

REPUBLICA DEL PERÚ
SECTOR DE ENERGÍA Y MINAS
INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO

INGEMMET

**PROYECTO MULTINACIONAL ANDINO
(MAP/CIDA)**

**VISITAS A YACIMIENTOS MINEROS DEL SUR
DEL PERÚ**

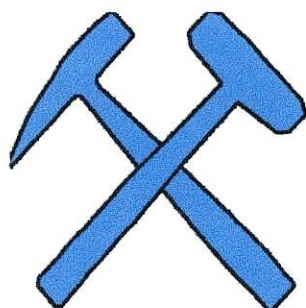
MINA TINTAYA (CUZCO)

MINA CERRO VERDE (AREQUIPA)

MINA CUAJONE (MOQUEGUA)

MINA TOQUEPALA (TACNA)

DEL 30 DE OCTUBRE AL 03 DE NOVIEMBRE DE 1997



INGEMMET



PMA

OCTUBRE - 1997

PERÚ

REPUBLICA DEL PERÚ
SECTOR DE ENERGÍA Y MINAS
INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO

INGEMMET

PROYECTO MULTINACIONAL ANDINO
(MAP/CIDA)

VISITAS A YACIMIENTOS MINEROS DEL SUR
DEL PERÚ

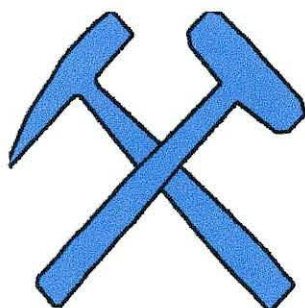
MINA TINTAYA (CUZCO)

MINA CERRO VERDE (AREQUIPA)

MINA CUAJONE (MOQUEGUA)

MINA TOQUEPALA (TACNA)

DEL 30 DE OCTUBRE AL 03 DE NOVIEMBRE DE 1997



INGEMMET



PMA

OCTUBRE - 1997

PERÚ

72°

70°

12°

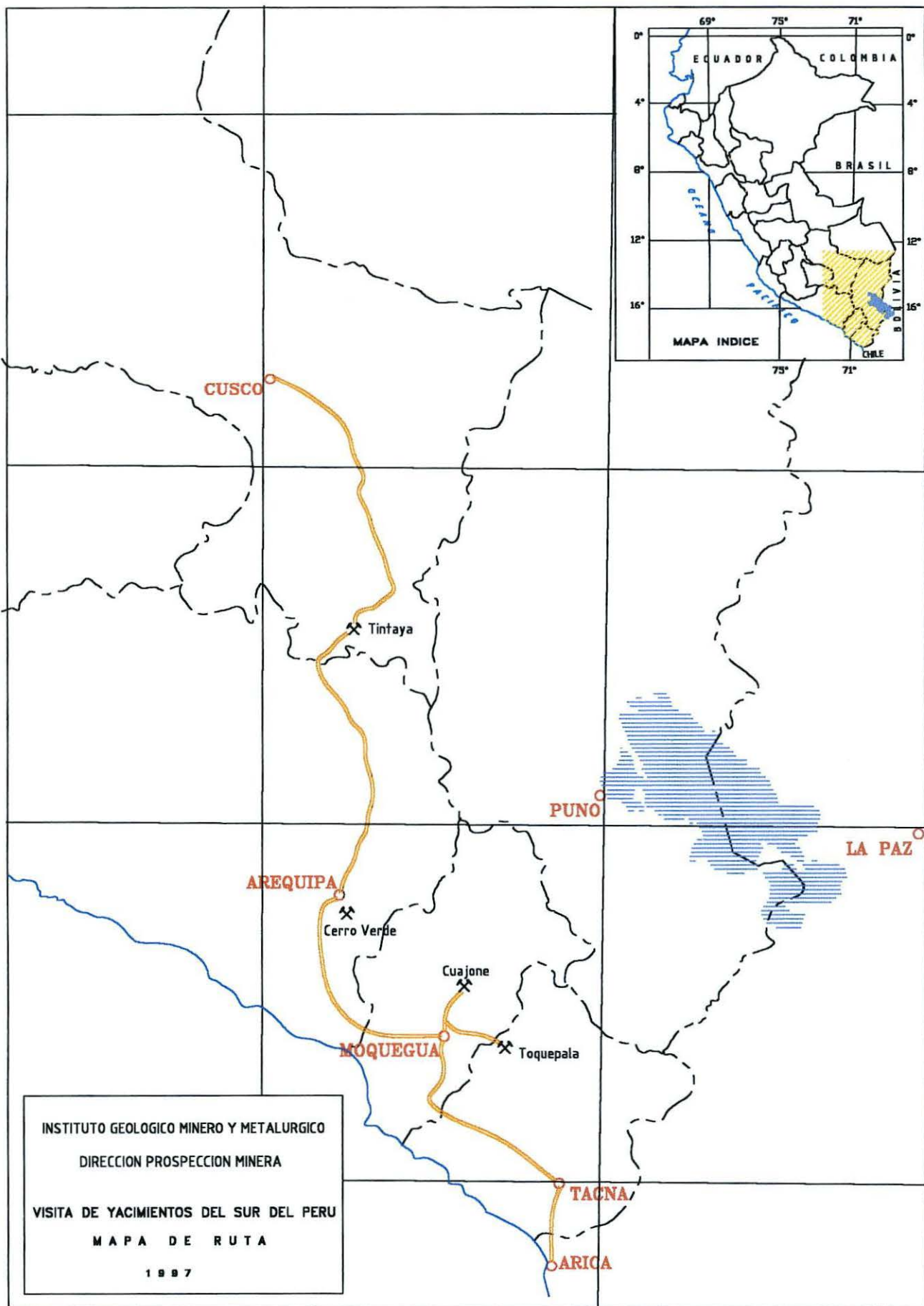
14°

16°

14°

16°

18°



PROYECTO MULTINACIONAL ANDINO

VISITA A MINAS EN EL PERÚ

INFORMACIÓN GENERAL

Las minas a visitar se encuentran ubicadas en el Sur del Perú, formando parte de los yacimientos de cobre más importantes del país y para tener una idea general de las mismas, a continuación se hace una breve descripción de cada una de ellas.

MINA TINTAYA

Tintaya es un yacimiento de cobre, cuya explotación se realiza por el método tajo abierto (open-pit) es propiedad de la empresa BHP Tintaya S.A.. Está ubicada en el departamento de **Cusco** (Provincia Espinar) y a 260 kilómetros de la ciudad de Arequipa; la altitud de la mina es 4100 msnm. Produce concentrado de cobre y cuenta con una planta concentradora de flotación cuya capacidad de tratamiento es de 12,000 t/d. El yacimiento Tintaya está constituido por sedimentos calcáreos de la Formación Arcurquina intruidos por cuerpos intrusivos de monzonita cuarcífera, diorita, que han originando una zona de skarn. En general los cuerpos de skarn rodean al stock de monzonita que dio lugar a la mineralización esencialmente de calcopirita y molibdenita en la zona primaria y calcosina, covelita y bornita en la zona de enriquecimiento secundario.

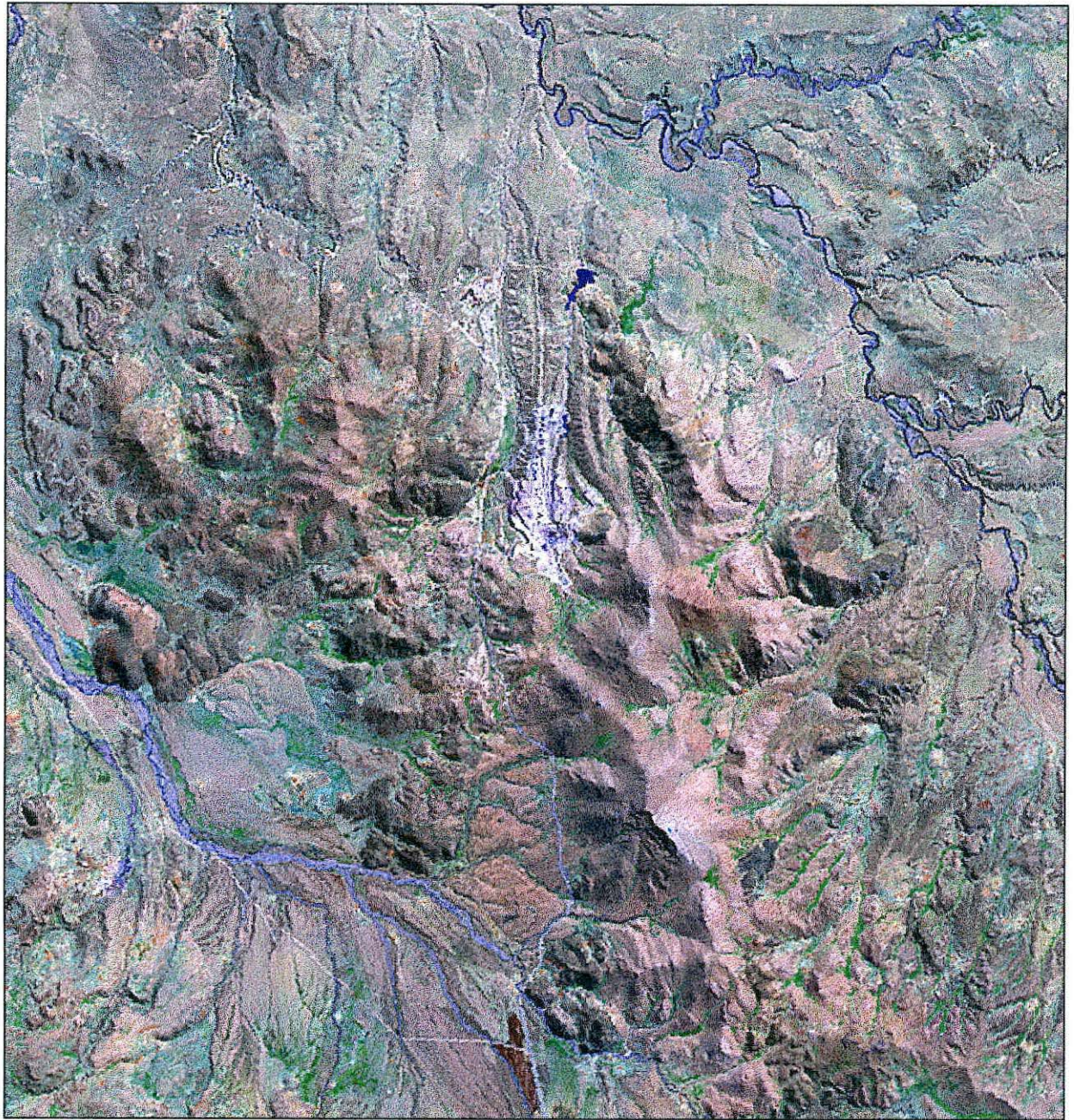


IMAGEN DE SATELITE DEL TAJO ABIERTO
DE TINTAYA Y ALREDEDORES

BANDAS 7, 4, 2 (RGB) ESCALA 1 : 120 000

OCTUBRE 1997

En la etapa de mineralización predominó el metamorfismo termal generando nuevos minerales en la roca huésped y el desarrollo de silicatos calcáreos, constituidos por diopsido, cuarzo, epidota y calcita.

Las concentraciones de mineral económico están referidas a zonas de intenso fracturamiento.

CERRO VERDE

Cerro Verde es un yacimiento diseminado de cobre, cuya explotación se realiza a cielo abierto operada por Sociedad Minera Cerro Verde S.A., cuyo principal accionista es Cyprus Climax Metals Co.. Está ubicada en el departamento de **Arequipa** y a 24 kilómetros de la ciudad del mismo nombre, su altitud es 2300 msnm. Tiene una capacidad de producción de 24,000 t/d de mineral y cuenta con un moderno sistema de lixiviación con ácido sulfúrico. En 1996 produjo 45,882 toneladas de cobre fino.

Este yacimiento es del tipo pórfido cuprífero tiene singular importancia por su ubicación, la mineralización esta asociada con un stock ácido intruido en el límite de gneis y la granodiorita Yarabamba. Este stock es una intrusión múltiple, constituida por dos variedades de pórfido cuarcífero. Las rocas del stock y las rocas caja circundante están fuertemente fracturadas. En algunos lugares el fracturamientos es intenso donde las rocas dan la apariencia de brechas.

Tanto el stock como la roca caja han sufrido una alteración intensa, con un desarrollo abundante de sericita, alunita, arcillas y sílice. La turmalina es bastante común en la parte alta del cerro se observa afloramientos de roca azul claro con un alto contenido de dumortierita.

