

3-5 CONSIDERACIONES GEOLOGICAS EN LOS PROCESOS DE LIXIVIACION DE BOTADEROS DE
RIPIOS EN CHUQUICAMATA, CHILE

Orlando Alvarez C.
Patricio Egaña S.
Codelco Chile, División Chuquicamata

RESUMEN

Al sur de la mina Chuquicamata, existe un extenso botadero de rípios de descarte del proceso de lixiviación de mineral oxidado extraído del yacimiento. Por su gran magnitud, su contenido de mineral, (0,3% Cu), y en base a los nuevos sistemas hidrometalúrgicos de recuperación de cobre, estos botaderos se han hecho muy atractivos a la recuperación de grandes volúmenes de este metal a bajo costo.

El proceso consiste en regar los botaderos con soluciones ácidas y obtener bajo ellos las soluciones fuertes, ricas en cobre, las que son tratadas en plantas de extracción por solventes y de electroobtención. Para ésto ha sido necesario aplicar diversos conocimientos geológicos, geomorfológicos, geofísicos que van desde la caracterización mineralógica tanto de la mena, constituida básicamente de atacamita, como de la ganga; a establecer las condiciones de percolación de las soluciones a través del botadero como de las gravas subyacentes; la canalización de ellas a través de flujos de aguas subterráneas que circulan en tres sistemas principales, uno sur-sureste, otro norte-sur, ambos controlados por la Falla Oeste y un tercero también hacia el sur-sureste. El piso del agua subterránea en el caso del sistema norte-sur corresponde al contacto de las gravas mineralizadas de Mina Sur con la grava no consolidada sobreyacente y en los otros dos casos al contacto entre la roca fundamental y la grava que la sobreyace.

De acuerdo a los estudios geológicos, las soluciones se captan hacia el sur a través de un túnel, bajo el nivel de agua, unido a la superficie por perforaciones y complementado por labores verticales que corten dicho nivel.

ABSTRACT

To the south of Chuquicamata, there is a large dump with the materials produced by the removed of the discarded materials of the oxide Chuquicamata ores already treated by leaching. Considering its large

magnitude, its important copper content (0,3%) and the advances in the hidrometallurgical process, this dump is a very attractive site for the recovery of large volumes of copper with low costs.

The process consists of irrigating the dumps with acid solutions to get under them the pregnant solutions, rich in copper, which are treated in solvent extraction and electrowinning plants. To determine the best way to recover those solutions it was necessary to apply different geological, geomorphological and geophysical knowledges, beginning with the mineralogical characterization of the ore, mainly atacamite, and the gangue minerals. It was also necessary to determine the percolating capability of the dump and the underlying sediments, the direction of the underground water fluxes divided in three main systems: the first, with a south-southeast direction; the second, north-south- both controlled by the West Fissure; and the third, in the east side of the dump where the direction of the fluxes is to the south-southeast. The underground water floor in the north-south system is in the contact between the exotic mineralized sediments and the overlying unconsolidated non mineralized sediments. In the other two systems, the underground water floor is in the contact between the fundamental rocks and the overlying unconsolidated sediments.

