

GENESIS DEL YACIMIENTO DE Cu Y Ag BERENGUELA, LAMPA-PUNO

Hugo Candiotti / Fernando Castilla *

RESUMEN

La evaluación de los diferentes datos de campo y laboratorio, indican que el yacimiento de Berenguela se formó en un ambiente de oxidación (meteorización). Donde los valores de Cu y Ag fueron concentrados mayormente en calizas manganíferas, por la capacidad de adsorción de los óxidos e hidróxidos de manganeso, a partir de soluciones infiltradas y lixivadas principalmente de conglomerados mineralizados suprayacentes. Algunas de las evidencias que sustentan esta interpretación genética son las siguientes :

- La ocurrencia de conglomerados fluvioglaciares, con constituyentes alterados y mineralizados, que cubren aproximadamente la mitad del yacimiento y cuya fuente de origen parece ser el yacimiento de Ag, Cu y Fe Limón Verde localizado al oeste de Berenguela.
- El afloramiento de calizas manganíferas, en el área de Berenguela y alrededores formando parte de la secuencia sedimentaria de la base del Grupo Moho.
- La textura mayormente laterítica de la mena y la ocurrencia de óxidos de Mn y Cu.
- La ausencia casi por completo de controles estructurales de mineralización en el yacimiento.
- La forma de los cuerpos de mena, que se extienden lateralmente, cruzando la estratificación de las rocas encajonantes, a manera de mantos irregulares discontinuos y sub-paralelos a la superficie topográfica.

Estas evidencias y otras, permiten clasificar al yacimiento de Berenguela dentro del grupo de yacimientos de meteorización, tipo infiltración de contacto.

INTRODUCCION

El presente trabajo, que trata sobre el origen del yacimiento de Berenguela, fue elaborado en base a la interpretación y evaluación de diferentes estudios geológicos y mineralógicos realizados por Minero Perú y otras compañías e instituciones mineras.

1. ANTECEDENTES

Entre las compañías e instituciones que realizaron dichos estudios, son dignas de mención las siguientes:

- La Compañía Inglesa Lampa Mining Co., que explotó el yacimiento entre los años 1903 y 1955 y efectuó pruebas metalúrgicas de segregación en el yacimiento casi al final de sus actividades. Las referencias indican que durante este período la producción de la mina fue de 391,500 kgs. de Ag y 7,023 toneladas de Cu.

Posteriormente, al paralizarse las actividades de esta compañía, debido al agotamiento del mineral de alta ley para fundición directa, las compañías mineras American Smelting and Refining (1965-1966), Cerro de Pasco (1966-1968) y Charter Minera S.A. (1968-1970) realizaron trabajos de exploración y pruebas metalúrgicas para solucionar el tratamiento del mineral remanente refractario a la mayoría de los procesos metalúrgicos convencionales.

* Minero Perú S.A.

Al asignarse las propiedades mineras a Minero Perú en el año 1972, algunas compañías e instituciones interesadas en desarrollar el yacimiento, realizaron estudios mineralógicos y pruebas metalúrgicas adicionales, entre las cuales podemos nombrar a la Bureau de Recherches Géologiques et Minières de Francia (1973), Sud American des Minerais et Metaux S.A. de Bélgica (1976) y el Instituto Ginstsventment de la U.R.S.S. (1978).

En el año 1981, Minero Perú realizó levantamientos geológicos en el área del yacimiento y alrededores, con la finalidad de definir el tipo de yacimiento económico al cual pertenece Berenguela y decidir en base de esta interpretación, la conveniencia o no de realizar trabajos complementarios de exploración en el yacimiento.

2. UBICACION Y ACCESIBILIDAD

El yacimiento de cobre y plata Berenguela, está ubicado a una altura promedio de 4,200 m.s.n.m. en el distrito de Santa Lucía, provincia de Lampa, departamento de Puno.

Es de fácil accesibilidad, está unida por carretera de 6 kms. a la estación del ferrocarril de Santa Lucía y a la carretera Juliaca-Arequipa Puerto Matarani (Fig. 1).