La mineralización está centrada en el stock, extendiéndose hasta cierta distancia en el gneis y la granodiorita. Los minerales de mena ocurren

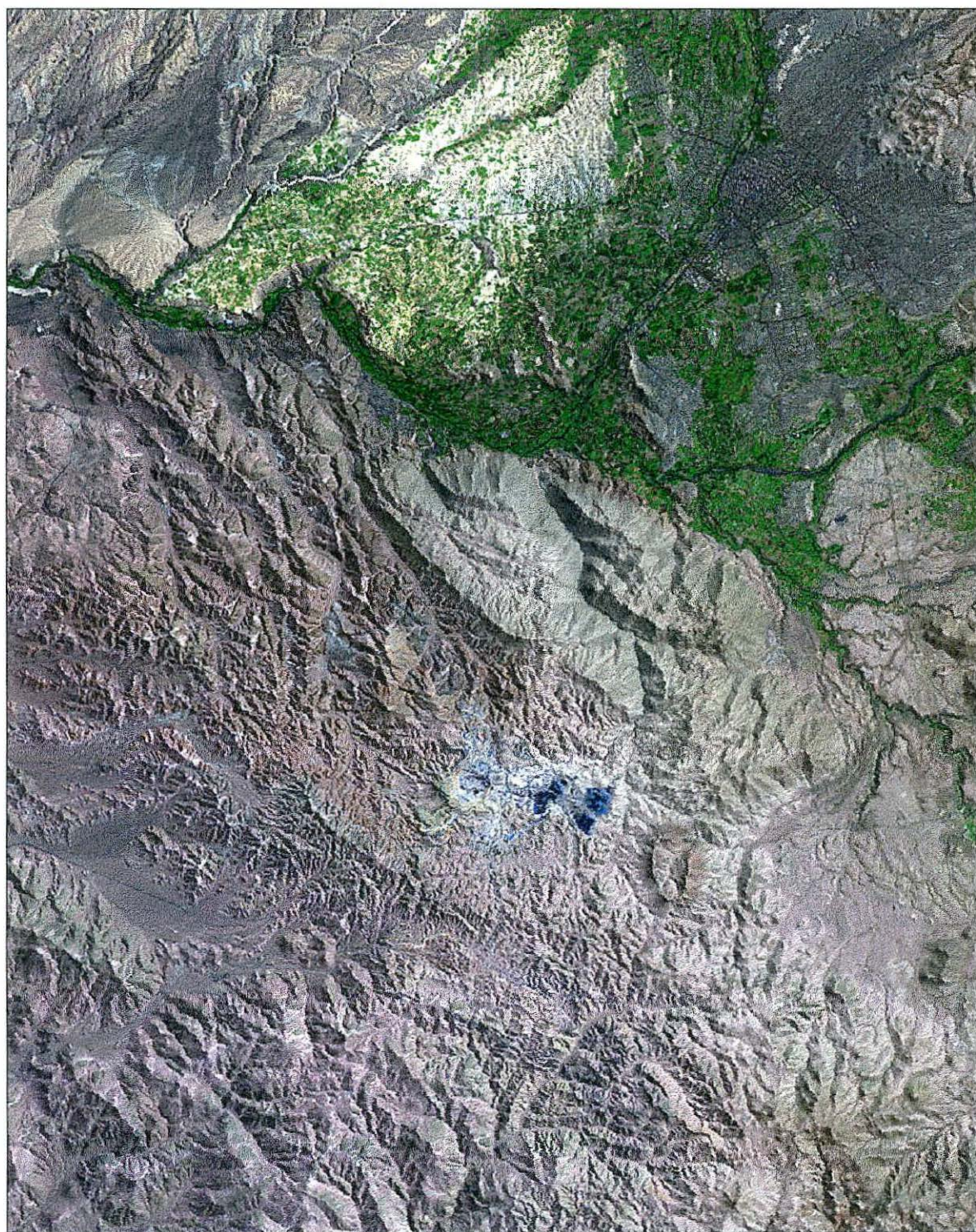


IMAGEN DE SATELITE DEL TAJO ABIERTO
DE CERRO VERDE Y ALREDEDORES
BANDAS 7, 4, 2 (RGB) ESCALA 1 : 150 000

OCTUBRE 1997

como granos diseminados y en forma película dentro de microfracturas; la brechación favorece los valores altos.

Los sulfuros primarios son pirita y chalcopirita con cantidades menores de bornita y molibdenita. El enriquecimiento secundario ha originado cantidades importantes de chalcosita. La brochanitita es el mineral más importante entre los compuestos oxidados de cobre.

TOQUEPALA Y CUAJONE

Toquepala y Cuajone son yacimientos de tipo pórfido de cobre cuya explotación se hace por el método cielo abierto, es propiedad de Southern Perú Coop Co, es el principal productor de cobre del país. Están ubicadas en los departamentos de **Moquegua y Tacna** respectivamente, entre los 3,000 y 3,500 metros sobre el nivel mar.

El **yacimiento de Toquepala** es un depósito de pórfido de cobre, geológicamente se tiene desde la formación mas antigua que se conoce en el área corresponde al pórfido Quellaveco suprayaciendo en discordancia se encuentra la serie Toquepala, compuesta por riolitas, andesita, pórfido cuarcífero y dolerita. En discordancia sobre la serie Toquepala yacen las secuencias volcánicas, tufos, y derrames andesíticos, a la vez que son intruidas por dioritas y granodioritas del batolito costanero.

Las rocas volcánicas así como la diorita se encuentran intruidas por un pequeño stock y por diques de pórfido dacítico. El área mineralizada es ligeramente elíptica, su eje mayor tiene algo mas de 1800 m., y el menor es de 1000 m. Dentro de esta área se halla una gran chimenea volcánica constituido por brechas, estructura principal que controló la mineralización del yacimiento.

Se han diferenciado dos tipos principales de brechas: la brecha principal compuesta por fragmentos angulosos de toda clase de rocas cementada por cuarzo, turmalina, sulfuros y la otra brecha compuesta por guijarros con una matriz arcillosa fina.

Asimismo mencionan numerosas fallas pequeñas y venillas de cuarzo, turmalina y sulfuros a través de la estructura mineralizada.

El área mineralizada está caracterizada por una fuerte alteración hidrotermal que, según Richard y Courtright, afecta a todas las rocas a excepción de las latitas porfíricas, y se encuentra localizada en la chimenea de brecha, estructura que controló la circulación y depositación de los sulfuros. Posteriormente el mineral sufrió un proceso de enriquecimiento secundario, durante el cual se formó el cuerpo lenticular de calcosita.

Los sulfuros hipógenos más abundantes son: pirita y calcopirita; en cantidades subordinadas se presenta la bornita, esfalerita y molibdenita. La ley promedio del yacimiento es de 1.2% de cobre.

Yacimiento de Cuajone está constituida en general por las siguientes unidades: El pórfido de Quellaveco que aflora en la quebrada Chuntacala, los derrames andesíticos, en parte brechoides, de la Serie Alta, a la vez que son cortados por un complejo de rocas intrusivas. El cuerpo más antiguo corresponde al batolito y consiste de diorita y granodiorita que aflora al Oeste del yacimiento. La roca intrusiva del área mineralizada es una monzonita cuarcífera, superficialmente el cuerpo está cubierto por volcánicos post mineralización, con espesores que puede llegar a más de 200 m. Verticalmente el diámetro de la zona mineralizada decrece y adquiere la forma de cono truncado, cuyos límites laterales están indicados

por notable disminución de la mineralización, débil fracturación y alteración.

Las rocas de la zona mineralizada tiene una fuerte alteración hidrotermal; en la parte central los componentes del pórido cuarcífero y de otras rocas se hallan reemplazados por cuarzo y sericita, esta alteración disminuye gradualmente hacia la periferia convirtiéndose en una propilitización caracterizada por la presencia de clorita, epidota y calcita.

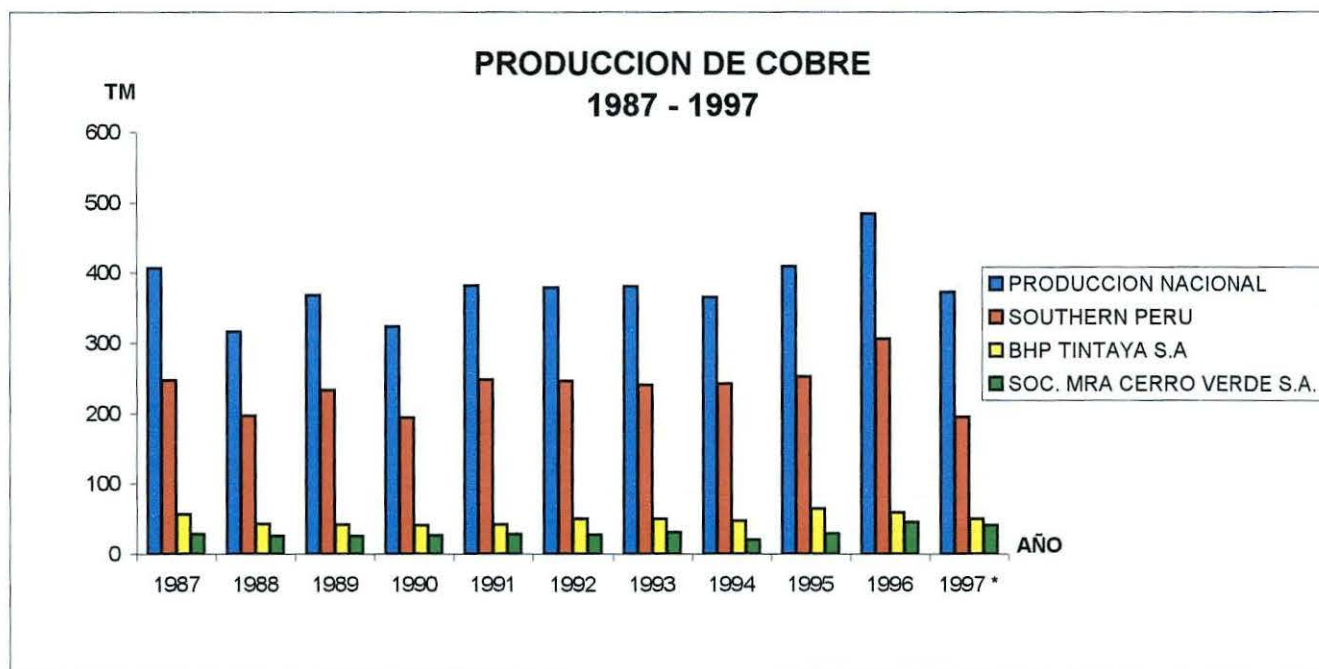
La mineralización primaria se encuentra dispersa en forma de granos y también como finas vetillas intrincadamente orientadas dentro del área de fracturación. Consiste de pirita, en gran abundancia y calcopirita en menor proporción, la molibdenita que es escasa y esporádicamente distribuida. La bornita, enargita, esfalerita y galena se presentan en cantidades pequeñas.

En la parte superior del cuerpo primario hay una zona de enriquecimiento secundario, de forma lenticular, constituida principalmente por calcosita con algo de covelita y trazas de bornita. La calcosita se encuentra reemplazando total o parcial a la pirita y calcopirita. La ley de la zona enriquecida alcanza 2.5% de cobre.. Encima de la calcosita existe una zona oxidada de pocos metros de profundidad con minerales de crisocola, malaquita, tenorita, algo de cobre nativo y abundante limonita. La ley del yacimiento es poco mas de 1% de cobre.

En 1996, Southern inauguró una planta de ácido sulfúrico en la fundición de Ilo y una moderna planta de extracción por solventes y electrodeposición que produce cátodos de cobre de 99.999% de pureza en Toquepala. En el mismo año estas minas produjeron conjuntamente 306,382 toneladas de cobre, 3.1 millones de onzas de plata y 3,946 toneladas de molibdeno.

PRODUCCION DE COBRE FINO EN TM SEGÚN EMPRESAS MINERAS

EMPRESA/AÑO	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997 *
PRODUCCION NACIONAL	406.325	316.355	368.168	323.412	382.277	379.13	381.25	365.663	409.693	484.231	373.162
SOUTHERN PERU	247.329	197.326	233.419	193.993	248.421	246.01	240.821	242.975	252.538	306.382	195.297
BHP TINTAYA S.A.	56.975	42.709	41.492	40.607	42.034	49.997	50.04	47.099	65.153	59.072	50.21
SOC. MRA CERRO VERDE S.A.	27.888	25.591	25.757	26.088	28.412	27.467	31.032	20.086	28.856	45.882	41.128



Fuente de Información: Anuario Minero del Perú 1996 (M.E.M.)

* Producción Ene-Set'97 (DGM-MEM)



TINTAYA— A MAJOR SKARN DISTRICT?

Betting on the Come, with Much to Come—
Like Peru Today

Richard W. Phelps, managing editor

E&MJ arrived at the Magma Copper Co.'s Tintaya operations in the midst of *Uno de Mayo* (labor day) celebrations. It was an appropriate introduction. Peru in general, and Tintaya in particular, is favored with enthusiastic, conscientious mining professionals—from miner through technical levels. The potential of operations has been demonstrated rapidly, e.g. substantially boosting mill output with no additional capital investment. Most importantly the foregoing is complemented by geological opportunities of a much greater magnitude.

In fact, Tintaya is as much a story of the future as it is of the present. Oct. 6, 1994, marked Magma's beginning in Peru. It was the date the winning bid for 98.43% of Tintaya complex was submitted to the government (employees hold 1.57%). In acquiring Tintaya, Magma spent \$243M (\$214M cash and Peruvian debt with a face value of \$55M) plus a commitment to invest \$85M over five years. Magma took over operations on Nov. 30, 1994.

What did Magma buy? A mine situated in southern Peru's Department of Cusco at an altitude of 4,100 m. Tintaya currently has some 58M mt reserves grading 1.78% sulphide-copper, excluding the Coroccohuayco project 7 km to the southeast (about 19.4M mt grading 2.56% copper, at a cutoff of 1% copper). There is a further 26.8M mt oxide-resource grading 1.98% total-copper (1.70% soluble-copper); of this 9.96M mt, grading 2.0% copper (1.61% soluble-copper), is already mined and stockpiled. The rest of the reserves are situated in Chabuca and Chabuca Este areas.

Not surprisingly, for a formerly government-run operation, there were practices to overcome and circumstances to bear. Examples included a very hierarchical personnel structure, such that communication was not as good as it should have been. Lack of reconciliation between mine and mill grades was one result. Tintaya has to bear an ongoing, non-site-controllable telecommunications cost of the order of \$150K/mo. This is due to the five-year monopoly granted to the recently privatized national telephone company.

The physical transition of operations from government- to Magma-management was not entirely painless. Magma found that an immediate extra effort had to be made before March/April 1995, due to stripping being behind plan. So, even before the closing on the property, Magma ordered \$20M worth of: Cat 785 trucks

Celebrating *Uno de Mayo* (labor day) at Tintaya. Mine staff are as critical as good mineralization, and Tintaya has dedicated professionals. Moreover, recently concluded contract (hourly) negotiations may impact all of Peru. (Photo: EMJ/Phelps)

(eight), Cat D10N dozers (two), a Cat 16G motorgrader, light plants, a skid loader, and a rock breaker. The equipment was all received and operating in March.

But people operate the equipment. Lee Browne, Magma's vice president and general manager, says that, "(Tintaya's) people are outstanding. We have miners who have worked elsewhere in Peru, as well as those who opened the mine in 1985. They have stayed with it in tough times." Employment peaked at 1,400 in 1989, but staffing is down to 660 currently (including nine U.S. expatriates). This from pre-acquisition levels of 780. Many are employed in non-mine roles, e.g. site maintenance (infrastructure) of apartments, schooling etc. The company-provided school has primary and secondary levels for an annual average of 800 students as well as a day-care center. Reportedly the best regional hospital in rural Peru is supported by the company. It has a 28 bed capacity.

