superficie de 5,44 km², es salobre, presenta aguas con un total de sólidos disueltos de 1.700 mg/l. Corresponde a un sistema abierto, es decir, cuenta con entradas y salidas de flujos de agua, por esto su salinidad es moderada.

La laguna del noreste, cuenta con una superficie de 12,84 km², es salada, registra gran contenido de sólidos disueltos, casi 1.000 veces mayor que la laguna salobre. Es un sistema cerrado, es decir, sólo tiene entrada de agua y la salida es mediante evaporación, explicando la alta salinidad de sus aguas.

Desde el punto de vista hidroquímico los componentes mayores, tanto en las aguas de los principales afluentes a la laguna, como en las aguas subterráneas, provienen de la meteorización de vidrio y minerales como plagioclasas y feldespatos, muy abundantes en las rocas volcánicas de toda la cuenca.

Por otra parte, las aguas de ambas lagunas, presentan la concentración de sus elementos mayores, causada sólo por procesos de evaporación.

La mayoría de las aguas superficiales que llegan a la laguna, son de composición carbonatada, por su parte, las aguas subterráneas son sulfatadas. Esto se explica, por la gran presencia de depósitos con azufre, asociados a rocas volcánicas y la existencia de grandes zonas con alteración hidrotermal. Es decir, las aguas al infiltrarse, lixivian las rocas del relleno sedimentario, cambiando su composición.

DIAGNÓSTICO DE LOS CONTENIDOS DE NITRATOS EN EL AGUA SUBTERRÁNEA DEL VALLE DEL ACONCAGUA

Antonio Vidaurre Gardner

El presente estudio trata de la contaminación por nitratos (NO_3^-) de las aguas subterráneas de la cuenca del río Aconcagua. Sus objetivos son diagnosticar el estado de contaminación actual por este compuesto, determinar si el acuífero presenta las condiciones físico-químicas necesarias para la ocurrencia de los procesos naturales de eliminación de este contaminante, determinar la importancia relativa de las fuentes que pueden producir este tipo de contaminación, y concluir con respecto a las características que debiera presentar un sistema de monitoreo de la calidad de las aguas subterráneas en la cuenca.

El valor base o natural para el contenido de nitratos de las aguas subterráneas en la zona de estudio fue evaluado en 0.1 mg/Lt (valor en N-NO_3^-). Las aguas subterráneas de prácticamente toda la cuenca presentan valores sustancialmente mayores a este valor: considerando los últimos análisis,

Debajo de la laguna y de la depresión, existe una serie de capas de arcilla alternadas con gravas y arenas, que cuentan con grandes cantidades de sal en su estructura, lo que indica que la laguna ha sufrido períodos con considerables cantidades de agua y períodos durante los cuales se ha secado por completo. De este modo la laguna del Negro Francisco y gran parte de la depresión sedimentaria, responden a un modelo de evolución cíclico del tipo playa-lago.

Prof. Guía: Sara Elgueta
02.09.1999

el 80% de los pozos presenta valores mayores a 0.7 mg/Lt de N-NO_3^- , y el 50% presenta valores mayores a 2.4 mg/Lt , lo que demuestra una fuerte influencia antropogénica sobre la química de estas aguas. Por otra parte, se aprecia una marcada tendencia a que los pozos de menor profundidad presenten los valores más altos de contaminación por este compuesto. Desglosando la información de la cuenca, se concluye que los sectores con mayor contaminación corresponden al valle del estero Limache, al sector de Quillota y a los alrededores de San Felipe. Estos sectores cuentan además con niveles estáticos someros, menores a 5 mts, por lo que las captaciones poco profundas, y por ende con mayores probabilidades de contenidos elevados, son frecuentes.

Los antecedentes recopilados con relación a las fuentes de esta contaminación en la zona de estudio no permiten concluir con respecto a la importancia relativa de ellas.

Se estima, sin embargo, en base al uso de suelo en la zona, que las pérdidas por lixiviación de los fertilizantes nitrogenados serían las responsables de los contenidos anómalos observados.