3. GEOLOGIA GENERAL

Localización Regional

El yacimiento de Berenguela, está localizado en el sector sur-occidental de los Andes Peruanos; formando parte, de una provincia Metalogenética Polimetálica mayor de Sudamérica que se extiende de sur a norte en forma más o menos paralela al borde oriental de la Placa Destructiva Nazca. Más específicamente, ocurre dentro de un valle glaciar colgado, situado en el borde occidental de la Cuenca del Titicaca que limita con el flanco este de la Cordillera Occidental. Encontrándose también en esta Cordillera, al nor-oeste de Berenguela, los yacimientos hidrotermales volcanogénicos ("Epitermales") del Terciario: Orcopampa, Arcata, Cailloma y Sucuitambo, que constituyen uno de los distritos mineros de plata más importantes del país.

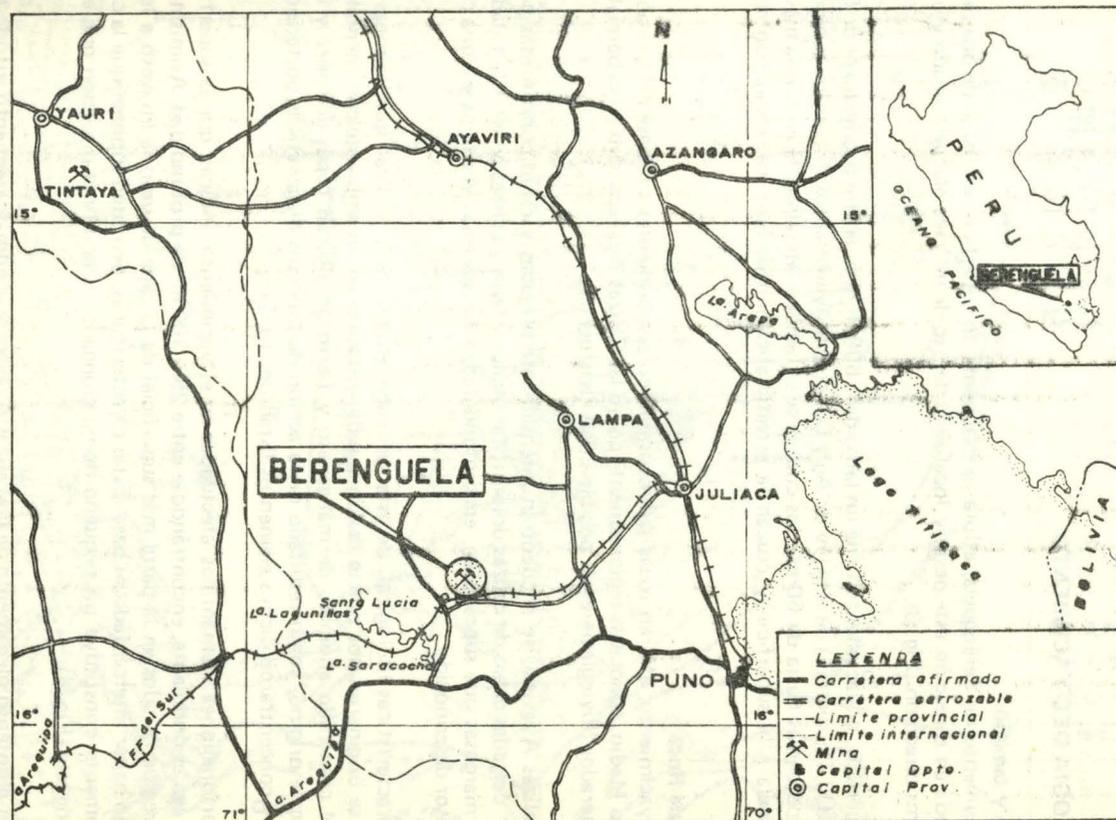
Geología de los Alrededores de Berenguela

La estratigrafía fundamental de la Cuenca del Titicaca, ha sido descrita por Nawel (1946) y Fisher (1976); la cual ha servido de base, para la identificación y correlación de las diferentes unidades litológicas que afloran en Berenguela y alrededores (Fig. 2). En esta zona, afloran unidades sedimentarias del Grupo Moho y el Grupo Puno, del Cretáceo Medio y Terciario Inferior respectivamente, cubiertos parcialmente por los volcánicos Tacaza e Instruidos localmente por cuerpos menores de diorita.

El Grupo Moho, se encuentra intensamente plegado y está constituido en la base, por una secuencia de estratos delgados de calizas grises, localmente manganíferas conocidas como las calizas Ayavaca, intercaladas con lutitas rojas algo margosas y en la parte superior, por lutitas rojas intercaladas con areniscas. Encontrándose el yacimiento de Berenguela localizado mayormente en las Calizas manganíferas que suprayacen a lutitas rojas yesíferas.