There are two unions and two employment classes and pay rates, for *obreros* and for *empleados*. The annual contract that Magma inherited originated in the days of hyper-inflation (annual rates at multi-thousand percent levels). The company is working under a joint union-management problem-solving approach, rather than the traditional adversarial bargaining approach. On 17 July, before the 25 August deadline of the old annual contract, Magma announced the ratification of a five-year contract. The new agreement will be effective until 30 June 2000. Burgess Winter, Magma Copper Co.'s CEO said that, "This contract is a truly historic event for the mining industry of Peru...it is the equivalent of our unique 15-year contract for Magma's U.S. operations." Lee Browne, Magma Tintaya's president said that the agreement will continue the 'win-win' (company/employee) philosophy and help the (technical) cultural transformation of Tintaya to increase productivity, reduce costs, and reward employees for high performance. He added that the accord would provide a stable, cooperative work environment where employees can earn more than under a traditional agreement.

The net result of Magma's initial efforts—a substantial boost in the mining rate, to 85-90K mt/d. And, while there is a mine plan for existing ore, there is none addressing likely exploration discoveries. Some \$6M (for 56K m drilling) is slated for exploration in 1995 and further drilling is likely next year.

The Chabuca Sur deposit, to the southwest of the current pit, is likely to be the focus of future activity.

A feasibility study is under way for an 80M lb/yr SX/EW plant. If the \$100M facility is approved, it would begin production second-quarter 1997.

A portion of the 10M mt mined-oxide stockpile overlies Chabuca Norte. Furthermore, much if not all of the waste dump will be moved to access ore beneath it.

For 1995 production will be about 145M lb copper-in-concentrate and 205K mt concentrates, some of which will go to Magma's San Manuel (Arizona) smelter.

The latter is a significant advantage for Tintaya over the historical situation. There are only two smelters in Peru. Alternatively, concentrate must be shipped to Japan, Korea, Brazil, or the United States (Magma's San Manuel smelter) via the Port of Matarani. The port is about 365 km, via Arequipa, by road from Tintaya. (The 6 hr, 255 km trip over a largely gravel road to Arequipa reminded E&MJ of the quote made at Indonesia's Grasberg mine, 'the mining cost is the minor cost.') According to Browne, if in the longer term sufficient ore reserves are found, an acid- and copper-matte-generating furnace might make sense.

For a comparison, Magma's Pinto Valley mine (Arizona) produces 150K st/d with 540 employees, this versus Tintaya's 85-90K mt/d with 660 employees. Obviously there is more than the current output or productivity to consider.

A Million Here, A Million There

Then you are talking real quantities of ore. With nine drill rigs on site and a goal of adding 2B lb copper, in two years, to existing reserves, Tintaya's geologists are busy. Geological potential is the heart of the Tintaya acquisition.

According to Paul Zweng, manager of exploration and geology, an order of magnitude guess of additional potential would be 30M mt ore—just in the immediate area of the Tajo pit. He expects to have the property well assessed in the targeted two year time-frame. Zweng emphasized that Magma subjects all of its reserve numbers to a most rigorous review. So reserve results, now or in 1997, should not be construed as a 'quickie.'

Skarn outcrops overlie Tintaya's Tajo pit, but the deposit was originally an IP geophysical discovery, ca 1971 by Arce Geophysics (Lima). (A 3,000 ft test-adit was driven to confirm the mineralization.)

Prior exploration (from the 1940s on) in the area was successively conducted by Andean Exploration, American Smelting & Refining, Hochschild, Anaconda, and Cerro de Pasco. In 1971 Empresa Minera del Centro del Peru was granted rights to work an area of 1,124 ha that incorporated the Tintaya deposits.

Initial IP work was done in 1971 and more in 1973. In 1976 a drilling program provided samples that indicated potentially economic copper sulphide mineralization. IP work was again conducted in 1991 and February 1995. And there is a striking correlation between strong anomalies and the prospects that are being actively explored.

The ore—principally chalcopyrite and bornite mineralization—is found in association with sedimentary rock. The following are the principal sedimentary-rock formations:

- Soraya/Hualhuani (Upper Jurassic quartzite)
- Mara/Murco (Lower Cretaceous lutites)
- Ferrobamba (Mid-Cretaceous, thick limestones—up to 880 m, most important to Tintaya)
- Yauri and Descanso (Upper Tertiary volcanics—flows, ash, tuffs etc.)

Copper-iron sulphides found largely in the Ferrobamba; minor/sub-economic levels are seen in Soraya/Hualhuani and Mara/Murco.

A principal intrusion into the Mesozoic is diorite. Most important is the monzonite (33-34M yr old). Younger andesite dikes cut the intrusives. And the formations and mineralization are all covered by Quaternary alluvium.

Principal deposits within Tintaya's concession area are:

- Tajo Abierto, current mine operations
- Chabuca, dating from the Cerro de Pasco era—early 1940s, containing magnetite and garnet skarns with copper oxide. It is contiguous to four areas—Norte, Sur, Este, Este-Cuerpo Sur.
- Zona Nueva Este
- Huancarama Sur

Ore is seen in three settings:

- Garnet-pyroxene skarn in stratabound lenses (most important and continuous)
- Garnet-pyroxene skarn formed along the contacts of Ferrobamba limestones and intrusive diorite/monzonite
- Magnetite replacement bodies associated with faults

On a district scale the control for skarn is not clear yet. Structural geologic work is clearly an area that will receive extra effort. For now reinterpreting existing geologic data is key; some 848 holes were drilled before Magma's tenure. Of the 18K m RC-drilling budgeted for 1995, some 50% will be used to condemn ground for dumps. The balance will explore skarn targets outside the Tajo pit area (about 30 holes of 300 m depth).

One of the most promising areas on Magma's concession is the relatively deep Corocohuayco prospect. Based upon Mitsui's geophysics and drilling, it contains an estimated 19.4M mt grading 2.56% copper. The stripping ratio would be about 10:1 vs 7:1 currently at the Tajo pit.

Mitsui has controlled the adjacent Quechua prospect for many years, but not done much with it. More recently, ca 1994, RTZ plc has staked out a considerable area around Tintaya (part of what is reputed to be its >1M ha claims holdings in Peru.) Indeed, Las Bambas, to the north of Tintaya, is a major concession coming up for privatization.

The 30K-oz/yr-gold and 900K-oz-silver smelter-credits have stimulated interest in broader possibilities. Over 18K samples have been sent to Bondar Clegg for analysis of byproduct content, i.e. gold, silver, molybdenum, etc.

And according to Zweng there are other mineralized areas with little or no geological investigation. Indeed, at Coyne-Fito, located 4 km east of the Tajo area, there is a series of breccia-bodies in the area with gold, silver, lead, zinc, and minor-copper content. The mineralization is reminiscent, to Zweng, of major copper skarn/porphyry districts, e.g. Bingham Canyon, Utah.

Going forward, Magma was flying the district in June to provide proper topographic mapping and controls.

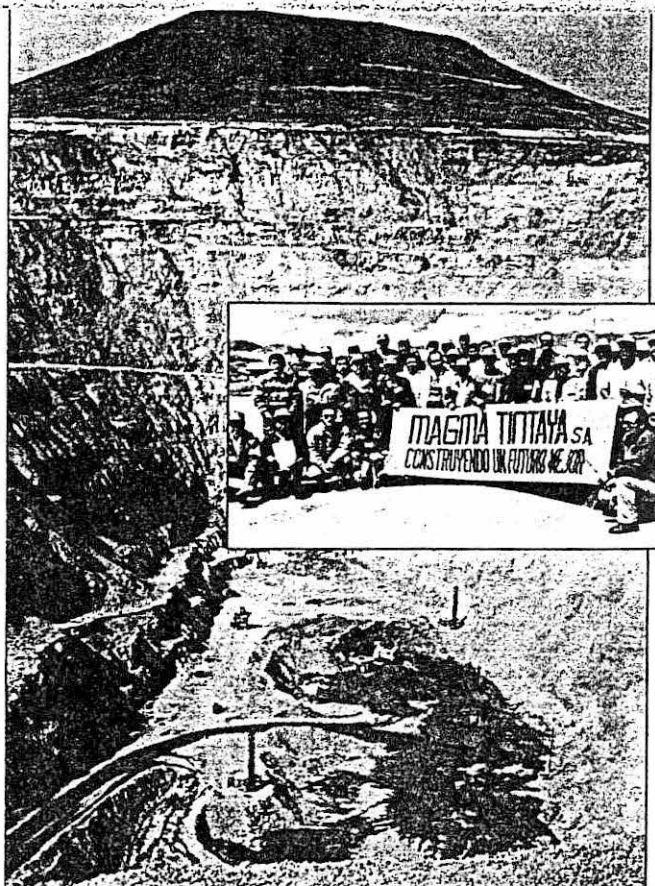
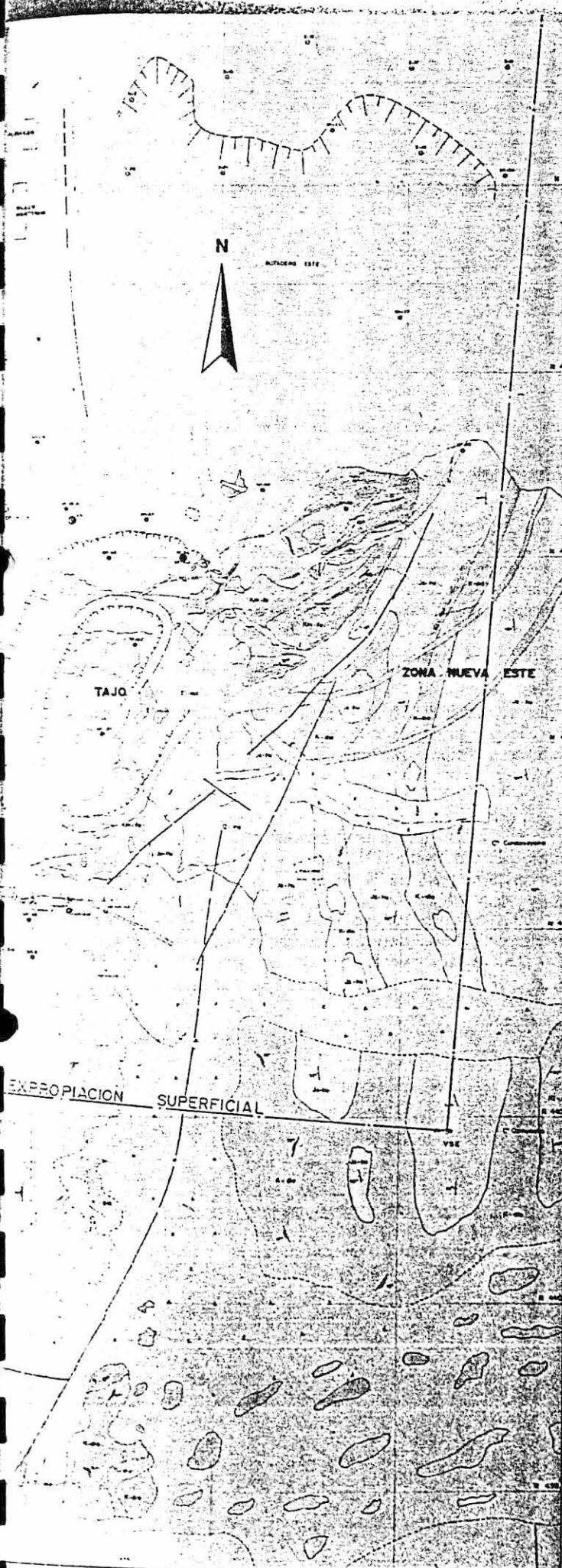
Operations: Flexible Shifts Are Better

Tintaya operations contrast with those in the Magma staff's background. In place of Tintaya's higher-grade skarn (1.8-2.0% Cu), their experience is with lower-grade disseminated mineralization, higher stripping ratios (3.5-4:1 going up to 7-8:1), and higher dilution, at times 8-10%. At Tintaya the emphasis has to be put on selective mining, so 150 st capacity trucks and Cat 994 FEL and P&H 12 yd³ shovels are the top sizes in equipment ratings.

If a 18-20K mt/d mill capacity, and reserves to accompany it, comes in the future, then a new complement of equipment would be likely. But, that said, 240 st truck sizes are highly unlikely in the future.



This view of a skarn outcrop is typical of a large area surrounding the Tajo pit. There is obviously much geological potential. (Photo: EMJ/Phelps)



The Tajo pit has been mined since 1985. Changes in scheduling resulted in instant increases in production.

Inset: Tintaya's staff has worked through hard times in Peru prior to Magma Copper Co.'s acquisition of the operation. (Photo: Lorenzo Santacruz)

The mine will be optimized gradually. As the 85 st trucks reach the end of their service lives they will be replaced. With the dispersed nature of the mineralization of future pits, the resulting long, flat hauls probably favor mechanical trucks. New Cat trucks do not suffer much altitude derating (nearly 14K ft elevation), although existing trucks are derated to 64 mt capacity.

A rebuilt T-5 drill and used Cat 992C are being brought in from San Manuel. The drill has been refitted with larger engines and compressor for altitude compensation.

For all practical purposes, mine planning has just become computerized with the receipt of Pentium-equipped computers. Local-area-networked printers and plotters are enroute. E&MJ visited with a U.S. computer-systems specialist charged with rapidly implementing a modern computer network for Tintaya.

Not surprisingly, previous emphasis had been on data collection rather than data analysis. Indeed, prior drill core handling, standards, and logs were rated very good by Magma management. Prior planning was inhibited by its reliance on manual methods. Indeed, the polygon method worked well for Tajo but probably will not be suitable for the other pits. And outside consultants are quickly looking at a number of computerized plans. By mid- to late-1996, planning will be converted to Magma methodology.

A.J. Fernandez, manager of planning, said that he was struck by the enthusiasm of Tintaya's professionals. Indeed, Fernandez cited the example of one individual who took personal vacation in order to take masters-level courses in mining engineering in Chile. And Magma immediately reversed the 'tradition' of planners being resource short, i.e. lacking mylar, paper, etc.