Las aguas subterráneas de prácticamente toda la zona de estudio presentan contenidos de oxígeno disuelto y potenciales redox (E_H) elevados. Estas condiciones oxidantes implican que los procesos de eliminación natural que afectan a los nitratos no pueden estar ocurriendo, y que este compuesto se puede acumular indefinidamente en el sistema. Solamente en la desembocadura, entre los sectores de Tabolango y Concón, se tienen las condiciones de óxido-reducción adecuadas para la eliminación de nitratos, con contenidos extremadamente bajos ($<0.1 \text{ mg/l}$ de N-NO_3^-) de este elemento.

Bajo estas condiciones oxidantes, el nitrato es prácticamente conservativo. Utilizando este hecho, en conjunto con los análisis químicos realizados, evidencias de diferencias químicas verticales y antecedentes hidrogeológicos y geomorfológicos para la zona, se postula una geometría para el sistema de flujo de las aguas subterráneas en la cuenca. Éste se caracterizaría por presentar sistemas de flujo locales, de tiempos de residencia cortos, sobreimpuestos a siste-

mas de flujo de mayor escala, con mayores tiempos de residencia y una calidad química muy contrastante. Debido a esto, para permitir una correcta interpretación de los datos y una adecuada capacidad de detección de los problemas de contaminación de este recurso, el monitoreo de las aguas subterráneas de la cuenca debe considerar tanto la vulnerabilidad intrínseca del acuífero como el sistema de flujo de éste.

La tendencia al aumento en el uso de fertilizantes de las últimas dos décadas, en conjunto con el continuo reemplazo de aguas más antiguas por recarga más reciente y de peor calidad química, hacen prever un aumento de la contaminación por nitratos en el tiempo. Dado que la mayor parte del sistema no presenta las condiciones como para que se eliminen naturalmente los nitratos, en conjunto con los tiempos de residencia elevados, se tiene que la recuperación natural de este sistema con respecto a este compuesto tendría una demora considerable. Este tiempo de recuperación debiera ser aún mayor para otros contaminantes no-conservativos que sufren retardos en sus procesos de transporte, como los fosfatos y los pesticidas.

Prof. Guía: Sofía Rebolledo

14.12.1999

ESTUDIO DE LA MORFOLOGÍA DEL SECTOR CORDILLERANO DE LAGUNILLAS, CAJÓN DEL MAIPO. REGIÓN METROPOLITANA, CHILE

Marcelo Vogel González

El presente trabajo de título tuvo como objetivo determinar el origen de las características morfológicas del sector de Lagunillas en el Cajón del Maipo, Región Metropolitana de Chile. La zona se divide en un sector de formas suaves y lomas bajas, y

en otro de altos escarpes. Con el propósito de estudiar esta morfología, se realizó un mapa fotogeológico y un levantamiento geológico a escala 1:20.000 en el cual se describieron las características geotécnicas de las rocas y depósitos encontrados.

En la zona de estudio se definieron tres unidades geológicas concordantes entre sí; una inferior denominada Unidad 1, constituida por andesitas y andesitas basálticas. Sobreyaciendo a la Unidad 1, aflora la Unidad 2, consistente de volcarenitas, brechas volcanoclásticas finas, tobas líticas y cristalinas y, en menor cantidad, lavas andesíticas. La unidad superior, denominada Unidad 3, está conformada por lavas macizas, brechas volcanoclásticas gruesas y tobas de lapilli líticas. La Unidad 1 ha sido asignada a la Formación Abanico, y las unidades 2 y 3 han sido anteriormente definidas como rocas de la Formación Farellones.

Las rocas que constituyen la Unidad 2 se encuentran profusamente cortadas por un sistema de diques con orientaciones entre N50°W y N75°W. Se propone como mecanismo de emplazamiento para estos cuerpos la intrusión del magma en grietas de tensión causadas por un fracturamiento hidráulico asociado al intrusivo andesítico de Plaza de Mula.