El Grupo Puno, suprayace con discordancia angular al grupo Moho y está constituido mayormente por areniscas de color rojo y por algunos conglomerados de cuarcita y andesita en la parte superior.

Los volcánicos Tacaza, de posible edad Oligoceno o Mioceno, están constituidos por andesitas basálticas y afloran extensamente al norte y oeste de Berenguela.



**YACIMIENTO BERENGUELA
PLANO DE UBICACION**

FIGURA 1

Los cuerpos menores de diorita, ocurren mayormente fuera del límite sur del área estudiada, donde también se encuentran algunos yacimientos polimetálicos. Uno de estos intrusivos aflora a 3.5 kms. al suroeste de Berenguela (Fig. 2) cerca al campamento de la mina Limón Verde; el cual se encuentra fuertemente alterado, cruzado por vetas de plata y cobre y cubierto parcialmente por un depósito de hierro de posible origen metasomático que contiene cantidades menores de óxidos de cobre.

4. GEOLOGIA DEL YACIMIENTO

Forma y tamaño

El yacimiento de Berenguela, aflora parcialmente en superficie a lo largo de una pequeña colina alargada en dirección este-oeste y localizada dentro de un valle glaciar colgado y orientado en la misma dirección (Fig. 3).

En superficie, el yacimiento tiene un largo de 1,600 m. y su ancho promedio es de 500 m. En profundidad, los sectores de alta ley de Ag y Cu, constituyen mantos discontinuos algo lenticulares con potencias hasta de 60 m.; los cuales, se extienden lateralmente en forma más o menos sub-paralela a la superficie y cruzan la estratificación de las rocas encajonantes (Figs. 4 y 5).

Tipos de Roca

En el yacimiento, afloran rocas sedimentarias correspondientes a la base del Grupo Moho del Cretácico Medio, conocidas regionalmente como las Calizas Ayavaca, cubiertas parcialmente por conglomerados fluvio-glaciares de posible Edad Pleistocénica.

Las Calizas Ayavaca, se encuentran intensamente plegadas y están constituídas por una secuencia de delgadas capas de calizas dolomíticas manganíferas y calizas grises intercaladas con lutitas rojas margosas que suprayacen, en profundidad, a lutitas rojas yesíferas y a una capa de yeso de espesor desconocido.

Las características litológicas, de esta secuencia sedimentaria, indican que las rocas que la conforman, se originaron por precipitación y sedimentación en un ambiente continental a litoral, y que el contenido anómalo de manganeso y fierro de algunas capas de caliza y lutitas, posiblemente se originó, como resultado de la acción de procesos diagenéticos posteriores que movilizaron y concentraron dichos elementos (Stanton, 1972).

Las perforaciones diamantinas efectuadas en el yacimiento, indican que la superficie de la capa de yeso es ondulante, encontrándose entre 25 y 100 m. de profundidad. Asimismo, uno de los taladros perforados en la parte más superficial de la capa de yeso la atravesó a lo largo de 172 m. sin haber interceptado su base. Estas características, permiten suponer que la capa de yeso posiblemente constituye un pequeño domo elongado en la misma dirección que el yacimiento Berenguela (Fig. 4).

Debido al intenso plegamiento de las calizas Ayavaca y al enmascaramiento sufrido por los estratos de calizas manganíferas debido a la acción de procesos meteóricos, es muy difícil realizar las correlaciones estratigráficas en el yacimiento.

Los conglomerados fluvio-glaciares, que posiblemente representan un remanente erosionado de un depósito conglomerádico mayor que calmató en el Pleistoceno el valle glaciar dentro del cual se encuentra Berenguela, ocurren cubriendo mayormente el sector medio del yacimiento.

to (Fig. 3). Estos conglomerados están constituidos por gijas y cantos rodados de andesitas basálticas, rocas intrusivas alteradas, magnetita-hematita (algunas veces impregnados con óxidos de cobre) y cuarcita. Observándose, además cerca del pique Burton, óxidos de cobre impregnando suelos y recubriendo cantos rodados.