Mine planners are visiting Magma's U.S. operations for ongoing training as are other local professionals. An accountant will be added to planning to handle budgeting activity. A new administration building will bring the various groups together, enhancing communications, but mine technical support staff will remain at the pit.

Results to date on the reserve front are significant:

- As recently as early 1993 Tintaya's estimated reserves were only 13M mt grading 1.95% copper;

- Immediately prior to the sale, the government's mine plan contained 30.2M mt ore at a stripping ratio of 7:1; and now
- Magma's plan is 58M mt at the same ratio.

Tintaya's mining operations began in the Tajo pit in April 1985, after \$325M (1986 dollars) had been invested.

Prior operations were oriented to produce ore continuously, on a three shift basis. Magma quickly benefited by shifting to a flexible-shift ore-production schedule. According to Fernandez, "overall production went up instantaneously." Staffing was also addressed, with spotter positions being eliminated on shovels, at the dump, etc. The mine now has an average production of 115K mt/d ore-and-waste, with a peak level of 125K mt/d.

Today contract stripping has provided drainage to divert groundwater from entering the pit. Slope stability is also a concern, due to the unconsolidated nature of the volcanic ash. There was a slide last year that damaged the P&H 1600 shovel, as well as a slide this year. Contract stripping has provided a catch bench at the rock/alluvium contact. Overall the pit wall slope is 45°, which is probably as steep as possible. If Magma were to design the mine from scratch it probably would lower the slope-angle by 3-5°.

Benches of 10 m are developed in ore and 15 m benches in waste. Two benches will be added in 1995 at about a 0.9:1 stripping ratio.

Haulroads, formerly 25 m midline-midline, are now 30 m. And an 8% gradient is the norm.

The equipment fleet's availability is budgeted at 80%, based on a 7.5 hr/shift schedule. The equipment fleet includes:

Trucks—

- 8, Cat (150 st capacity, received March 1995)
- 16, Wabco (85 st capacity), 68.7% mechanical availability (MA), and 55+K hours service (1994 figures)
- 7, Belaz (120 st Russian manufactured, only one operable due to reliability and parts availability problems)

Loaders—

- 2, P&H 1900 (12 yd³, 85.9% MA, and 54K hours service)
- 2, P&H 1600 (6 yd³ one damaged in rain-induced mud slides may not be repaired), 77.8% MA, and 40K hours service
- 2, Cat 992C 78.9% MA, and 45K hours service
- 1, Cat 992D
- 1, Cat 994 (used, on order)

Dozers—

- 2, Cat D10N
- 2, Cat D9L
- 1, Cat D8L
- 1, Cat D7G
- 3, Cat 824C wheel-type

Graders—

- 3, Cat 16G

Drills—

- 3, BE-45R (9 1/4 to 11-in. dia.—There is a test of Ireco doing the loading/blasting), 75.4% MA, and 38K hours service
- 1, I-R T-5 (rebuilt, due to have come from San Manuel in July 1995)

Secondary drilling is accomplished with a track drill (2 1/2-3 in. bits) and down-the-hole bits (4 1/2 in. dia.).

In the lower benches there is excessive water, so 8-in.-dia polyethylene sleeves are employed. On the upper levels bottom-charges of aluminized-ANFO (10%) are used. The mine is in the process of evaluating the performance of various slurry products. Effectiveness vis-a-vis loading equipment efficiency is key in the decision-making. This to reduce the use of both wheeled tractors and motorgraders. The new pit will utilize non-electric initiation methods.

The ANFO mix truck has a capacity of 6.25 mt and there is a pumping truck (50 gal/min.) for dewatering holes.

Stripping is underway to the west for the Chabuca Sur project. While there is less alluvium, existing dumps will be a factor in pit development. Some oxide material, from the initial stripping phase, is being stockpiled.

Some 12MW power is supplied from the hydro-station adjacent to the famous ruins of Macchu Picchu. Additionally a company-owned station, equipped with eight, 2,245 hp MAN diesel-generators provide 18MW power.

Drilling Parameters

	Rock Density (mt/m ³)	Pattern (m)	Hole Dia. (in.)	Bench Height (m)	Charge Dia. (in.)	Water Present
Monzonite (fresh)	2.65	6x5	9 1/4	10	8	Yes
Limestone	2.65	6x5	9 1/4	10	8	Yes
Skarn (granite)	2.94	5.5x5	9 1/4	10	8	Yes
Monzonite (fresh)	2.65	8x7	11	15	11	No
Monzonite (altered)	2.50	8x8	11	15	11	No
Limestone	2.65	7x7	11	15	11	No
Skarn (granite)	2.94	7x6	11	15	11	No

Typical tricone bit longevity, 3,697 m.

And, with limestone and quartz monzonite being the chief constituents of the dumps, acid drainage is not a concern.

Rapid Successes in Milling

Historically the mill processed an average of 7.4K mt/d with an 88.7% recovery.

Part of the reason only 7.4K mt/d was processed was that prior management thought that they had to grind very fine. Magma has found that only 10-15% +65 mesh feed is needed from the 16x20 ball mills; and the change helped recoveries. Longer term, if mill throughput of 14-15K mt/d is approved, some capital spending may be made, mostly in the tertiary crushing area. The current primary crusher yields a 6 in. top size and the tertiary a 3/4 in. product.

And push-back on the south side of the Tajo pit found quantities of oxide, grading 0.12% copper, and native copper in the upper benches. It has caused some recovery problems in the mill, with recovery sometimes dropping as low as 84%.

However, only a month after Magma's purchase, throughput rose to 11.2K mt/d and averaged 10.75K mt/d for the first-quarter 1995, with a head grade of 1.83-1.89% copper.

So the mill is by no means a problem or a bottleneck. Its crushing circuit can handle 18K mt/d and, with some conveyor/motor improvements, can do 30K mt/d.

Nevertheless, the mill is being fine-tuned. An increased capacity of 12K mt/d was achieved in May—with NO significant capital investment. The only new equipment will be cyclone-feed pumps, 14x12 size, that are being purchased to reach the target capacity.



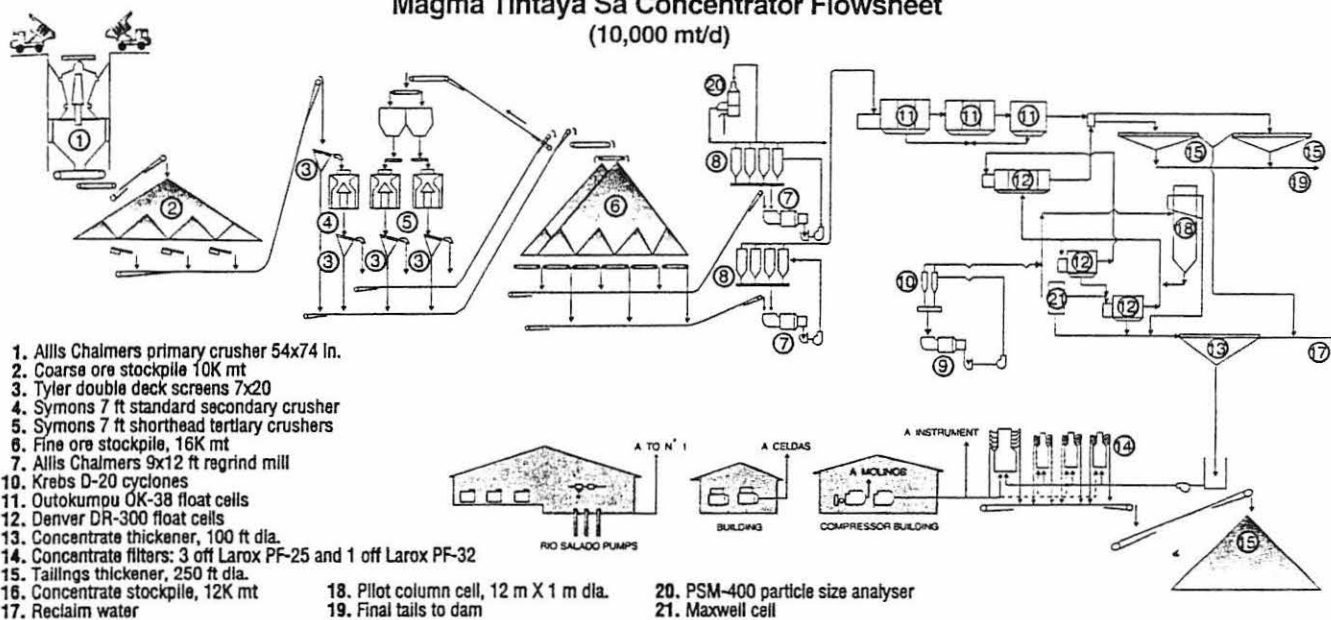
The Tintaya mill has yielded remarkable increases in throughput with no capital investment. (Photo: EMJ/Phelps)

Tintaya Concentrator Performance

Year	Treated (K mt)	Grade (%)	Concentrate (K mt)	Total Concentrate (mt/d)	Grade (%)
1985	1,353.2	2.01	61.47	21	33.38
1986	2,738.3	2.17	177.56	486	29.61
1987	2,798.6	2.29	166.91	457	34.22
1988	2,049.2	1.88	104.68	405	32.75
1989	2,367.5	1.96	126.06	345	32.96
1990	2,634.9	1.72	128.82	353	31.50
1991	2,808.4	1.88	147.66	405	31.66
1992	2,838.2	1.95	157.87	433	31.67
1993	2,798.9	1.99	157.68	432	31.62
1994	2,856.3	1.83	150.77	413	31.21
1995*	1,293.6	1.81	65.50	546	31.05

* To April

Magma Tintaya Sa Concentrator Flowsheet (10,000 mt/d)



1. Allis Chalmers primary crusher 54x74 in.
2. Coarse ore stockpile 10K mt
3. Tyler double deck screens 7x20
4. Symons 7 ft standard secondary crusher
5. Symons 7 ft shorthead tertiary crushers
6. Fine ore stockpile, 16K mt
7. Allis Chalmers 9x12 ft regrind mill
10. Krebs D-20 cyclones
11. Outokumpu OK-38 float cells
12. Denver DR-300 float cells
13. Concentrate thickener, 100 ft dia.
14. Concentrate filters: 3 off Larox PF-25 and 1 off Larox PF-32
15. Tailings thickener, 250 ft dia.
16. Concentrate stockpile, 12K mt
17. Reclaim water

18. Pilot column cell, 12 m X 1 m dia.
19. Final tails to dam

20. PSM-400 particle size analyser
21. Maxwell cell

They will have sufficient margin to allow 15K mt/d throughput. Two column cells are likely to be added to the existing mechanical flotation cells.

Some flowsheet changes and plant improvements are also contemplated, to assure 15K mt/d capacity, that include:

- Examining Outokumpu unit cells for coarse sulphide ore processing;
- Shifting some cells from cleaner to rougher status;
- Testing shaker tables for precious metals recovery (about 60% recovery currently);
- Testing one compressor per filter—to increase filter capacity by boosting pressure from current 80 lb/in.² to 100 lb/in.² (each filter is rated 800-1,000 mt/d concentrate capacity);
- Adding an on-stream X-ray analyzer;
- Evaluating wet screening of fines (about 30% ROM ore is - $\frac{3}{8}$ -in.) and as an aid in the rainy season (Normal moisture content of <5% rises to 6.5% in the wet season of November-April);
- Minimizing weather effects by realigning some chutes and employing a corrosion consultant together with the use of liners; and
 - Equipment to allow laboratory to provide more analytic services for both the plant, mine (grade control) and exploration work.

The new oxide plant is expected to begin operations in the second-quarter 1997, adding about 80M lb/yr copper production.

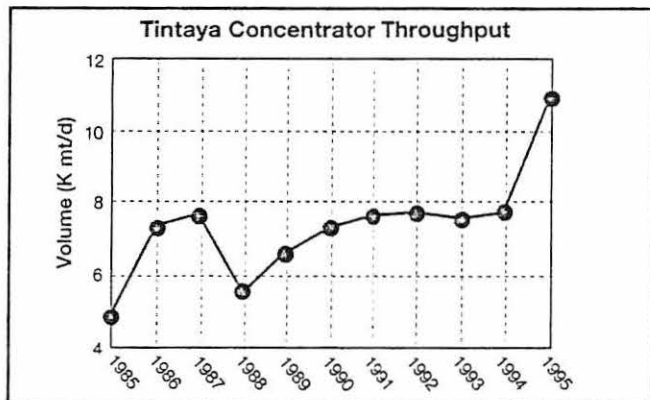
One discovery has been that a higher percentage of the mine's loading fleet should be in front-end loaders. This to provide better grade control greater mobility for selective mining. Although the estimated operating cost of 15¢/mt is almost double that of the shovels, at 8¢/mt.

A breakthrough that management made came a week before E&MJ's visit. The mill operates at the natural pH of the ore, generally about 8.2. There had been problems due to lower pH ore (at 7.6). Adding 80% of the reagents in the ball mill resolved the situation—simultaneously boosting the recovery to 90%.

Coming into the Tintaya mill, Magma found the operation to be inadequately funded. Moreover, units tended to work independently, without consideration of the 'big picture.' And, on the people side, the principal problems revolved around the poor housekeeping-and-safety performance and environmental-awareness under prior management. Ever Gallardo, processing manager, emphasized that the attitudes of the hard-working staff were positive and receptive to change. Gallardo added that the Tintaya staff are some of the best he has worked with in his career in Latin America and the United States.