En la zona se reconocen dos sistemas de fallas de rumbo que constituyen un par conjugado: uno principal WNW-ESE, de sentido sinistral, y uno secundario ENE-WSW, de sentido dextral. La dirección de esfuerzo máximo calculado (S1) es aproximadamente E-W, y puede ser correlacionado con un evento compresivo E-W, reconocido por otros autores, de edad Mioceno Superior a Plioceno que afectó a la Cordillera Principal en el sector del estudio. El emplazamiento de los diques y el fallamiento corresponderían a eventos tectónicos distintos.

En la zona de estudio se reconocen tres tipos de depósitos cuaternarios principales: escombros de falda, depósitos aluviales y depósitos de remoción en masa.

Según los antecedentes reunidos en terreno, la morfología de los escarpes y de los depósitos consistentes en grandes bloques en una matriz de finos son el resultado de una sucesión compleja de eventos de remoción en masa entre períodos de depositación aluvial. Esta sucesión incluye grandes flujos de detritos ocurridos en el sector de Rincón Los Lunes que explicarían la morfología lobulada de los depósitos más potentes. Estos materiales se encuentran actualmente estables y soportan una cobertura vegetal de arbustos y árboles pequeños.

La morfología alomada de Lagunillas está condicionada por la presencia del sistema de diques que intruye a la Unidad 2. La erosión diferencial entre las rocas subvolcánicas y la roca encajante volcanoclástica habría generado el relieve de suave lomaje.

El sector de Lagunillas es actualmente el escenario de diversos procesos de remoción en masa a pequeña escala. Estos consisten en: reptación lenta de suelos arcillosos, caída de bloques y finos desde cortes en las quebradas, y algunos basculamientos de bloques de rocas. Durante los deshielos y lluvias torrenciales, son comunes los flujos de barro y los flujos aluviales de pequeñas dimensiones.

Prof. Guía: Sofía Rebolledo
03.11.1999

GEOLOGÍA DEL AREA DEL CERRO SAN LORENZO: CORDILLERA PATAGÓNICA ORIENTAL, XI REGION DE AYSEN, CHILE (47°25' a 47° 50'5)

Daniela Welkner Rowe

El presente trabajo de título tuvo como objetivo establecer la cronoestratigrafía, características litológicas y geoquímicas de las unidades que afloran en el área de estudio, con el fin de reconstruir la historia geológica de la zona. El estudio se centró en un levantamiento geológico, y la metodología se basó en la descripción petrográfica, análisis químicos y radiométricos (estos últimos sólo en las unidades intrusivas) de muestras recolectadas durante el mapeo.

Durante el Devónico Superior al Carbonífero Inferior? se habría depositado, en el margen occidental de Gondwana, una secuencia predominantemente clástica compuesta por una alternancia de pelitas y areniscas ricas en cuarzo probablemente acumuladas sobre corteza continental. El mecanismo de depositación más probable para la secuencia sedimentaria correspondería a corrientes de turbidez, y en menor proporción flujos de detrito. Actualmente estos depósitos forman parte del Complejo Metamórfico Andino Oriental, que en el área de estudio han sido definidos informalmente con el nombre de Unidad Lago Cochrane (ULC). La deformación del Complejo Metamórfico Andino Oriental ocurrió probablemente durante el Paleozoico Superior. Las estructuras presentes en la ULC permiten inferir que esta unidad experimentó dos eventos deformativos principales que se desarrollaron esencialmente en un ambiente dúctil, caracterizado por un plegamiento a varias escalas.

Durante el Jurásico Superior, en los inicios de la ruptura de Gondwana, quedó registrado el primer evento magmático ocurri-

do en la zona de estudio representado por la intrusión de la Tonalita Sobral, cuya datación arrojó valores de 138 ± 8 y 143 ± 5 Ma (K-Ar en anfíbola y biotita, respectivamente). Corresponde a una tonalita de anfíbola débilmente peraluminosa perteneciente a la serie calcoalcalina de potasio medio. Este evento intrusivo se vio acompañado de episodios extrusivos que resultaron en la depositación de rocas volcánicas piroclásticas y lávicas ácidas a intermedias pertenecientes al Grupo Ibañez. Las rocas volcánicas expuestas en la zona de estudio se asignaron a este grupo sobre la base de su posición estratigráfica y estrecha relación química con la Tonalita Sobral.