Los rasgos geomorfológicos del área, la orientación del valle glacial de Berenguela y la composición litológica de los conglomerados fluvio-glaciares, indican como posible fuente de origen de los mismos, las alturas del yacimiento de Limón Verde, al oeste de Berenguela, donde ocurren el intrusivo menor de diorita alterada, el depósito de fierro y los volcánicos Tacaza (Fig. 2).

5. ESTRUCTURAS

En el área del yacimiento es particularmente difícil delinear en forma precisa los rasgos estructurales presentes, debido a la deformación y a las características de las rocas arriba señaladas y a la presencia de suelos y conglomerados que cubren parcialmente el yacimiento.

Sin embargo, en base a los trabajos de campo y el procesamiento de la información geológica existente se han podido determinar las siguientes características estructurales:

PLEGAMIENTO.—

Remanentes erosionados de anticlinales y sinclinales ocurren con sus ejes orientados mayormente en la misma dirección que la elongación del yacimiento. Los anticlinales, se encuentran ligeramente tumbados y muestran mayor grado de erosión a lo largo de sus ejes que los sinclinales; originándose, como resultado de esta erosión diferencial, algunas pequeñas quebradas alargadas.

FALLAS Y FRACTURAS

El yacimiento se encuentra cruzado mayormente por numerosas fallas y fracturas que poseen un rumbo general noroeste-sureste y en menor cantidad por fallas y fracturas menores que siguen rumbos noroeste-suroeste y norte-sur.

Las fallas son en su mayoría normales, de gran ángulo y con desplazamientos de unos pocos metros. Ocurriendo también, una falla inversa de rumbo paralelo al eje general de plegamiento, que expone lutitas rojas suprayacentes en el extremo oeste del yacimiento.

6. MINERALIZACION Y DISTRIBUCION METALICA

El yacimiento de Berenguela, está constituido mayormente por óxidos e hidróxidos de manganeso de color negro, calizas dolomíticas y lutitas amarillas manganíferas que contienen valores variables de cobre y plata y otras impurezas como fierro, sílice, bario y otros elementos menores.

En general la mena es amorfa y su textura varía de laterítica-porosa a masiva-densa con lustre submetálico.

Los minerales primarios de cobre y plata están ausentes, observándose esporádicamente cantidades trazas de óxidos y sulfuros secundarios de cobre como malaquita, azurita y calcosita localizadas en pequeñas fracturas. Existiendo referencias sobre la ocurrencia de pequeñas cantidades de plata nativa en algunas galerías subterráneas.

Debido a las características especiales de la Mena, diferentes instituciones y laboratorios, que se nombran en la referencia, realizaron estudios mineralógicos para determinar su composición cualitativa y cuantitativa usando diferentes métodos de análisis mineralógico. Siendo el resumen y resultado de dichos estudios el siguiente :

6.1 Composición mineralógica de la Mena

a) Minerales metálicos

- Oxidos e Hidróxidos del Manganeseo:
Los estudios microscópicos y de rayos X indican que los óxidos e hidróxidos de manganeseo se presentan en forma amorfa y microcristalina y están constituidos mayormente por psilomelano (Wad) y pirolusita, acompañados por cantidades menores de todorkita (Ca Mn) Mn O₂ 2H₂O y chalcophanita (Mn, Zn, Fe) Mn O₅ 2H₂O. Representando todos estos minerales, aproximadamente del 25 al 30o/o por volumen de la composición de la mena.
- Hidróxidos Ferrosos:
Los hidróxidos ferrosos detectados son hidrogetita (H Fe O₂ nH₂O), y manganolimonita, los cuales constituyen aproximadamente del 5 al 10o/o de la mena.
- Oxidos y Sulfuros de Cobre – Plata Nativa:
Los minerales de cobre presentes son malaquita, azurita, brocantita, calcosita, covellita, piritita y calcopirita. Estos minerales, ocurren en cantidades trazas que representan menos del 1o/o de la composición de las muestras estudiadas.

La plata nativa, solamente ha sido reconocida en algunas pocas muestras con el uso de microsonda electrónica. Tanto la plata, la piritita y calcopirita ocurren como granos diseminados sub-microscópicos diseminados.

b) Minerales No Metálicos

- Carbonatos:
La calcita, es el principal carbonato presente en las muestras acompañado por menor cantidad de dolomita. Estos carbonatos, se encuentran estrechamente relacionados con minerales de manganeseo y ocurren frecuentemente mostrando texturas de reemplazamiento con psilomelano y pirolusita. El contenido de estos carbonatos en la mena ha sido estimado entre 35 a 45o/o.
- Silicatos:
Cantidades apreciables de cuarzo, mayormente calcedónico, ocurren como diminutos granos libres y asociados con minerales de manganeseo, constituyendo aproximadamente el 18o/o de la composición mineralógica de la Mena.