On the environmental side, Magma currently has many projects underway:

- Expanding the sewage treatment plant at Camp 3 (one of three, and where most employees live);
- Improving the potable-water supply (currently there are two sys-



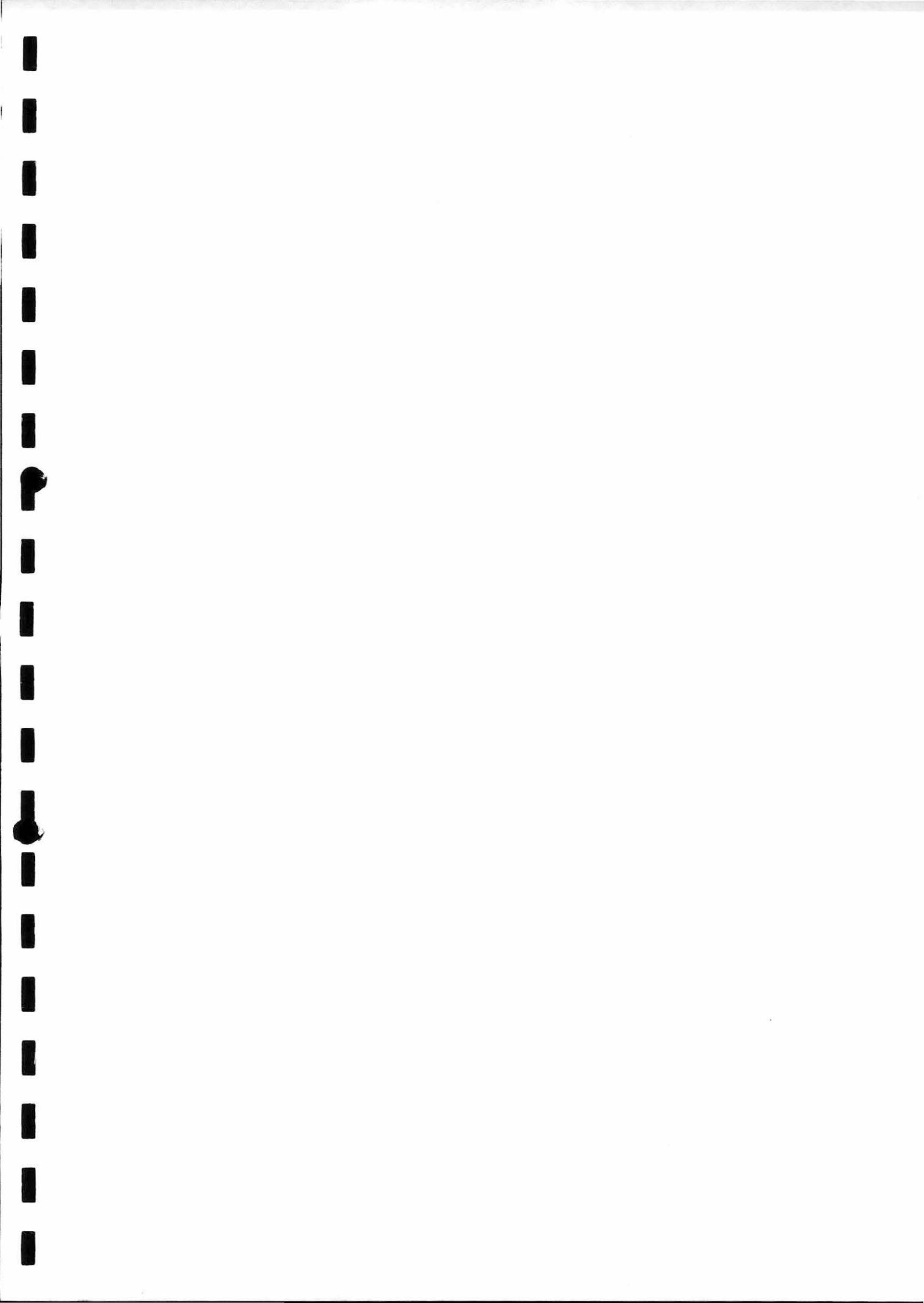
tems, one to the adjacent regional hospital—Magma supported, and one from the Rio Salada) via new wells that will reduce the amount of contained salt. Local individuals were hired to dig a canal to provide additional water;

- Eliminating oil spills through containment and recycling;
- Implementing proper handling of chemical waste—laboratories, batteries, antifreeze, etc.;
- Monitoring dust, water, noise emissions;
- Developing a zero-discharge (closed circuit) system from the tailings dam (due to limestone rock in the area water is generally neutral pH) at an estimated cost of \$10M. Cost benefits accrue from recycling residual reagent and reducing pumping;
- Setting aside soil for reclamation work;
- Assuring no pollution from the future oxide plant;
- Studying environmental effects of production >12K mt/d;
- Training all employees in environmental awareness;
- Doing baseline environmental studies aimed at effective land reclamation;
- Studying plans to cope with major disasters, e.g. earthquakes; and
- Using World Bank and U.S. environmental-standards.

Prior operations utilized a part-time consultant for compliance with Peruvian laws. Magma has a full-time environmental group that works from the more stringent U.S. regulatory basis.

Conclusion

This article is a snapshot of a work-in-progress. The big story will occur in the next two years as exploration efforts now underway are completed. As E&MJ went to press Magma reported a significant boost to second-quarter performance with 60M lb copper sales from Tintaya. And E&MJ appreciates the full cooperation of the Tintaya staff and its hospitality. ■



✓
**ALTERACION Y SU RELACION CON LA
MINERALIZACION EN EL PORFIDO DE COBRE
DE CERRO VERDE**

ALFREDO KIHLEN C.*

RESUMEN

El depósito porfirítico de Cerro Verde, se encuentra ubicado 23 km. al S.W. de la ciudad de Arequipa-Perú.

Genéticamente está relacionado:

a) A un sotck de pórfido-dacítico a cuarzo monzonítico de probable edad terciaria inferior (paleoceno), que instruyó granodioritas del cretaceo superior a terciario inferior y al gneiss charcani (precámbrico),

b) A un gran cuerpo de brecha ("breccia pipa"), de 1 x 0.5 km., que contiene fragmentos de gneiss, cuarcita, granodiorita y pórfido, teniendo en su mayor parte matriz de cuarzo y turmalina.

Las alteraciones observadas son: potásica, fílica, argílica y propilítica; dispuestas en un modelo asimétrico y aproximadamente concéntrico, donde la zona potásica constituye el núcleo, rodeado por la zona fílica, la cual grada a través de una pobremente desarrollada zona argílica hacia la propilítica en la periferia.

La zona potásica se caracteriza por la presencia de ortosa, biotita y cuarzo secundario (hidrotermal), como minerales críticos y esenciales; existiendo dos asociaciones mineralógica y texturalmente diferentes:

a) biotita-cuarzo; y b) ortosa-cuarzo. En esta zona y en su borde se encuentra localizada la mayor parte de la mineralización económica del depósito, siendo los sulfuros: chalcopirita, pirita y pequeñas cantidades de molibdenita. La zona fílica posee como constituyentes esenciales, sericita y cuarzo y entre los metálicos, pirita, calcopirita, cantidades muy pequeñas de molibdenita y trazas de esfalerita, galena y tetraedrita. La

* Minero Perú

“zona” argílica no está desarrollada, encontrándose a manera de parches en las proximidades a superficie.

La zona propilítica se caracteriza por poseer los ferromagnesianos alterados a epidota-calcita; el metálico ampliamente predominante aquí es la piritita, la chalcopiritita se encuentra generalmente en cantidades no económicas.

Las alteraciones descritas afectan al stock y a todas las rocas intruidas por él.

La alteración supérgena más conspicua observada en Cerro Verde, es la alunitización y silicificación coloidal.

INTRODUCCION

El presente trabajo ha sido hecho en base a lo siguiente:

- a) Observaciones de campo en toda el área de Cerro Verde.
- b) Registro de testigos de perforación, poniendo especial interés en alteración y su relación con la mineralización de metálicos, con ayuda de un microscopio estereoscópico.
- c) Pruebas colorimétricas para determinación de feldespatos potásicos.
- d) Observaciones microscópicas de 200 secciones delgadas.

Como se podrá apreciar en la lectura del trabajo, este trata más que nada de describir los rasgos saltantes del yacimiento, sin entrar demasiado en consideraciones e interpretaciones genéticas.

LITOLOGIA

En el área de Cerro Verde afloran las siguientes rocas:

- Brecha turmalinífera
- Brecha cuarcífera
- Brecha de cuarzo y dumortierita
- Metasomatita hidrotermal
- Pórfido dacítico — cuarzomonzonítico
- Granodiorita Tiabaya
- Granodiorita Yarabamba
- Diorita cuarcífera
- Gneiss Charcani

Todas ellas en las proximidades al pórfido dacítico-cuarzo monzonítico, se encuentran alteradas hidrotermalmente en diferentes grados.

Gneiss Charcani

Es la roca más antigua del área y la región, constituye el basamento cristalino de la misma. Aflora al Norte, Oeste y Sur de Cerro Verde.

ALTERACION MINERALIZACION CERRO VERDE

En las proximidades al pórfido dacítico-cuarzomonzonítico, se encuentra fuertemente alterado a cuarzo-sericita, presentando mineralización de cobre.

La roca fresca se caracteriza por: tener textura gneílica de grano medio a grueso, constituida esencialmente por ortosa, cuarzo y biotita, con plagioclasa y muscovita como componentes menores.

Diorita Cuarcifera

Aflora al Este de Cerro Verde. La roca fresca es de color gris, hipidiomórfica de grano medio, con tamaño predominante de los cristales de 0.5 a 1. mm. Su composición mineralógica es:

- a) Esenciales: Plagioclasa, cuarzo, biotita, ortosa
- b) Accesorios: Magnetita, zircón.

La plagioclasa y biotita ocurren como cristales subhedrales; el cuarzo y la ortosa, siempre anhedrales y localizadas en su mayor parte en forma intersticial.

Granodiorita Yarabamba

Aflora hacia el ESE de Cerro Verde, presentando sus afloramientos diferentes tonos de color, debido a los diferentes grados de alteración. La muestra de mano fresca es de color gris rosáceo, de textura hipidiomórfica de grano medio, con tamaño predominante de sus cristales de 0.5 a 1.5 mm. Su mineralogía es:

- a) Esenciales: Plagioclasa, cuarzo, ortosa, biotita.
- b) Accesorios: Hornblenda, magnetita, zircón.

La roca descrita no posee mineralización económica en el área de Cerro Verde. La edad radiométrica de la roca en cuestión, determinada por el método del Potasio-Argón es de 58.9 ± 2 millones de años.

Granodiorita Tiabaya

Aflora al E de Cerro Verde, las superficies intemperizadas presentan un color rosáceo. De todas las rocas del área es la menos afectada por las soluciones hidrotermales, encontrándose sólo una pequeña extensión en superficie, sericitizada y propilitizada, con mineralización pobre.

La muestra fresca de mano es de color gris claro, con textura hipidiomórfica de grano grueso, en la que destacan los cristales prismáticos de hornblenda, muchos de los cuales sobrepasan los 5mm.

Su composición mineralógica es:

- a) Esenciales: Plagioclasa, cuarzo, ortosa, hornblenda
- b) Accesorios: Biotita, magnetita, zircón.

La edad radiométrica de la roca es de 56.8 ± 2 millones de años.

Pórfido Dacítico – Cuarzo Monzonítico

Se le dio esta denominación porque la unidad litológica varía muy gradualmente de un pórfido dacítico hacia un cuarzo monzonítico.

Se encuentra intruyendo a todas las rocas pre-existentes del área; el cuerpo principal de dicho intrusivo es un pequeño stock con paredes fuertemente inclinadas, son frecuentes también los diques de esta roca. En las proximidades al cuerpo principal de pórfido, las rocas encajonantes se hallan fuertemente alteradas, llegando a extremos donde ya no se reconoce la textura original. Los contactos donde es posible reconocerlos, son netos y muestran evidencias de una intrusión pasiva.

La roca es de color gris, porfirítica, en la que destacan los fenocristales anhedrales de 1 á 5 mm. de plagioclasa (An30-45), cuarzo y biotita en una pasta microcristalina clara (granofírica), de cuarzo y ortosa. Se hace resaltar lo siguiente: en profundidad la roca grada hacia un pórfido granodiorítico de grano más grueso y en las partes más altas hacia un pórfido de grano fino.

De todas las unidades litológicas de Cerro Verde es ésta la que presenta la mayor variación en las alteraciones (todas las observadas).

Metasomatita Hidrotermal

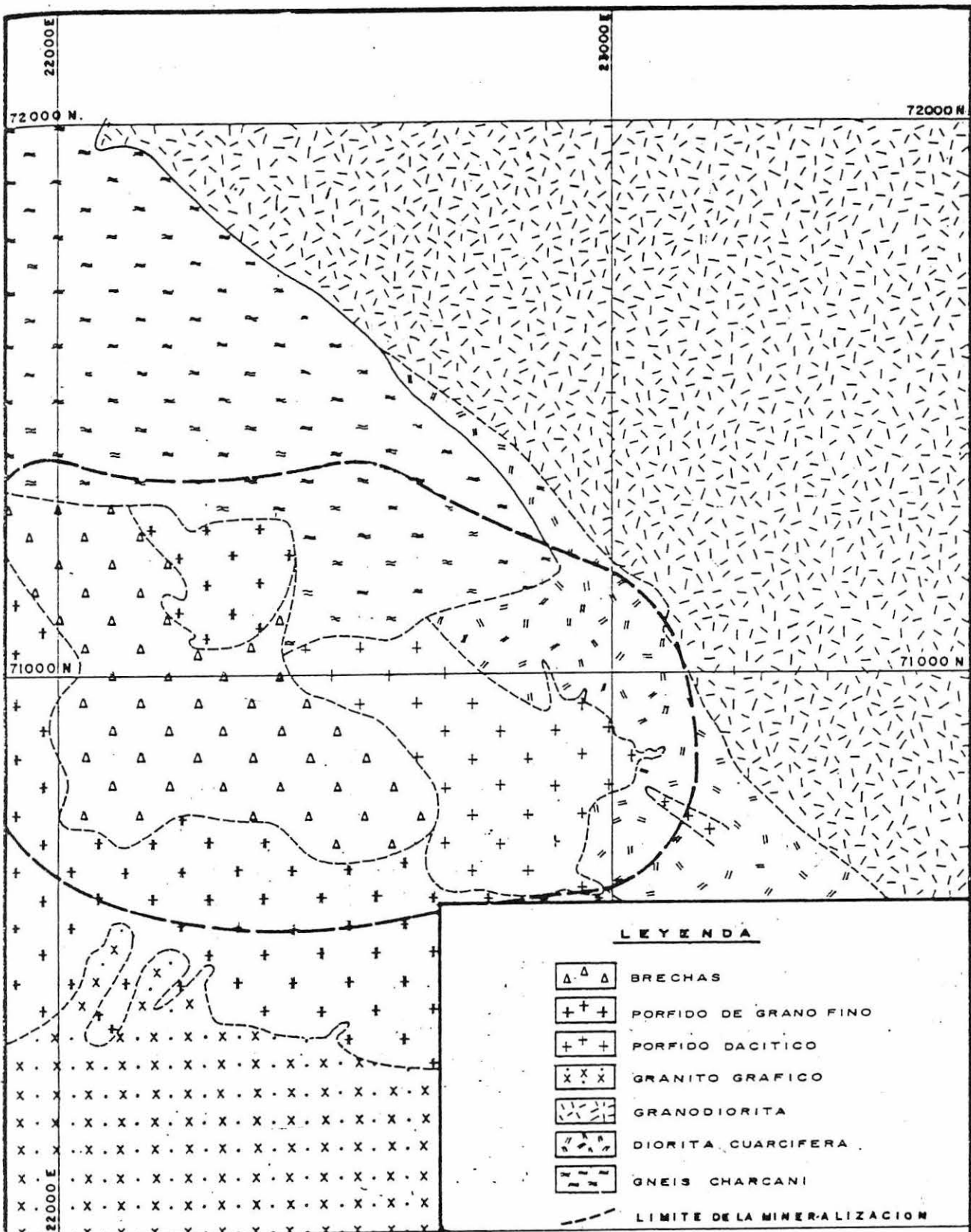
Aflora en la zona comprendida entre el pórfido dacítico, la diorita cuarcífera y el gneiss; se caracteriza por:

Texturalmente es una roca de grano fino a medio, cuyos componentes en más del 90% son secundarios (productos de alteración hipógena); su color es variable del gris verdoso al blanco, su mineralogía es esencialmente cuarzo-sericita en algunas zonas (la mayor parte) y cuarzo-ortosa o cuarzo-biotita en otras. Algo muy particular en esta "unidad" rocosa, es que tiene texturas diferentes, existiendo desde las caóticas brechoides hasta las equigranulares granofíricas, gradando todas ellas hacia las texturas de las unidades litológicas más próximas.