Durante el Cretácico Inferior tardío otra manifestación magmática habría ocurrido en el área. Corresponde al Pórfido Diorítico Cuarzífero Calluqueo, datado en 121 ± 3 Ma (K-Ar en biotita). El emplazamiento de este cuerpo hipabisal estuvo controlado por los planos de foliación principal de la ULC.

Durante el Cretácico Superior temprano habría tenido lugar un magmatismo alcalino de intraplaca asociado a un régimen tectónico extensional, el que estaría representado por la Monzonita Cuarzífera Tranquilo, y evidenciado por las relaciones Rb vs Y+Nb y Zr/Y vs Zr que caracterizan a la unidad. La roca dominante corresponde a una monzonita cuarzífera de biotita y hornblenda datada en 90 ± 2 Ma (K-Ar en biotita), con facies marginales sienograníticas y de sienitas cuarzíferas. Su rasgo más conspicuo lo da la presencia de una brecha marginal generada por la intrusión sincrónica (o levemente posterior) de

un cuerpo gabroico datado en 89 ± 3 Ma (K-Ar en biotita). La presencia de un sienogranito peralcalino de arfvedsonita y riebeckita datado en 84 ± 4 Ma (K-Ar en anfíbola), corrobora el magmatismo alcalino y ha sido interpretado como representante del mayor grado de evolución que habría alcanzado la Monzonita Cuarcifera Tranquilo.

En el Mioeno Superior tiene lugar la intrusión del Granito San Lorenzo datado en $6,4 \pm 0,4$ y $6,6 \pm 0,5$ Ma (K-Ar en biotita), lo que se traduce en aproximadamente 76 Ma sin registro geológico en el área de estudio. El Granito San Lorenzo corresponde a un granito miarolítico, metaluminoso tipo I que pertenece a la serie calcoalcalina de alto

potasio. Su relación Rb vs Y+Nb apunta a una génesis en un ambiente de arco volcánico. Se caracteriza por presentar en claves granodioríticos dispuestos de manera subhorizontal y paralelos entre sí, los que han sido interpretados como diques sinplutónicos.

El último registro magmático en la zona de estudio corresponde al Pórfido Diorítico Agostini. Esta unidad, datada en $5,9 \pm 1,1$ y $4,5 \pm 0,6$ Ma (K-Ar en biotita y anfíbola, respectivamente), está formada por dos pequeños cuerpos que intruyen a la ULC y al Grupo Ibañez, respectivamente.

Prof. Guía: Manuel Suárez
20.07.1999

REDEFINICIÓN DE LA RED DE MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL VALLE DEL ACONCAGUA

Wolf von Igel Grisar

En los últimos años, la calidad de las aguas subterráneas en general se ha deteriorado, producto de una intensa explotación y una creciente actividad antrópica a nivel nacional. La amenaza a esta calidad ha motivado a la Dirección General de Aguas, organismo encargado de controlar este parámetro, a revisar la red nacional de monitoreo de calidad de aguas subterráneas que mantiene, a lo largo del país, desde 1995.

En ese contexto, este trabajo tuvo como objetivo presentar bases metodológicas que permitan rediseñar las redes de monitoreo en todo el país y proponer, basado en esta metodología, una red de monitoreo de calidad de aguas subterráneas en el valle del río Aconcagua.

El diseño de una red de monitoreo de calidad de agua subterránea, se basa en el riesgo de contaminación del acuífero, el cual se evalúa en función de la vulnerabilidad a la

contaminación de las aguas y de la carga contaminante impuesta sobre el sistema. Respecto de la vulnerabilidad, se comparan dos métodos desarrollados para evaluarla, denominados DRASTIC y GOD, adaptándose un método modificado de este último.

La aplicación del método propuesto en el valle del Aconcagua demostró que existen extensas zonas del valle principal donde las aguas subterráneas presentan alta o extrema vulnerabilidad a la contaminación; éstas se extienden entre la costa y San Felipe y en los valles de Limache y Llay-Llay. En tanto, entre San Felipe y Los Andes, así como en los demás valles tributarios, la vulnerabilidad de las aguas subterráneas es, mayoritariamente, baja a despreciable.