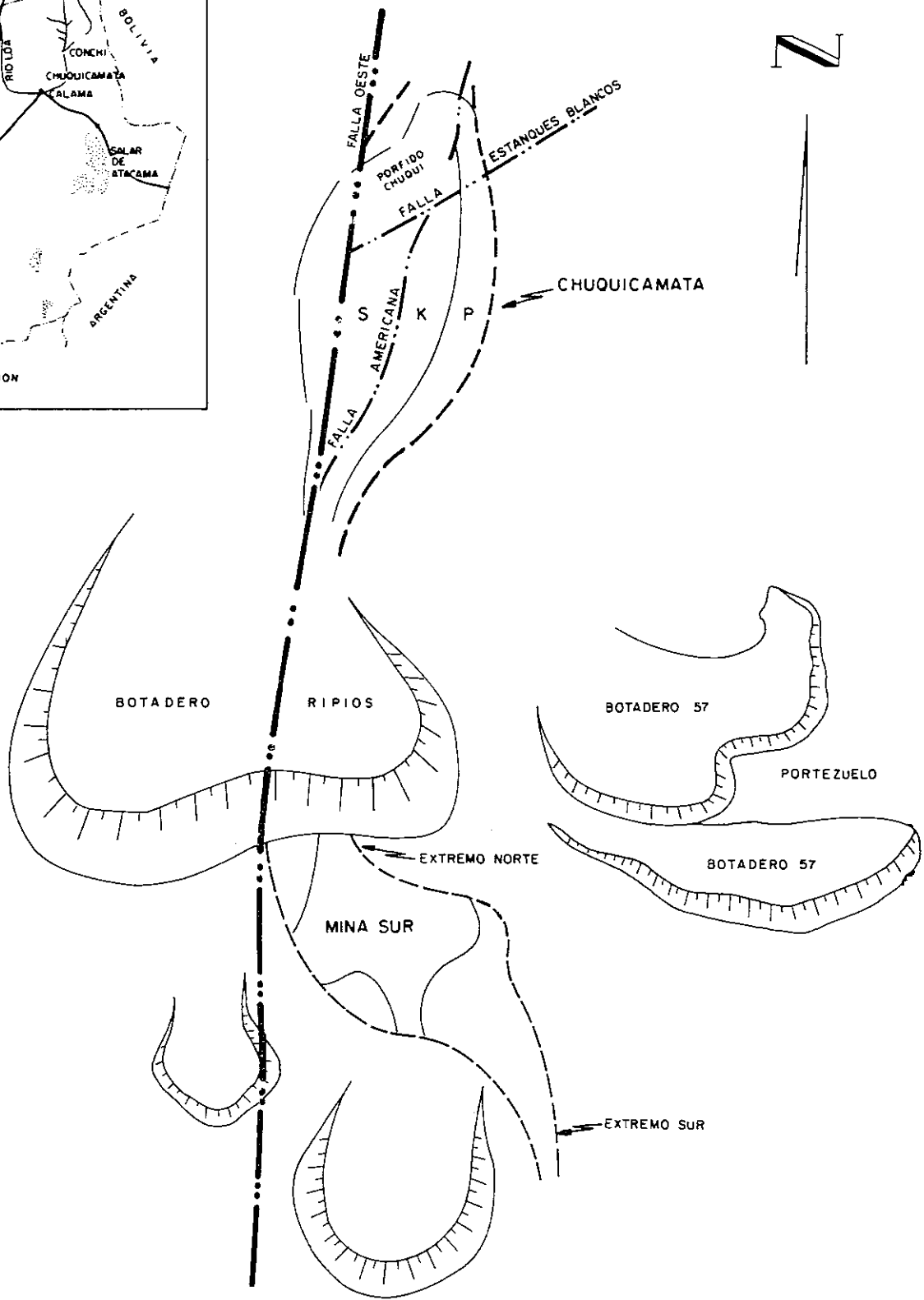
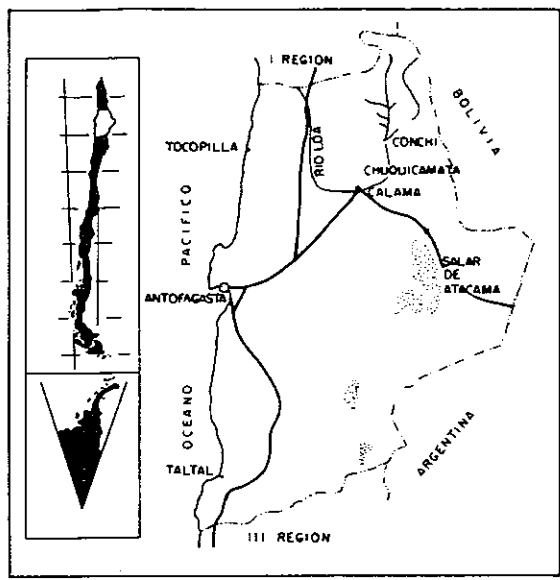
According to the geological considerations, the pregnant solutions will be collected into a tunnel excavated to the south of the dumps, under the underground water level, complemented with the perforation of wells through the underground water level.

1.- INTRODUCCION

Al sur de la mina de Chuquicamata (Fig. 1), inmediatamente al norte de Mina Sur ubicadas a 240 km al noreste de Antofagasta, existe un extenso botadero de ripios de descarte de la planta de lixiviación de mineral oxidado de Chuquicamata, que contiene mineral con una ley media del orden de 0,3% de Cu (Fig. 1).

El avance de las tecnologías de lixiviación en pilas de minerales de bajos contenidos de cobre como su tratamiento metalúrgico a través de procesos de extracción por solventes y electroobtención han hecho posible desarrollar un programa de recuperación comercial del cobre contenido en dichos ripios.