Evidencias de campo y microscópicas indican que la metasomatita descrita, proviene de la alteración, con deformación textural extrema de la diorita cuarcífera, el pórfido y el gneiss, en otras palabras no es una unidad litológica diferente sino simplemente un producto de alteración de las rocas mencionadas.

Brechas

En las partes más altas de Cerro Verde aflora un gran pipe de brecha, de forma elíptica en superficie, con su eje mayor de aproximadamente 1,000 m. y de rumbo NW;

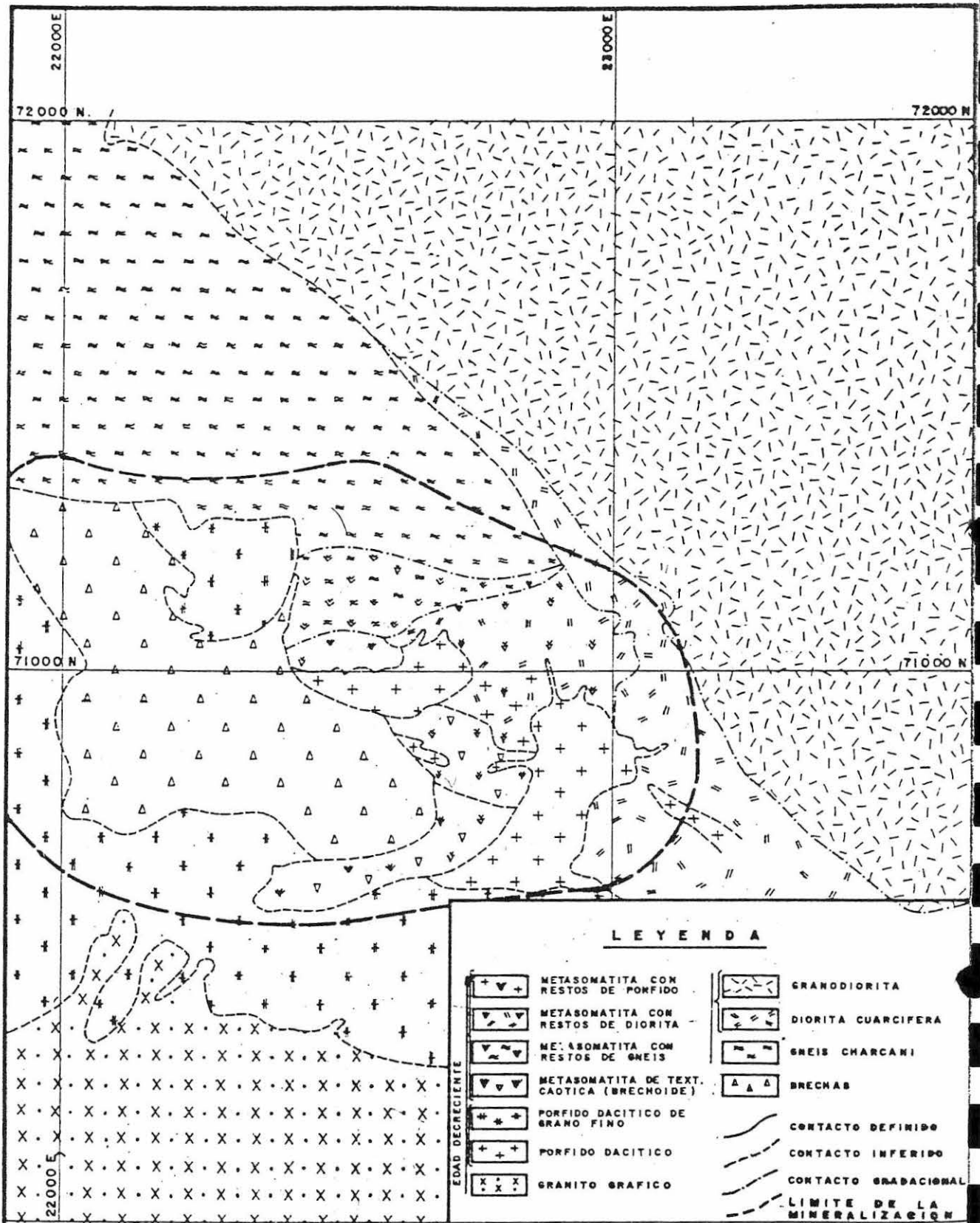


MINERO-PERU
 PLANO LITOLOGICO GENERALIZADO
 SIN ALTERACIONES DE
 CERRO VERDE

ESCALA 1:10000

POR: A. KIHEN
 JULIO-1974

FIG:1



MINERO-PERU
PLANO GEOLOGICO GENERALIZADO
DE CERRO VERDE

ESCALA 1:10000

POR: A. KIHEN
 JULIO - 1974

FIG. 2

ALTERACION MINERALIZACION CERRO VERDE

las paredes del cuerpo de brecha son fuertemente inclinadas y convergentes hacia abajo. Además del cuerpo principal de brecha afloran numerosos diques de esta roca en toda el área.

En todo este complejo se encuentran tres tipos de brechas, las cuales de la más joven a la más antigua son:

- Brecha turmalinífera
- Brecha cuarcífera
- Brecha de cuarzo y dumortierita.

Brecha Turmalinífera

Constituye la mayor parte del gran cuerpo de brecha. Se caracteriza por ser una roca muy dura y resistente a la erosión, constituida por fragmentos subangulosos a subredondeados de pórfido, diorita cuarcífera, granodiorita, gneiss y otros no reconocidos cuyos tamaños predominantes van de 3 á 15 cm. englobados en una matriz microgranular oscura, de cuarzo y turmalina.

Posee mineralización económica de cobre pero únicamente en forma de sulfuros y en las zonas profundas.

Brecha Cuarcífera

Aflora en la parte más alta de Cerro Verde; es una roca muy dura, constituida por fragmentos subangulares a subredondeados de cuarzo de 1 a 20 cms., englobados en una matriz de cuarzo microgranular. No se ha encontrado mineralización económica de cobre en esta brecha.

Brecha Dumortierítica

Es la menos abundante de las brechas, aflora al lado de la cuarcífera en la parte central del pipe.

Se caracteriza por ser una roca muy dura, de color azul violeta claro, constituida por fragmentos subredondeados de cuarzo, de 1 á 5 cms. englobados en una matriz microgranular de cuarzo y dumortierita. Un rasgo muy notorio en esta roca es que los fragmentos no tienen límites netos con respecto a la matriz, lo que indica que ha habido asimilación o reacción de borde. No se ha encontrado mineralización de cobre en esta roca.

En las secciones adjuntas se muestran las alteraciones descritas arriba; (fig. 5 y 9); en todas ellas se notará claramente que la alteración potásica se encuentra aproximadamente en la parte media, rodeada por la zona de alteración fílica y esta última a su vez por la propilítica; se aprecia que en la mayoría de los casos no existe la simetría observada en otros pórfidos de cobre. El rumbo del eje mayor de alteración, es NW.

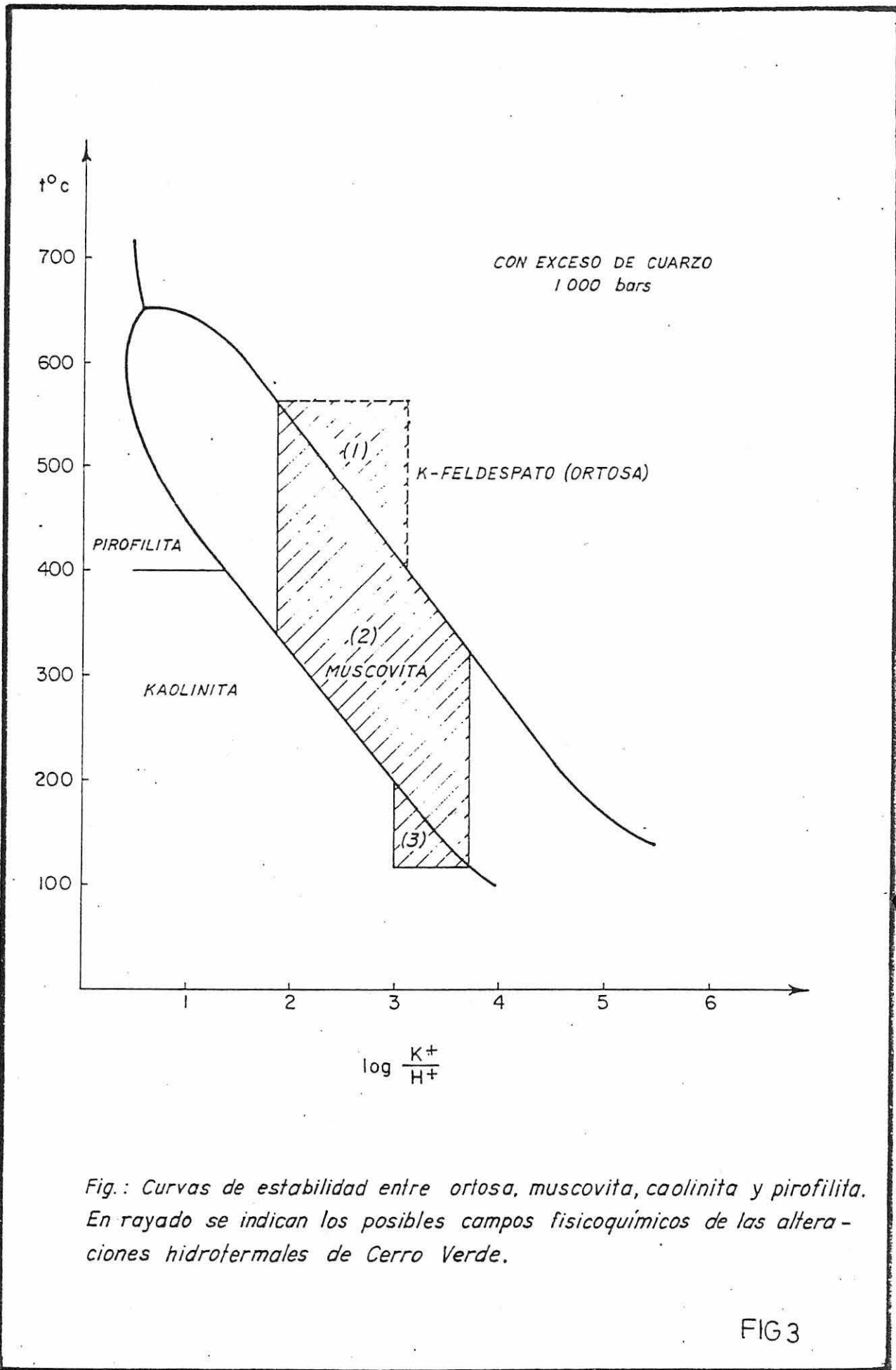


Fig.: Curvas de estabilidad entre ortosa, muscovita, caolinita y pirofilita. En rayado se indican los posibles campos fisicoquímicos de las alteraciones hidrotermales de Cerro Verde.

DIAGRAMAS COMPOSICIONALES DE LAS DIVERSAS ALTERACIONES OBSERVADAS EN CERRO VERDE

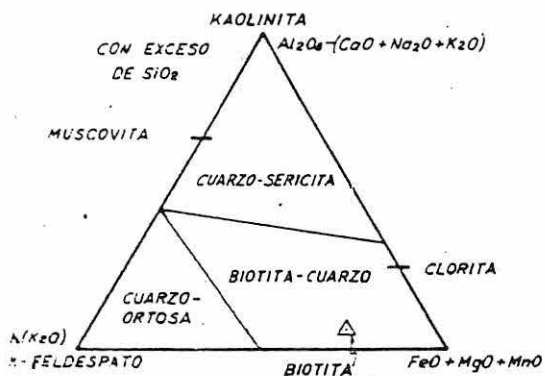


Fig: Diagrama mostrando 3 asociaciones presentes en Cerro Verde.



Fig: (1) campo composicional de la asociación cuarzo-ortosa. (2) campo composicional de la asociación biotita-cuarzo.