Por otra parte, la mayor carga contaminante impuesta al subsuelo proviene, principalmente, de los agroquímicos aplicados en actividades agrícolas. Otra carga sustantiva

es producto de la descarga sin tratamiento de alcantarillados y efluentes industriales a los cauces superficiales. También son considerables las cargas impuestas por la población con saneamiento de aguas servidas *in situ* y las industrias que vierten sus efluentes directamente al suelo, así como aquellas producto de la actividad minera.

Se concluye que, en grandes extensiones del valle del Aconcagua, existe un alto riesgo de contaminación por nitratos, metales pesados y salinización asociado a actividades agrícolas. La recarga por infiltración desde cauces superficiales de mala calidad y prácticas de saneamiento *in situ* también representan un riesgo de contaminación, es-

pecialmente por nitratos. Finalmente se reconoce, en sectores puntuales, un riesgo de contaminación asociado a algunas industrias, especialmente a aquellas relacionadas a la minería.

Con objeto de observar la evolución de la calidad global de las aguas subterráneas en el valle del Aconcagua se ha propuesto una red de monitoreo que consta de 18 estaciones, definiendo para cada una su prioridad de instalación, objetivos específicos del monitoreo, frecuencia de muestreo y análisis a efectuar.

Prof. Guía: Sofía Rebolledo
27.01.1999

HISTORIA DE ENTERRAMIENTO Y EXHUMACIÓN DE LA FORMACIÓN ABANICO = COYA - MACHALÍ, CORDILLERA PRINCIPAL, CHILE CENTRAL

Enrique Zurita Barrios

El presente estudio tiene como objetivo determinar las condiciones de enterramiento y exhumación de la Formación Abanico = Coya - Machalí en un rango de tiempo comprendido entre 23 Ma y el Presente, basado en la maduración termal de la materia orgánica vegetal (reflectancia de la vitrinita) contenida en las rocas de tres sectores de la Cordillera Principal de Chile Central: i) Carretera El Cobre, ii) Cajón de Las Leñas, y iii) Puntilla de Licán. Ubicándose los primeros en el valle del Cachapoal, y el último en el valle del Maipo. La modelación computacional se realizó con el programa "BasinMod", versión 5.41.

Para cada sector se levantaron columnas litológicas y se recolectaron muestras de niveles potencialmente portadores de vitrinita. Los resultados indicaron que cada

sector posee rangos de madurez bien definidos. Así, para los sectores de la Carretera El Cobre y Puntilla de Licán, la madurez termal es media a moderadamente alta, mientras que en el sector del Cajón de Las Leñas, resultó ser muy alta a extremadamente alta. Adicionalmente, se verificó, en perfiles construidos con los datos de reflectancia de vitrinita y considerando los espesores en cada sector, que la madurez termal aumenta linealmente con la profundidad estratigráfica. Esto demuestra también, que el máximo calentamiento tuvo lugar antes de la deformación de la unidad. Para la reconstrucción de la historia de enterramiento y exhumación se procedió a la confección de modelos (perfiles) de madurez termal basados en: los espesores y litologías de cada columna, las dataciones radioisotópicas pre-

sentadas en este trabajo junto a otras ya publicadas y las condiciones termales actuales de la región. Estos perfiles fueron comparados con aquellos confeccionados con los datos de reflectancia de vitrinita y considerando distintos escenarios de flujos calóricos y temperaturas superficiales a partir del inicio de su depositación.

El análisis de estos modelos permitió concluir que los estratos más jóvenes de la Formación Abanico = Coya - Machalí, en la Carretera el Cobre y en el Cajón del Las Leñas, estuvieron enterrados, al menos, a 2.100 y 4.500 m de profundidad, respectivamente. Los estratos más jóvenes de Puntilla de Licán habrían sufrido un enterramiento similar al de Carretera El Cobre. Ello indica que la subsidencia y la sedimentación se prolongaron por un período largo después de la depositación de los estratos más jóvenes preservados actualmente, y que faltan espesores considerables en la columna estratigráfica. Las modelaciones ponen en evidencia que los espesores faltantes, aún con temperaturas superficiales altas (20°C), no varían en más de 200-300 m. Los flujos calóricos existentes para el momento en que las secciones alcanzaron su máximo enterramiento fueron estimados con el mismo método, obteniéndose valores de, al menos, 100mW/m² en la Carretera El Cobre y de 60-90 mW/m² en el Cajón del Las Leñas.