Con el objeto de recuperar las soluciones ácidas inyectadas que captan altos contenidos de cobre de estos ripios, se han realizado numerosos estudios en que la aplicación de la geología combinada



UBICACION BOTADERO DE RIPIOS

Fig. 1

con ciencias y tecnologías afines tales como geomorfología, hidrogeología, sísmica de reflexión, con el apoyo de sondajes, ha sido fundamental.

2.- MARCO GEOLOGICO

Los botaderos de ripio, que alcanzan una extensión de $3,5 \text{ km}^2$, se emplazan sobre el extremo norte del yacimiento exótico de Mina Sur, de acuerdo al comportamiento de sus sistemas de drenajes tanto el subsuelo como la roca fundamental que los controlan se pueden dividir en dos grandes sectores, separados por la Falla Oeste, una falla de carácter regional de dirección NS, que afecta incluso a sedimentos modernos y que sirve de borde a un canal principal de los flujos de agua subterránea y a la vez de dique de contención de aquellas aguas que fluyen al oeste y al este de ella (Fig. 2)

2.1. Roca Fundamental

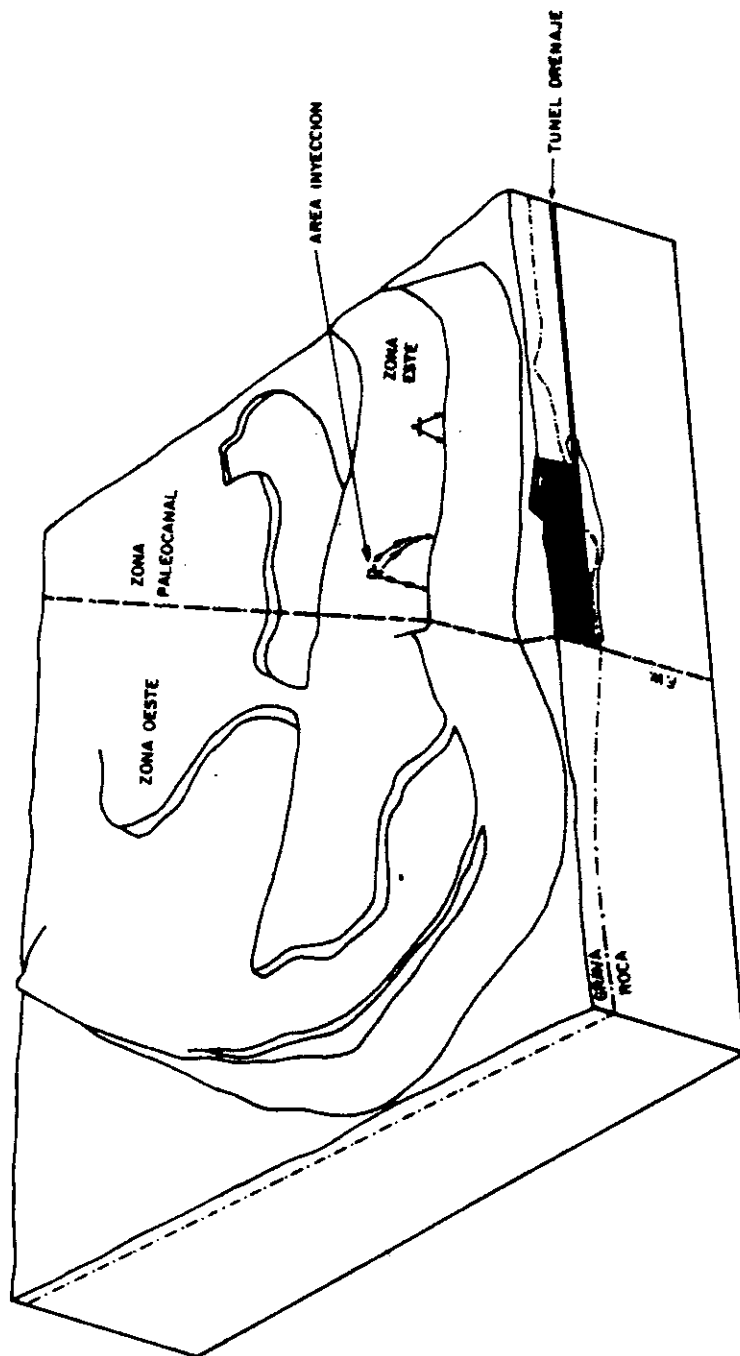
2.1.1. Sector Este

En este sector se han diferenciado tres tipos litológicos principales: gneiss granodiorítico, gneiss diorítico -anfíbolitas de grano fino y anfíbolita de grano grueso, todos ellos de carácter intrusivo metamórfico, de probable edad paleozoica.