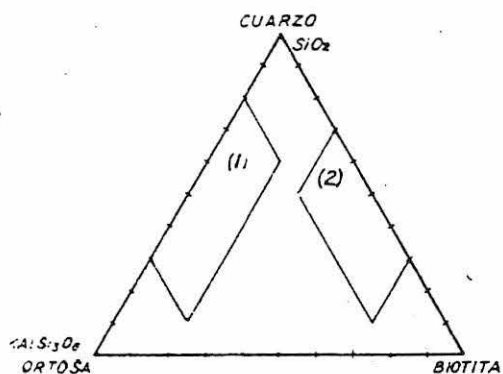


Fig (1) Campo composicional de la asociación cuarzo-ortosa. (2) campo composicional de la asociación biotita-cuarzo.

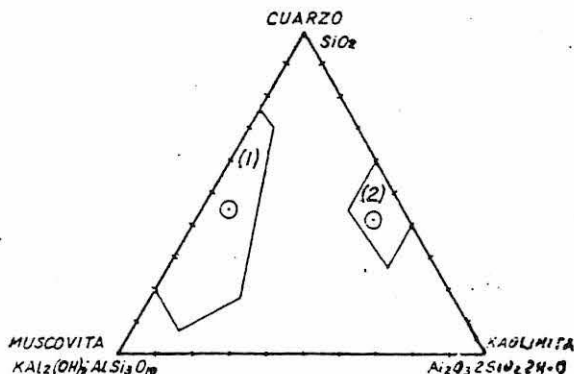


Fig: (1) campo y \odot promedio composicional de la asociación cuarzo-sericita de 55 muestras estudiadas. (2) campo y \odot promedio composicional de la asociación cuarzo-kaolinita de muestras estudiadas.

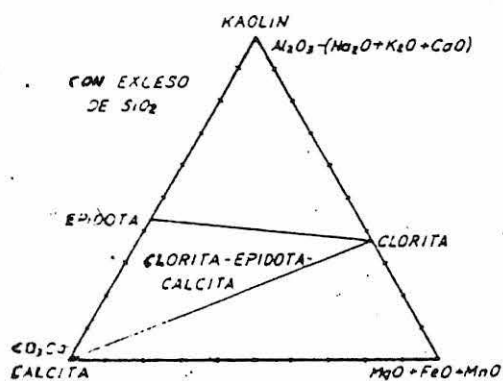
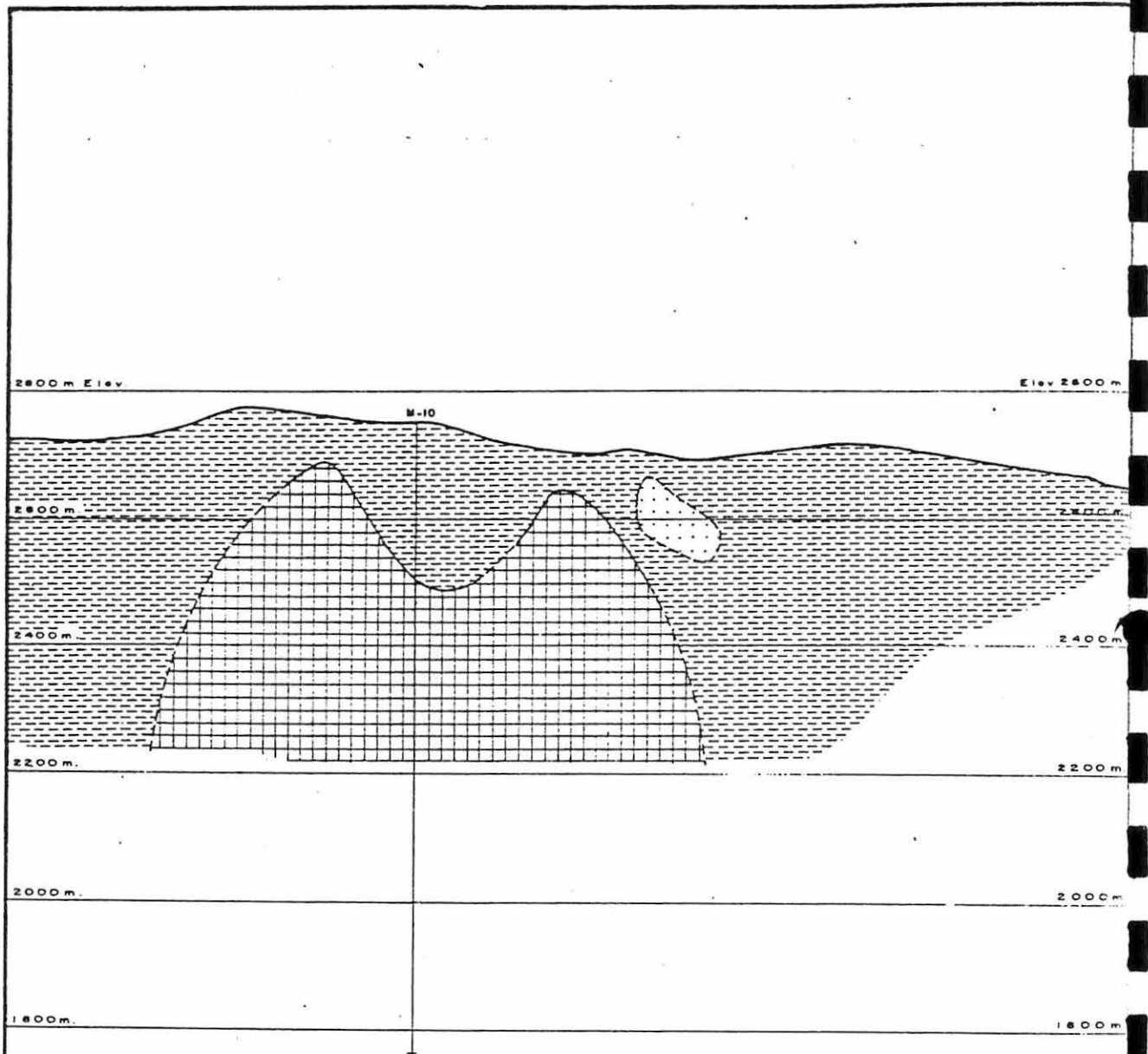


Fig Diagrama de compatibilidad para el tipo de alteración propilitica. En el campo clorita-epidota-calcita se encuentra la asociación de Cerro Verde.



Fig: (1) camp. y \odot promedio composicional de la asociación propilitica clorita-epidota-calcita de muestras estudiadas.



MINERO-PERU
CERRO VERDE

ESCALA 1:10000
 POR: A. KIHLEN

SECCION DE ALTERACION A-A'
 MIRANDO AL NORESTE

LEYENDA




-  PROPILITICA
-  FILICA
-  POTASICA

FIG. 5

ALTERACION MINERALIZACION CERRO VERDE

En la figura 3, se muestran los posibles campos físico-químicos de la ortosa, muscovita y calolinita, para el caso de Cerro Verde; como es sabido, dichos minerales son críticos y determinantes para delimitar zonas de alteración, cuando se presentan en ciertas proporciones.

ALTERACIONES

En el depósito de Cerro Verde se han reconocido los siguientes tipos de alteraciones:

TIPO DE ALTERACION	ASOCIACION PREDOMINANTE	MINERALES METALICOS PREDOMINANTE
SILICIF. COLOIDAL (Supérgena?)	Opalo, calcedonia, arcilla	Limonitas
ALUNITA (Supérgena)	Cuarzo, sericita, alunita , arcilla	Limonitas
PROPILITICA (Hipógena)	Clorita, epídota, calcita y comp. orig. de la roca	Pirita
ARGILICA (Hipógena y supérgena con zonas silicificadas)	Arcilla, cuarzo, sericita	Oxid. de Cu., pirita, chalcocita, limonita
FILICA o sericítica-cuarzosa. (Hipógena y supérgena) con zonas de intensa silicificación hipógena).	Cuarzo, sericita	Chalcocita, pirita, chalcopirita, óxidos de Cu.
POTASICA (Hipógena exclusivam.) con zonas de intensa silicificac. hipógena.	1) Cuarzo – ortosa 2) Biotita – cuarzo	cp. py, molibdenita cp. py, magnt. molibdenita, radio cp: py ≥ 1

ALTERACION HIPOGENA ZONA POTASICA

La zona potásica se encuentra ubicada aproximadamente en la parte media del área de alteración hidrotermal (Fig., 5 y 9), la misma que se caracteriza por la presencia de biotita, ortosa y cuarzo, como componentes mayores o esenciales y sericita como acompañante menor siempre presente. Característica notoria en este yacimiento es que se presentan dos asociaciones mineralógica y texturalmente diferentes dentro de la misma zona; lo observado es lo siguiente:

a) En las áreas próximas o mejor dicho resultantes de la alteración del pórfido dacítico-cuarzomonzonítico, predomina ampliamente la asociación ortosa-cuarzo.

b) En las áreas resultantes de la alteración del gneiss y la diorita cuarcífera predomina la asociación biotita-cuarzo.

ASOCIACION ORTOSA CUARZO

Roca de color rosáceo a gris rosáceo, con cuarzo y ortosa como componentes esenciales, de textura en su mayor parte caótica, con aspecto brechoso, dado por las concentraciones de ortosa englobadas en cuarzo y viceversa; tanto venas de cuarzo como de ortosa de 0.1 a 5 cm. con diferentes orientaciones y de diferentes generaciones; muchas de ellas asociadas a sulfuros entrecruzan la roca. A continuación se describen las características más saltantes de los minerales mencionados.

Ortosa: Se presenta de las siguientes formas:

a) Como cristales anhedrales de 0.2 a 1 mm., formando agregados tipo mosaico de ortosa, de textura en su mayor parte caótica, con aspecto brechoso, dado por la presencia de ortosa prácticamente pura, los que se encuentran distribuidos a manera de manchas o plaques en toda la roca.

b) Como granos anhedrales muy pequeños (0.2 mm) con los bordes suturados, de aspecto nebulósico formando agregados microgranulares, en algunas zonas de prácticamente pura ortosa y en otras de ortosa, cuarzo y sericita u ortosa, cuarzo, biotita.

c) Como manchas grandes con textura poiquilítica (muy poco frecuente).

d) En venillas, generalmente asociada a cuarzo y sulfuros.

e) En agregados de pequeños granos informes, de bordes completamente

indefinidos, a tal punto que es difícil precisar donde termina un grano y comienza otro, todos ellos con gran cantidad de sericita incluida; en general estos agregados tienen un aspecto nebulósico.

En todos los casos presenta superficie turbia a luz paralela y ausencia de maclas.

Cuarzo: Se presenta siempre en forma de microgranos completamente irregulares, con los siguientes modos de ocurrencia:

a) En agregados microgranulares de puro cuarzo;

b) En agregados microgranulares con ortosa y sericita

c) En venillas.

En el último caso con frecuencia asociado a sulfuros.

Como componentes menores y/o accesorios están: sericita, arcillas, biotita, clorita, plagioclasa, anhidrita y yeso, éstos dos últimos preferentemente en venillas. Entre los minerales metálicos de importancia están presentes: calcopirita mayor que pirita, amb

ALTERACION MINERALIZACION CERRO VERDE

predominantemente diseminados, molibdenita en cantidades menores, principalmente en venillas.

ASOCIACION BIOTITA - CUARZO

Como se indica en la asociación la biotita y el cuarzo son los componentes más abundantes de la roca, la cual es de color gris oscuro a negro, con textura sacaróidea fina; la clorita es un acompañante que en algunas zonas llega a ser esencial en la roca.

Biotita: Se presenta siempre en forma de pequeños cristales subhedrales y anhedrales, de tamaños por lo general menores de 0.1 mm., de color variado aunque siempre predominando los verdes y marrón verdosos, con pleocroísmo de fuerte, a moderado, pero menor que el de una biotita primaria; los diferentes modos de ocurrencia observados son:

- a) En agregados microgranulares afieltrados, (en forma de nidos) como mineral ampliamente predominante, asociado a sulfuros (sobre todo de cobre) y cuarzo; en algunos casos estos agregados contienen fenocristales de plagioclasa hipógena.
- b) Asociada íntimamente a clorita (mineral al que se altera) y sulfuros de cobre.
- c) En agregados microgranulares con cuarzo y/o plagioclasa y menor ortosa.
- d) Diseminada en toda la roca.
- e) En venillas.

En todos los modos de ocurrencia mencionados, relacionada a sulfuros y con frecuencia parcialmente alterada a clorita y epidota.

Cuarzo: Con la misma forma, tamaño y modos de ocurrencia que el descrito en la asociación cuarzo-ortosa

Clorita: Siempre íntimamente asociada a biotita, mineral al que por lo general reemplaza pseudomórficamente, la relación espacial de este mineral con los sulfuros es muy estrecha, a tal punto que es frecuente ver intercrecimientos e inclusiones de sulfuros en la clorita.

Como componentes menores, se encuentran epidota, ortosa, anhidrita y yeso, éstos tres últimos preferentemente en venillas. Entre los metálicos están presentes: calcopirita en mayor contenido que pirita, ambos de preferencia finamente diseminados y asociados

a biotita y clorita (el contenido total de sulfuros en promedio es $\cong 50\%$; magnetita diseminada y en concentraciones a manera de nódulos o manchas, siempre de grano muy fino e íntimamente asociado a biotita; molibdenita en pequeñas cantidades, principalmente en venillas, asociada al cuarzo.

ZONA FILICA

Es la alteración que abarca mayor área; se la encuentra rodeando a la zona de alteración potásica, (figs. 5 y 9) reconociéndose con cierta facilidad, por el blanqueamiento que tienen las rocas con dicha alteración. Se caracteriza por tener como

constituyentes esenciales a cuarzo y sericita, siendo su textura en general microgranular.

Cuarzo: Existen dos tipos de cuarzo bien diferenciados:

- 1) Microgranular, ocurriendo de los siguientes modos:
 - a) En agregados densos de casi puro cuarzo.
 - b) En agregados densos asociado a sericita
 - c) Como granos dispersos en toda la roca.

La mayor parte de este cuarzo no fue aportado por las soluciones, sino es un producto resultante de las reacciones que dan lugar a la sericita a partir de los feldespatos y biotita.

- 2) Constituyendo venas y venillas que entrecruzan la roca, muchas de ellas asociadas a sulfuros; este tipo de cuarzo, en su mayor parte, es aportado por las soluciones hidrotermales.