6.2 Modo de ocurrencia del cobre y la plata en la Mena

Debido a que la cantidad total de los minerales de cobre y plata identificados no justifican el alto contenido de plata y cobre de la mena determinado por ensayos químicos, se realizaron investigaciones mayormente con microsonda electrónica, con la finalidad de determinar el modo de ocurrencia de estos elementos en la mena (Hazen Research Inc. 1976 y otros).

El resultado de estas investigaciones, indican que tanto el cobre y la plata están distribuidos en forma sub-micrónica dentro de los diferentes minerales de manganeseo, como se muestran en algunas fotomicrografías de microsonda, adjuntadas en los informes correspondientes.

El modo de ocurrencia del cobre y la plata en el yacimiento, parece indicar que dichos elementos fueron incorporados en la mena mayormente por el gran poder de adsorción de los óxidos e hidróxidos de manganeseo presentes a partir de soluciones ricas percolantes (Anderson, 1973; Beus 1977; Dyck, 1971; Levinson, 1974).

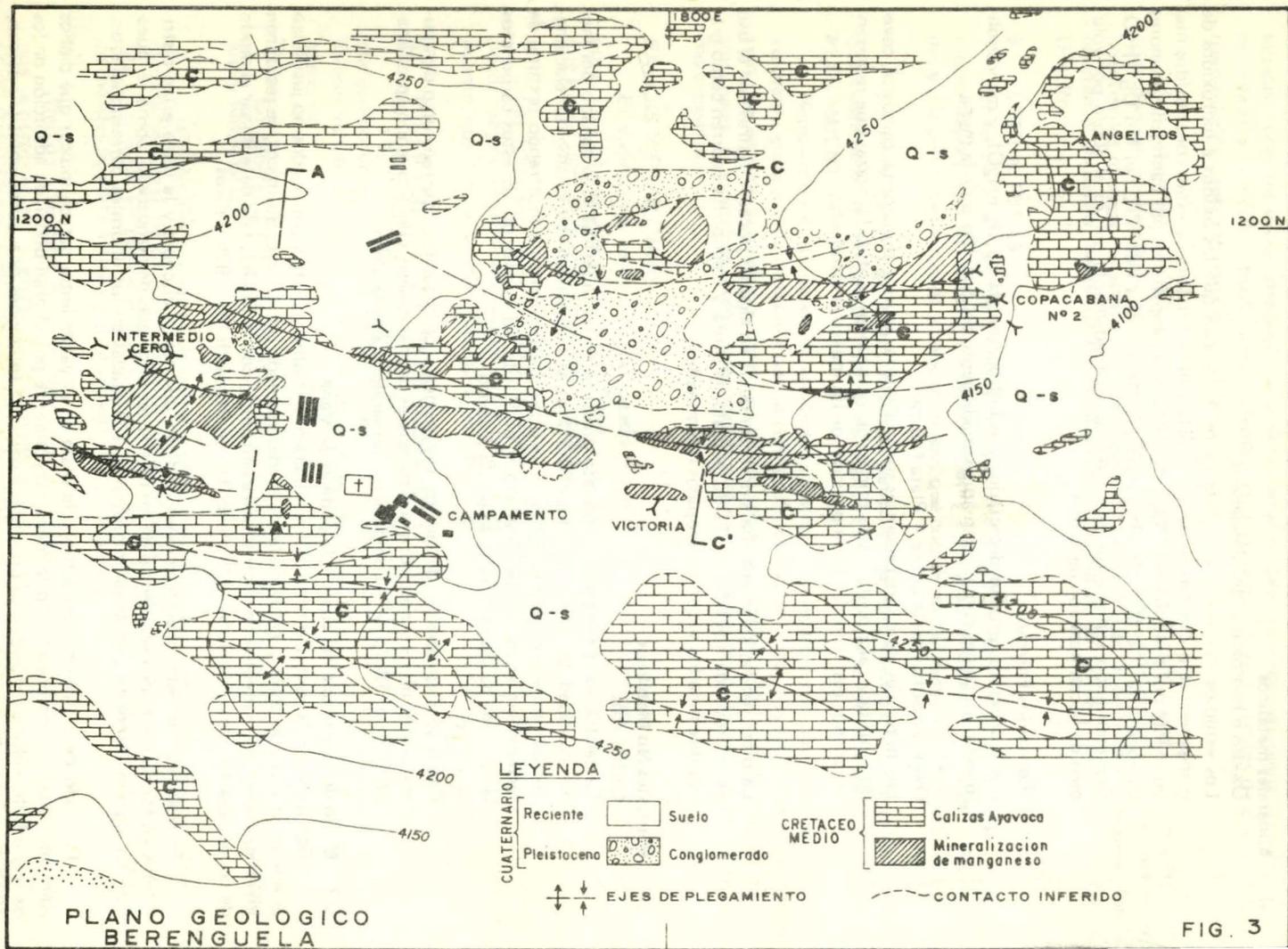


FIG. 3

7. MODELO GENETICO DEL YACIMIENTO