El gneiss granodiorítico corresponde a una roca de grano grueso, frecuentemente de textura gneissica y contiene inclusiones de anfíbolita de grano fino, se observan en ella variaciones en las relaciones plagioclasa/ortoclasa y anfíbola/biotita apareciendo en partes grandes cristales rosados de ortoclasa.

Los afloramientos de anfíbolita de grano grueso a medio se restringuen a la parte central este y suroeste del yacimiento de Mina Sur, siendo su textura fanerítica,

BLOQUE DIAGRAMA LIXIVIACION BOTADERO DE RIPIOS CHUQUICAMATA



constituida de anfíbolas y plagioclasas. En general, en el yacimiento de Mina Sur, esta roca es la más mineralizada, especialmente con una impregnación de oxidados de cobre en las plagioclasas.

La anfibolita y el gneiss diorítico de grano fino, de amplia distribución en el yacimiento de Mina Sur, presentan gran similitud, diferenciándose esencialmente por la orientación de sus minerales máficos y por la impregnación de mineral oxidado de cobre en las anfibolitas.

También se observan algunos cuerpos de granito leucocrático que intruyen este basamento y algunos filones andesíticos que representarían el último acontecimiento ígneo de este complejo.

2.1.2. Sector Oeste

Al oeste de la Falla Oeste, el basamento del sector está formado exclusivamente por rocas intrusivas terciarias conocidas en Chuquicamata como granodiorita Fortuna y que corresponden a una monzonita a monzogranito de grano grueso a medio, con textura hipidiomorfa granular, en partes porfídica presentando una notoria textura cataclástica en las cercanías de la Falla Oeste. Esta roca, en general, ha permanecido inalterada y no presenta grandes fracturamientos.

2.2. Sedimentos no Consolidados

El basamento rocoso del sector, está cubierto por sedimentos aluvionales y aluviales no consolidados "gravas", con algunas intercalaciones de cenizas volcánicas en la parte superior y una costra salina de no más de dos metros de espesor. Se han diferenciado en este sector dos tipos de "gravas", separadas

por un alto topográfico de la roca fundamental, desarrollado hacia el este de la Falla Oeste. El tipo más oriental, corresponde a la conocida como Grava Exótica, que alcanza un espesor medio de 80 m en este sector y está constituida por capas de arena gruesa interestratificadas con sedimentos que contienen clastos irregulares, angulosos provenientes de las rocas intrusivas y metamórficas del sector este del basamento.

Al oeste del alto topográfico se desarrolla la Grava Fortuna, formada por bolones más gruesos y más redondeados que la anterior, los que alcanzan hasta tres metros de diámetro y fundamentalmente corresponden a clastos de la granodiorita Fortuna depositados en forma caótica.

En el sector oriental, inmediatamente al este de la Falla Oeste, se ha desarrollado en la grava Fortuna, un manto de 50 m de espesor, que más al sur, en Mina Sur, alcanza hasta 110 m, mineralizado con mineral oxidado de cobre, principalmente atacamita y crisocola que también afectan la parte superior de la roca fundamental y que por su abundancia de arcillas y la presencia de yeso forman un piso impermeable.

3.- PROYECTO DE LIXIVIACION DE LOS RIPIOS

Para determinar la factibilidad de lixiviar los rípios de descarte de la planta de lixiviación de mineral oxidado de Chuquicamata, se hicieron en ellos varios sondeos en que se estableció que su ley media era de 0,3% de Cu en fragmentos de roca cuyo tamaño es de 3/4 de pulgada y cuya mineralogía principalmente corresponde a atacamita y antlerita en vetillas y diseminada en pórfidos monzograníticos a granodioríticos.

Posteriormente se hicieron estudios y pruebas destinadas a responder, entre otras, a las siguientes interrogantes.

- A) Comportamiento de los rípios y formaciones subyacentes a los flujos de soluciones.
- B) Canalización de soluciones y velocidad de los flujos y
- C) Captación de soluciones.

En base a los estudios hidrogeológicos complementados por geofísica y sondajes se logró reconstituir la paleotopografía del sector y separar la zona subyacente a los rípios en tres áreas con drenajes distintos (Figs. 3 y 4), una occidental, al oeste de la Falla Oeste, en que las soluciones escurren de norte a sur, confluyendo hacia la Falla Oeste que impide su paso hacia el este, otra, inmediatamente al este de la Falla Oeste, en que el flujo de soluciones, que contienen cobre transportado desde Chuquicamata y con el que formaron el yacimiento exógeno de Mina Sur y que se ha denominado Paleocanal, donde el agua subterránea escurre hacia el sur, confluyendo también hacia la Falla Oeste y por último, una zona más pequeña, oriental, al este del alto paleotopográfico mencionado anteriormente, en que los flujos tienen dirección sureste.