A la luz de estas evidencias se concluye que, tanto los estratos de la Formación Abanico = Coya - Machalí, como aquellos pertenecientes al espesor erosionado, se depositaron en una cuenca de magnitud considerable, de subsidencia rápida y prolongada en el tiempo. La depositación de los espesores

actualmente erosionados habría ocurrido después de los 22 Ma en la Carretera El Cobre, 14 Ma en el Cajón de Las Leñas y 20 Ma en Puntilla de Licán y, en consecuencia, tendría según el sector, edades coincidentes con la parte superior de la Formación Abanico = Coya - Machalí y con la parte inferior de la Formación Farellones, de acuerdo con los antecedentes cronológicos disponibles. Las diferencias en la profundidad de enterramiento y las condiciones termales, inferidas a partir de estos modelos en la Carretera El Cobre y en el Cajón de Las Leñas, sugieren cierta asimetría en el sistema depositacional.

Estos resultados, junto a antecedentes aportados en trabajos previos, permiten concluir el desarrollo de una o más cuencas (subcuencas) fuertemente subsidentes, probablemente extensionales, con alto flujo calórico, que alojaron los depósitos de las Formaciones Abanico = Coya - Machalí y Farellones durante el Mioceno. No es posible precisar con los datos disponibles la edad del comienzo de la exhumación. Antecedentes previos en esta región, señalan para el enfriamiento de cuerpos intrusivos y la alteración superficial en pórfidos profundos, tres momentos posiblemente asociados al inicio de la exhumación: 19-16, 8-7 y 4,7 Ma. Considerando las edades disponibles para los depósitos de las Formaciones Abanico = Coya - Machalí, Farellones y unidades más recientes, se deduce que los eventos de exhumación debieron haber tenido una influencia arealmente restringida.

Prof. Guía: Reynaldo Charrier
04.11.1999

estadio isotópico 7 y recuperada en el 5e, y Talinay III labrada en el estadio II y recuperada en el 9. Talinay IV se asigna al estadio isotópico 13, aunque podría ser más antigua.

La escasa deformación frágil encontrada corresponde a fallas de extensión, y al alza-

de las terrazas de vibración, y la edad de la deformación. Se sugiere un estudio geofísico del sector (perfil sísmico) para ayudar a delimitar la extensión vertical de las estructuras presentes y quizás revelar otras.

Prof. Guía: Alain Lavenu
02.11.2000

estudio de las condiciones de enterramiento y la evolución de las tumbas en el tiempo. Se analizaron los datos de las tumbas de la zona de Maipo, considerando los cambios en la estructura de las tumbas y la evolución de las tumbas en el tiempo. Se analizaron los datos de las tumbas de la zona de Maipo, considerando los cambios en la estructura de las tumbas y la evolución de las tumbas en el tiempo.

Para cada sector se levantaron columnas litológicas y se recolectaron muestras de niveles potencialmente portadores de virutina. Los resultados indicaron que cada

columna litológica muestra una estructura de estratificación que corresponde a la evolución de las tumbas en el tiempo. Se analizaron los datos de las tumbas de la zona de Maipo, considerando los cambios en la estructura de las tumbas y la evolución de las tumbas en el tiempo. Se analizaron los datos de las tumbas de la zona de Maipo, considerando los cambios en la estructura de las tumbas y la evolución de las tumbas en el tiempo.

HISTORIA DE ENTERRAMIENTO Y EVOLUCIÓN DE LAS TUMBAS EN LA ZONA DE MAIPO, VALLE DEL MAIPO, REGIÓN DE VALPARAISO, CHILE CENTRAL

Zulema Barrera