Existen controversias sobre el original del yacimiento, debido a sus características geológicas muy particulares. Por lo que, en el pasado, a excepción del J.F. Osten (1970) que señala en forma muy generalizada y parcial el mecanismo de su formación, no se hicieron mayores intentos de clasificarlo genéticamente.

Sin embargo, la evaluación de los diferentes datos de campo y laboratorio indican que Berenguela se formó, en un ambiente de oxidación (meteorización), debido a la adsorción de cationes de Cu y Ag mayormente por los óxidos e hidróxidos de manganeso de las calizas manganíferas, a partir de soluciones ricas percoladas y lixiviadas de los conglomerados mineralizados suprayacentes.

Consecuentemente, el yacimiento puede ser clasificado genéticamente como un yacimiento exógeno de tipo infiltración de contacto.

Para una mejor comprensión de la génesis del yacimiento, se señalan a continuación en forma sumariada, la secuencia de los procesos geológicos involucrados en su formación.

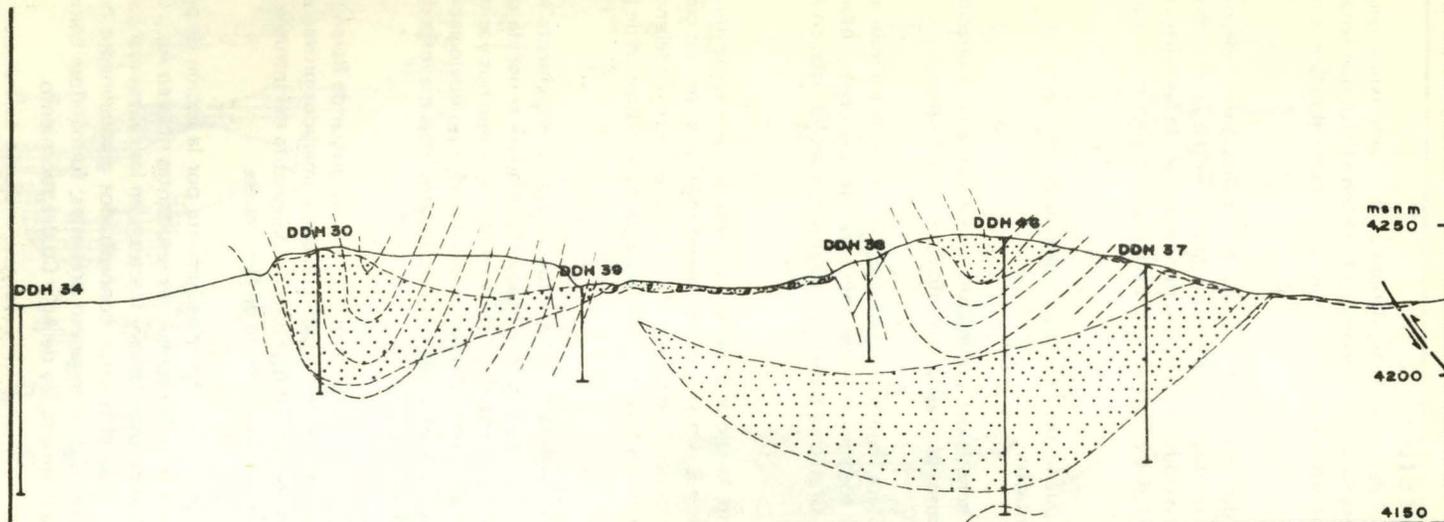
La secuencia sedimentaria manganífera, conocida como las Calizas Ayavaca, que aflora en el área del yacimiento, después de su formación en un ambiente litoral a continental, fue intensamente plegado posiblemente en el Cretácico Superior, durante el Ciclo Orogénico Andino.