Para resolver las interrogantes anteriormente planteadas, se han hecho experiencias de inyección de soluciones en el sector denominado Paleocanal, obteniéndose los siguientes resultados (Fig. 2).

- A) Para conocer el comportamiento a los flujos de soluciones de los rípios y formaciones subyacentes, se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones. La pila de rípios está emplazada sobre un espesor de rocas sedimentarias (gravas) que a su vez se sitúan sobre una roca fundamental (Fig. 5), y el botadero de rípios se ha formado en diferentes períodos de tiempo, utilizándose para esto distintos medios de transporte (ferrocarril, camiones) lo que creó capas horizontales más compactas intercaladas en capas menos compactas que podrían tender a canalizar las soluciones en niveles intermedios, sin recorrer todo el espesor de rípios.

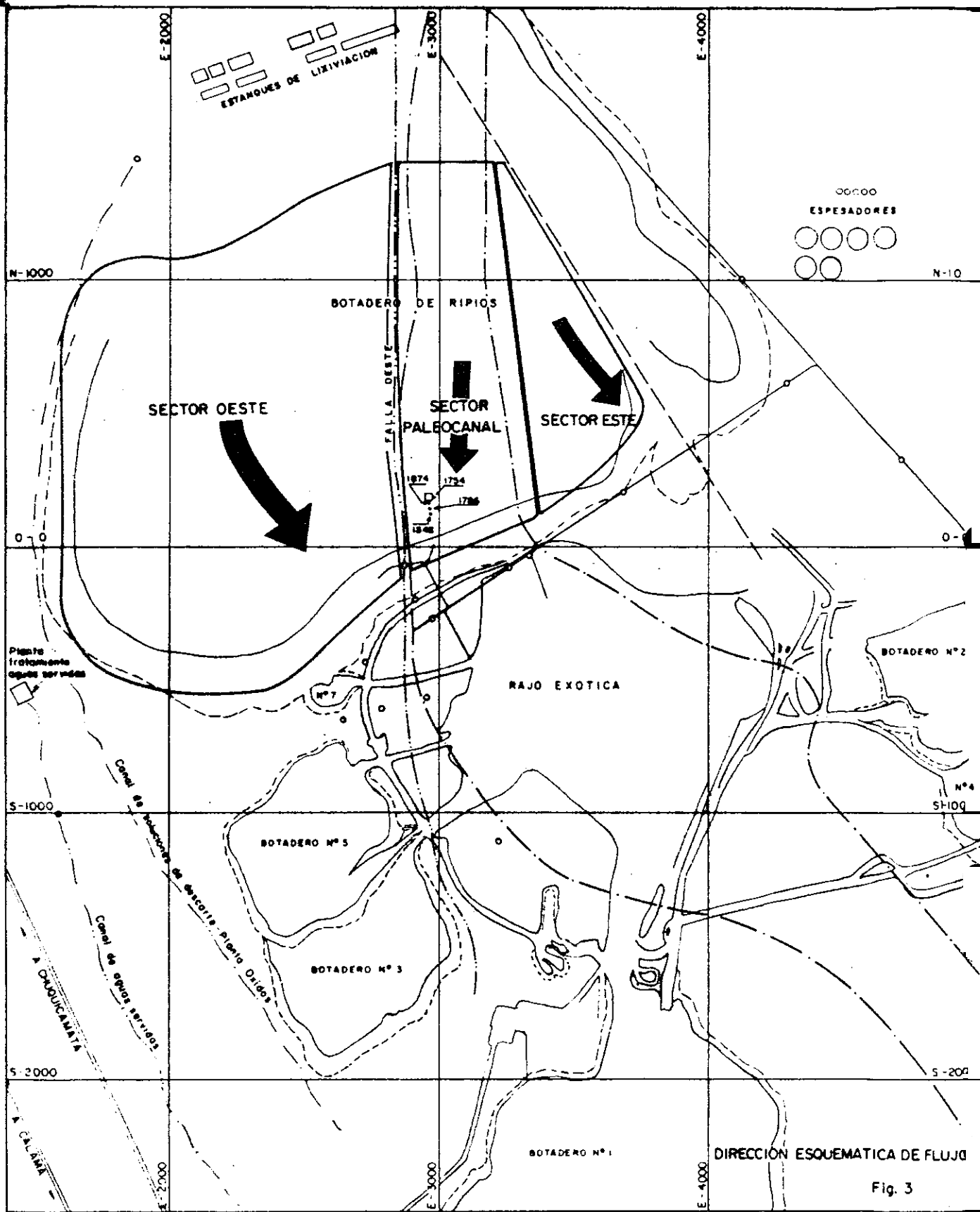


Fig. 3

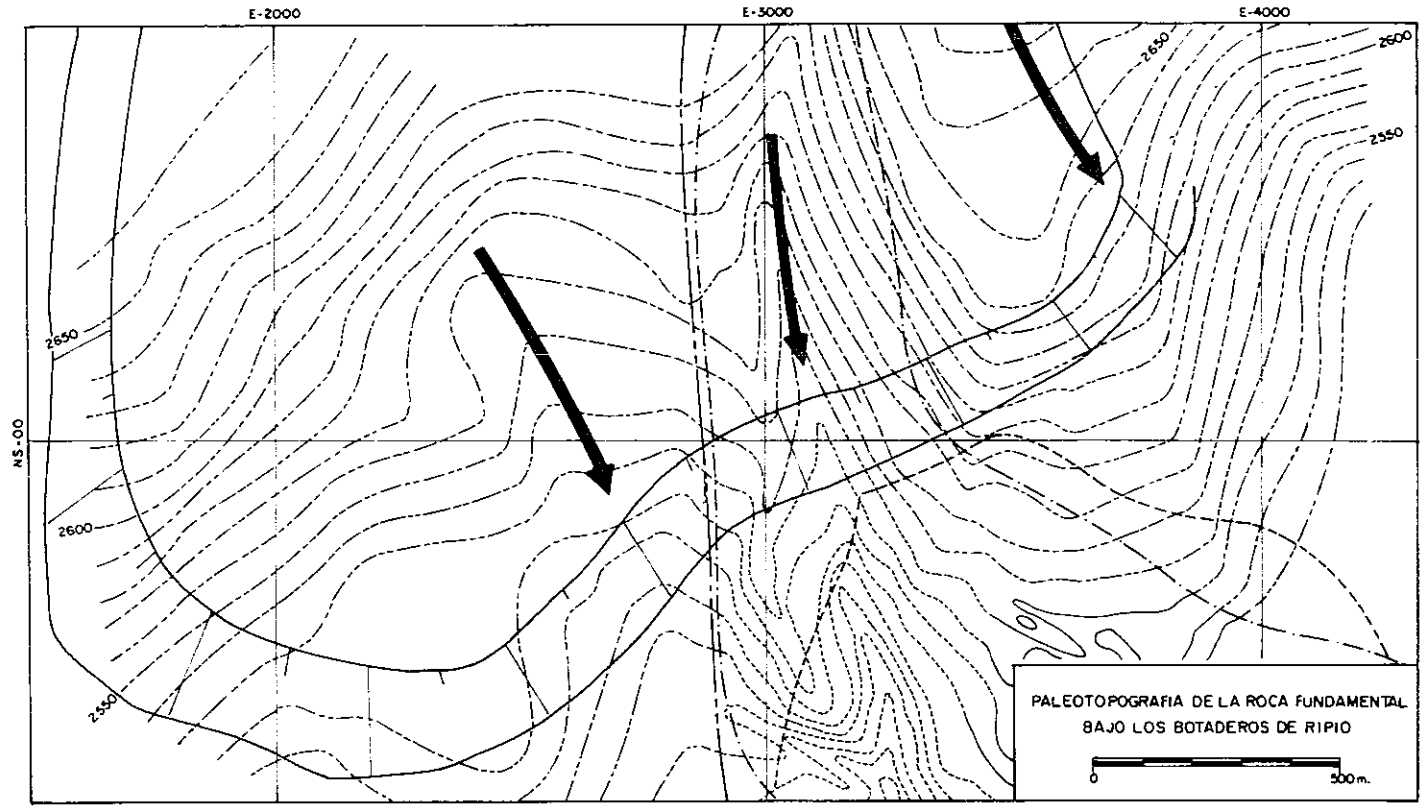


Fig. 4

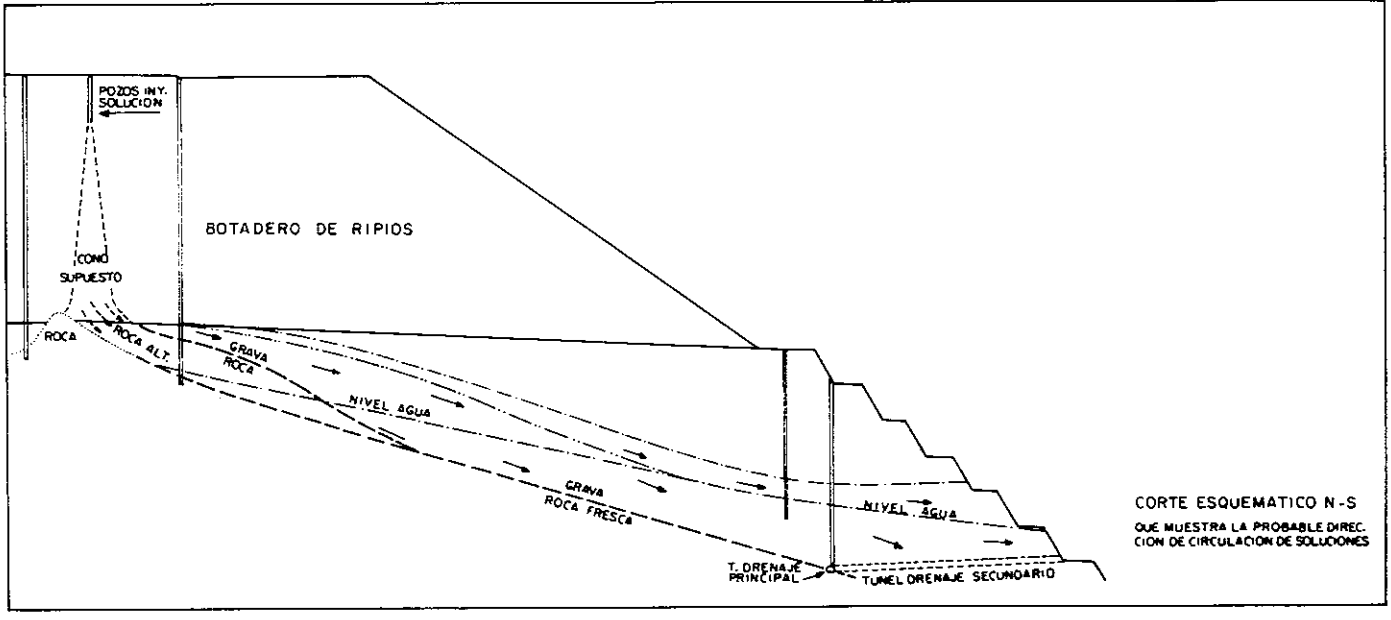


Fig. 5

Para obtener la información necesaria al respecto, se hicieron levantamientos geofísicos de pozos (rayos gamma, densidad, gamma neutrón) en sondajes preparados para controlar los flujos de soluciones inyectadas. Con este procedimiento se pudo determinar que la columna de ripios es homogénea y no se han formado capas muy compactadas que sean impermeables. Se comprobó, además, un comportamiento similar en la columna de gravas subyacentes.

El método de rayos gamma se utilizó para determinar la eventual existencia de zonas o capas con mayor mineralización, ubicando con claridad el contacto entre el manto mineralizado exótico cuyo techo es impermeable, y las zonas de grava superior e inferior de roca fundamental no mineralizadas, pero en los ripios se determinó una homogeneidad de mineralización, comprobada por el estudio de testigos de sondajes.

Los perfiles de densidad, obtenidos al generar rayos gamma en los pozos estaban destinados a conocer la existencia en la columna de ripios de zonas más compactadas y por consecuencia menos permeables, comprobándose que la densidad y por consiguiente la permeabilidad de los ripios son prácticamente homogéneos.

A través del sistema gamma neutrón, se obtuvo información de la humedad en las formaciones y por lo tanto sus porosidades y permeabilidades aparentes, obteniéndose, además, información acerca de los niveles de agua subterránea.

- B) Para determinar las características de canalización de las soluciones, fue necesario ubicar una roca impermeable, que correspondería al piso de los cursos naturales o artificiales de agua o soluciones (Fig. 5), en el caso en análisis, la zona impermeable se encuentra ya sea en el contacto de una grava mineralizada arcillizada con una grava su-

perior estéril o como es el caso del sector oeste en el contacto de la granodiorita Fortuna con la grava Fortuna y en el extremo este el contacto de las rocas fundamentales metamórficas con la grava exótica. Debido a que estos contactos se encuentran sepultados, la forma de los paleo-relieves se consiguió a través de estudios geomorfológicos de las áreas circundantes y la determinación de ellos a través de sondajes complementados con perfiles de sísmica de reflexión.