Posteriormente, durante el Terciario Medio a Superior, las secuencias sedimentarias y Cretácica y las formaciones Clásticas y volcánicas más jóvenes fueron intruídos por un cuerpo menor de diorita (actualmente alterado y mineralizado) que aflora hacia el oeste de Berenguela y por otros intrusivos de carácter sub-volcánicos relacionados con algunos yacimientos de plata de la Cordillera Occidental.

A continuación, la región sufrió una intensa y prolongada erosión posiblemente hasta comienzos del Plioceno; originándose como resultado una topografía madura conocida como Superficie Puna. La cual, habría favorecido el enriquecimiento secundario de muchos yacimientos de la zona (Bellido, 1969). Una subsecuente activación de la erosión, de tipo fluvio-glaciares, removió en Pleistoceno la zona de oxidación y enriquecimiento secundario de la mayoría de los yacimientos ubicados al borde de la Cuenca del Titicaca.

En esta etapa de erosión regional, parece haberse originado el valle glaciar de Berenguela, de orientación este-oeste, el cual fue seguidamente colmatado con conglomerados provenientes del yacimiento de plata y cobre de Limón Verde, del depósito de magnetita del intrusivo menor de diorita y de los volcánicos Tacaza, localizados al oeste de Berenguela.

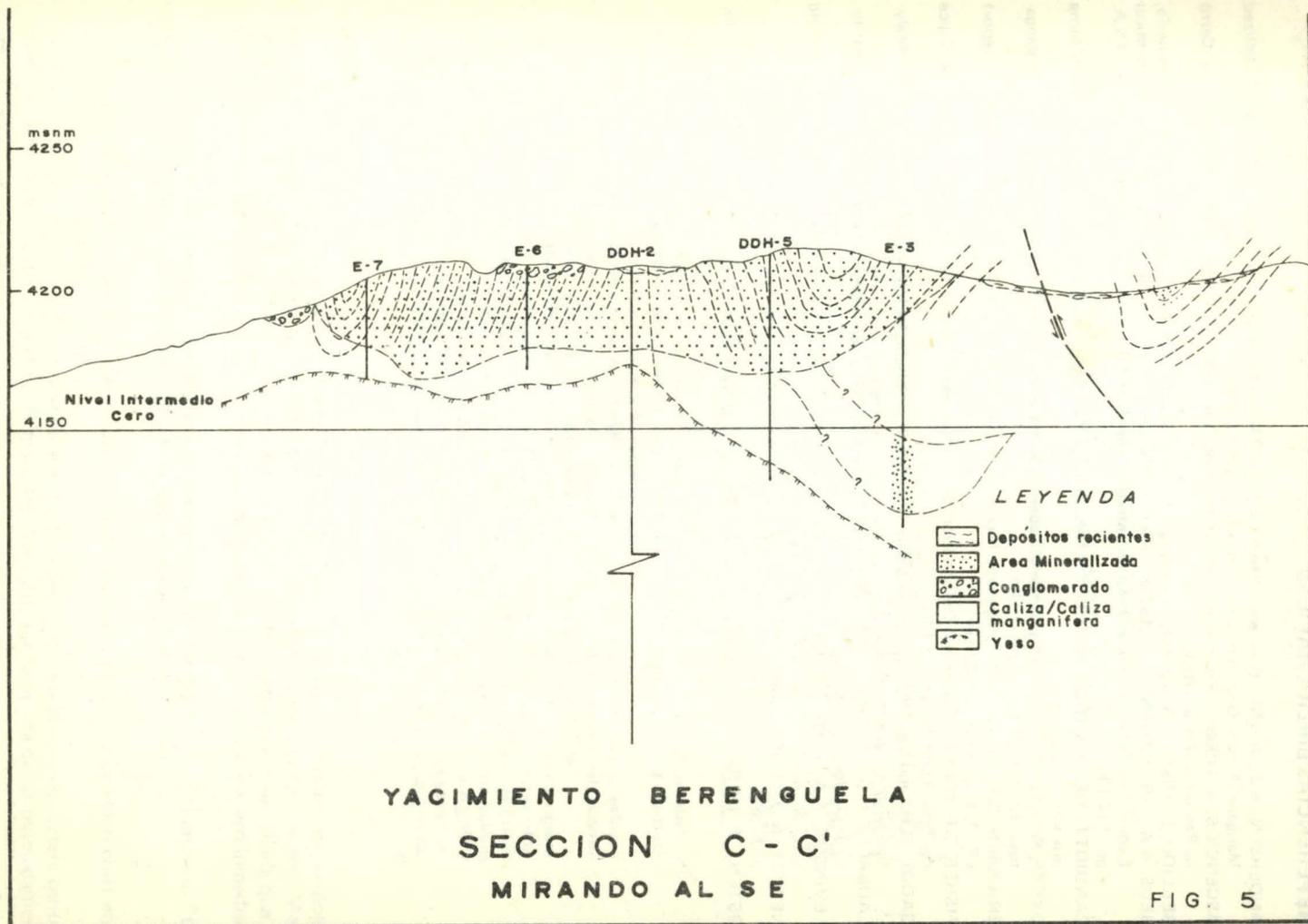
Finalmente, estos conglomerados fueron lixiviados gradualmente por la acción de procesos meteóricos, a medida que eran erosionados, y las soluciones resultantes ricas en Ag y Cu se infiltraron en profundidad a través de las numerosas fallas y fracturas en las calizas manganíferas subyacentes. Siendo posteriormente, estos elementos concentrados gradualmente por el poder de adsorción de los óxidos e hidróxidos de manganeso presentes; formándose como resultado los cuerpos tabulares, subhorizontales de alta ley de Ag y Cu del yacimiento.