Con estos antecedentes, se ha confeccionado un plano de paleorelieve que, como se dijo, de acuerdo a la dirección que tienen los flujos de soluciones permitió dividir el botadero de rípios en tres zonas: Una occidental, al oeste de la Falla Oeste, que contiene el 60% de los rípios, una de paleocanal, inmediatamente al este de la Falla Oeste, sobre el manto mineralizado de Mina Sur, que contiene el 30% de los rípios y un sector oriental, al este del alto paleotopográfico, que contiene un 10% de los rípios.

Con el objeto de obtener información respecto a la dirección y velocidad de los flujos, se hicieron pruebas en el sector del paleocanal, perforándose un pozo de inyección de 20 m de profundidad y al sureste y suroeste de dicho pozo, dos sondajes que alcanzaron la roca fundamental. Una vez inyectadas las soluciones, se observó, después de un tiempo, un aumento en los flujos, variaciones en el pH y en los contenidos de cobre de dichos pozos. Además se aplicaron trazadores radiactivos, en este caso el Cr-EDTA con una vida media de 27,8 días y descomposición mucho más baja que cualquier otro complejo catiónico, obteniéndose así una velocidad de escurrimiento en el ambiente analizado de 3,7 metros por día, comprobándose, además, la posición de las superficies de escurrimiento antes mencionadas.

C) Con el objeto de captar el máximo de las soluciones a inyectar en el sector del Paleocanal, se aprovechó la existencia de un túnel de drenaje, perpendicular a la línea de flujos, situado a 80 m al sur del borde de los ripios y desde la superficie se perforaron 96 pozos de 12" de diámetro, que rompieron el túnel aproximadamente a 100 m. de profundidad, separados en 5 m cada uno con el objeto de captar, con un cono de depresión de 32° el máximo de soluciones que contendrían cobre y que vendrían canalizadas sobre esa labor. De hecho, se comprobó que el agua subterránea colectada en este túnel, que probablemente corresponde a aguas fósiles con una escasa recarga natural, ocasionada por las esporádicas lluvias, especialmente del invierno boliviano de la zona, y una recarga artificial producida por el riego de los caminos de la mina Chuquicamata y descargas de pérdidas del campamento de dicho mineral, aumentó de aproximadamente 864 m³/día a 1 642 m³/día, además, las soluciones que fueron inyectadas en el área de prueba hecha en la superficie de los ripios fueron detectadas en el túnel después de 163 días por un cambio sustancial en los valores de pH y contenidos de cobre.

4.- CONCLUSION

Con estudios geológicos, geomorfológicos, hidrogeológicos, geofísicos y mineralógicos complementados por sondajes, se ha logrado comprobar la factibilidad de recuperar soluciones que transporten el cobre contenido en los botaderos de ripios de descarte de la lixiviación de mineral oxidado de Chuquicamata en forma comercial, construyendo bajo la napa de aguas detectadas y aguas abajo, un túnel de captación, complementado por perforaciones separadas en 5 metros cada una, que depriman esta napa y conduzcan las soluciones ricas en cobre al túnel de captación, donde se enviarán a plantas de extracción por solventes y de electroobtención para obtener un cobre de alta calidad.

Por los volúmenes a tratar y los costos de esta operación, este proyecto constituye uno de los más importantes en ejecución.

BIBLIOGRAFIA

- ALVAREZ, O., 1980-1983. Proyecto de Lixiviación de Botaderos de Ripios. Informes inéditos, Codelco Chile, División Chuquicamata.
- ALVAREZ, O., MIRANDA, J. y GUZMAN, P., 1980. Geología del Complejo Chuquicamata. Anales del Congreso Cincuentenario, Instituto de Ingenieros de Minas de Chile, pp. 314-363.
- ALVAREZ, O., 1983. Consideraciones Geológicas en los procesos de Lixiviación. 34a. Convención Instituto de Ingenieros de Minas de Chile, PP. 1-19.
- ARACENA, I., 1981. Geología y Alteración del Complejo Plutónico del Sector Norte del Yacimiento de Chuquicamata. Memoria para optar al título de Geóloga, Universidad de Chile, 83 páginas.
- EGAÑA, P., 1984. Secciones Geológicas e Interpretación del Paleorelieve bajo los botaderos de ripio. Superintendencia de Geología, Codelco Chile, División Chuquicamata.
- HENRIQUEZ, H. y FALCON, E., 1985. Hidrogeología Básica del Sector Botaderos de Ripios, Mina Chuquicamata, pp. 1-9.