LEYENDA

-  Depósitos recientes
-  Área Mineralizada
-  Conglomerado
-  Caliza / Caliza manganífera
-  Yeso

YACIMIENTO BERENGUELA
SECCION A - A'
MIRANDO AL SE



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ANDERSEN, B.J., JENNE, E.A. and CHAO, T.T. (1973).— The Sorption of Silver by Poorly Crystallized Manganese Oxides: *Geochimica et Cosmochimica Acta.*, Vol. 37, pp. 611-622.
- ASCENCIOS, A. (1968).— Preliminary Ore Estimate and Some Geological Remarks - Berenguela Mine: Cerro de Pasco Co., Private Report.
- BELLIDO, E. (1969).— Sinopsis de la Geología del Perú: Boletín No. 22 del Servicio de Geología y Minería.
- BEUS, A.A., GRIGORIAN, S.V., (1977).— Factors Affecting Migration in the Supergene Zone: *Geochemical Exploration Methods for mineral exploration*, Applied Publishing Ltd., Wilmette, Illinois, U.S.A. pp. 134-139.
- CANDIOTTI DE LOS RIOS, H. (1982).— Geología del Yacimiento de Cobre y Plata Berenguela: Informe privado, Minero Perú.
- DYCKES, W., (1971).— The Adsorption and Coprecipitation of Silver on Hydrous Oxides of Iron and Manganese: *Geol. Surv. Can. Paper* 70-64.
- ERICKSEN, G.E., (1975).— Metallogenetic Provinces of the Southeastern Pacific Region. Open File Report CP-1, U.S. Geological Survey.
- FISHER, S.P. (1976).— Olistromal Deformation in the Peruvian Altiplano Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, Tomo 53, pp. 29-44.
- GADDE, R.R., and LAITINEN, H.A., (1974).— Studies of Heavy Metal Iron and Manganese Oxides: *Analytical Chemistry*, Vol. 46, No. 13.
- LAUBACHER, G., (1978).— Estudio Geológico de la región norte del Lago Titicaca: Boletín No. 5, Instituto de Geología y Minería.
- LEVINSON, A.A., (1974).— Adsorption: Introduction to the Exploration Geochemistry, Applied Publishing Ltd., Wilmette, Illinois, U.S.A. pp. 134-139.
- NEWELL, N.D. (1946).— Geological Investigation Around Lake Titicaca: *Am. Journ. Sci.* V. 244, pp. 357-366.
- OSTEN, J.F. (1970).— Berenguela Copper-Silver Deposit, Interim Feasibility Report No. 3. Informe privado.

MIRVANDO VE
SECCION
YACIMIENTO BER