Sericita: En general se presenta en forma de microescamitas, formando agregados densos, los cuales en los casos de menor obliteración textural, poseen orientación y conservan los contornos del mineral original, pudiéndose determinar si la sericita proviene de biotita, plagioclasa, ortosa, etc. En los casos de sericitización extrema, ésta se encuentra englobando a todos los demás componentes presentes y no se reconoce ni las formas de los minerales originales.

Como componentes menores de la roca están presentes arcillas y como accesorios turmalina, clorita y otros esporádicos; entre los metálicos están, pirita en contenido del 8% al 80%; calcopirita de 0.5 a 20%; cantidades muy pequeñas de molibdenita y trazas de esfalerita; galena y cobre gris; todos ellos finamente diseminados y en menor proporción en venillas (En Fig. 4 se muestra el campo y promedio composicional de la asociación).

En cuanto a los minerales supérgenos que se encuentran en esta zona, tenemos:

- a) Limonitas de diversos tipos de la zona lixiviada.
- b) Brocantita, otros sulfatos, cloruros, cuprita, cobre pitch, crisocola, y algunos otros no identificados, en la zona de óxidos.
- c) Calcocita y cantidades muy pequeñas de covelita, en la zona de enriquecimiento supergénico.

Prácticamente la totalidad de óxidos y sulfuros supergénicos se encuentra en esta zona (fílica).

La intensidad de alteración en la zona varía desde rocas donde es posible reconocer la textura original, hasta aquellas compuestas exclusivamente por un agregado microgranular de sericita y cuarzo, donde no quedan restos de la textura original reconocibles.

SILICIFICACION:

En todas las alteraciones de Cerro Verde existe exceso de sílice, es decir e

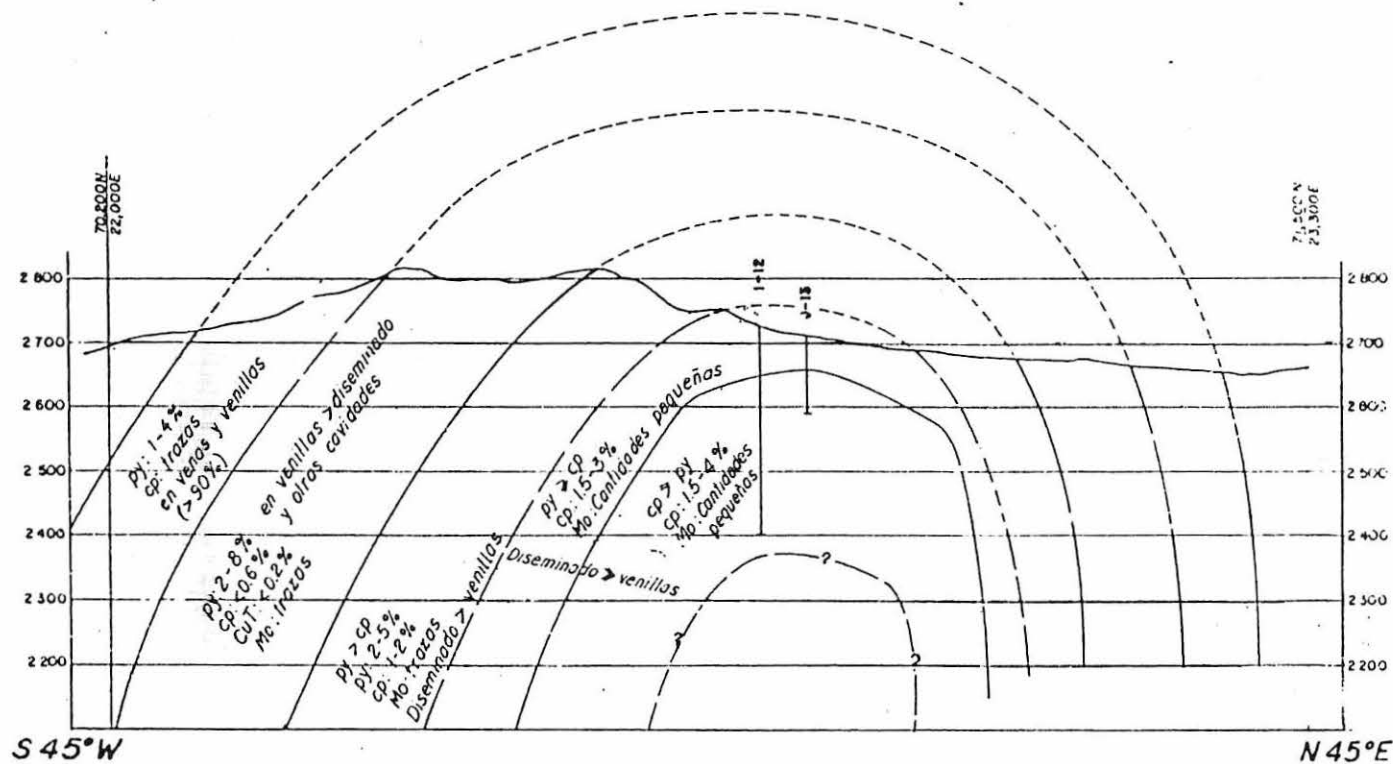


Fig. 8 SECCION 22: Obsérvese el zonamiento aproximadamente concéntrico y algo asimétrico de los sulfuros. Mayor cantidad de sulfuros y con distribución mas amplia existen hacia el SW del centro de la estructura (J-13). Comparando esta sección con su correspondiente de alteración se encontrará una estrecha relación.

FIG. 6

diferentes grados, la silicificación siempre está presente como parte del proceso, sea potásico, fílico, etc. Se hace mención especial por la importancia económica del mismo: lo observado es lo siguiente:

Tanto en la zona fílica como en la potásica el incremento de silicificación ya sea en forma de venillas pervasivas o de agregados irregulares de cuarzo, coincide con un incremento de calcopirita.

AREAS ARGILICAS

En todo el área de Cerro Verde no existe una zona donde los minerales del grupo de las arcillas sean predominantes, o lleguen a constituirse como esenciales en la roca, razón por la cual no existe una zona netamente argílica; lo que si es frecuente encontrar, son áreas dentro de otras zonas de alteración, donde la arcilla se encuentra en cantidades considerables, siendo en su mayor parte del grupo de la caolinita.

Por no existir una zona netamente argílica es que no se describen características mineralógicas, sobre todo las referentes a esenciales y metálicos; lo que si resalta es que la mayor parte de las áreas arcillosas caen dentro de la zona de alteración fílica.

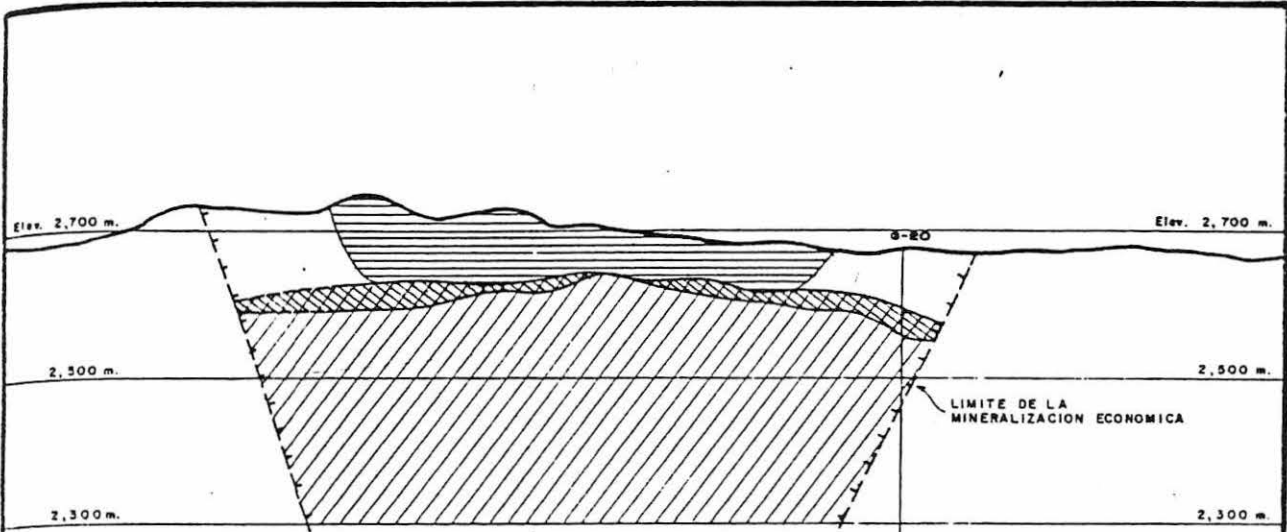
Es notorio el hecho de que las arcillas observadas se encuentran en su mayor parte en las proximidades a superficie; cuando se las encuentra en profundidad están por lo general relacionadas a fracturas, razón por lo que se piensa, la mayor parte de ellas son de origen supérgeno.

ZONA PROPILITICA

Se encuentra bordeando la zona de alteración fílica, pasando en forma gradual por sus márgenes hacia la roca fresca. Las rocas que poseen este tipo de alteración, son en general verdosas y tienen las siguientes características mineralógicas: la biotita y hornblenda, alteradas a clorita, epidota, pirita, menor calcita, leucoxeno y esfena; parte de las plagioclasas alteradas parcialmente a epidota-calcita y menor clorita; la ortosa fresca o muy levemente argilizada. Entre los minerales metálicos están presentes: pirita principalmente en venillas (del 1 al 40/o); calcopirita en cantidades pequeñas (no económicas), magnetita como mineral original de la roca en parte piritizada. En las figuras 7 y 9 se muestra el campo y promedio composicional de la asociación hipógena.

En las proximidades a la zona fílica la propilitización es más avanzada y las plagioclasas se hallan parcialmente sericitizadas por los planos de maclado y clivaje; en las proximidades a la roca fresca en cambio, se encuentran la mayoría de las plagioclasas bien frescas, restos de biotita y hornblenda y menor cantidad de sulfuros.

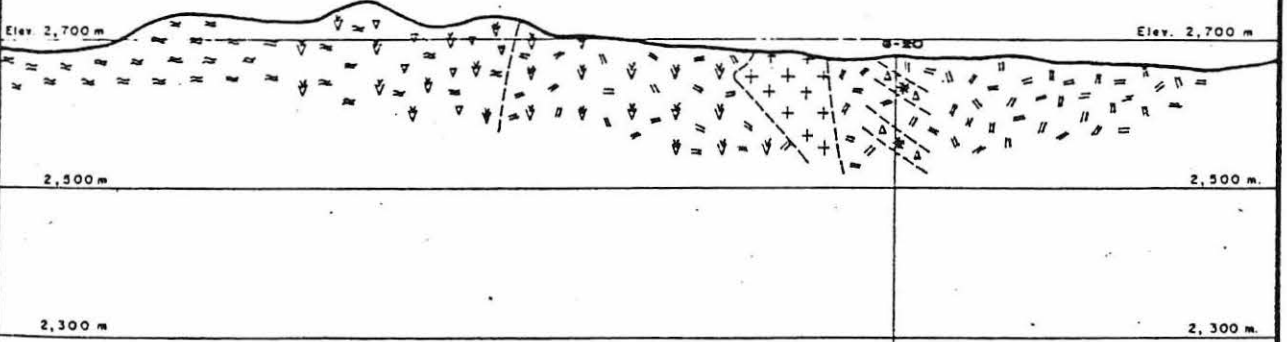
En cuanto a los minerales supérgenos que se encuentran en esta zona, tenemos limonitas de pirita en la zona lixiviada, cantidades no económicas de óxidos de cobre y calcocita en las zonas de oxidación y enriquecimiento respectivamente.



SECCION DE MINERALIZACION B-B'

LEYENDA

- | | | | |
|---|--------------|---|------------------|
|  | ZONA ESTERIL |  | ZONA ENRIQUECIDA |
|  | ZONA OXIDOS |  | ZONA PRIMARIA |



SECCION LITOLOGICA B-B'

MINERO-PERU
CERRO VERDE
ESCALA 1:10000

LEYENDA
















- | | | | | | | |
|--|---|---|---|---------------------------|---|---------------------------------|
| EDAD DEL RECIENTE
↑
CRETACEO SUPERIOR
A TERCIANO INFERIOR |  | METASOMATITA |  | MET CON RESTOS DE DIORITA |  | BRECHA DE CUARZO Y SERICITA |
| |  | PORFIDO DACITICO DE GRANO FINO (FUERTEMENTE ALTERADO) |  | MET CON RESTOS DE PORFIDO |  | METASOMATITA DE TEXTURA CAOTICA |
| |  | PORFIDO DACITICO GRACANOS A CUARZO-MONZONITICO |  | MET CON RESTOS DE GNEIS |  | BRECHA TURMALINIFERA |
| |  | GRANODIORITA YARABANA |  | MET CON TEXTURA CAOTICA |  | MICRODIALCAMIENTO |
| |  | DIORITA CUARCIFERA | | | | |
| |  | GNEIS | | | | |
| |  | | | | | |

FIG 7

ALTERACION SUPERGENA

Existen muchas evidencias que indican que gran parte de la alteración existente en las zonas de lixiviación, oxidación y enriquecimiento secundario, es de origen supérgeno. En base a la presencia y abundancia de ciertos minerales y a texturas características se han podido diferenciar los siguientes tipos de alteración supérgena: alunitización y silicificación coloidal, sericitización y menor argilización.

ALUNITIZACION Y SILICIFICACION COLOIDAL

Se los describe juntos porque generalmente están ocupando las mismas áreas y asociadas.

La alunita se presenta en forma microgranular, finamente diseminada y rellenando fracturas, en este último caso casi siempre íntimamente mezclada con arcilla y sílice coloidal. El criterio más importante que se utiliza para afirmar que este mineral es supérgeno, es que únicamente se encuentra en la zona lixiviada y en raros casos penetra en la zona de oxidación, de tal manera que la desaparición de las limonitas en profundidad, coincide con la desaparición de alunita; en otras palabras únicamente está presente donde existen limonitas, siendo la más frecuente entre estas últimas la jarosita.

Otra característica importante, es que las fracturas y microfrazuras que rellena son posteriores a todos los componentes hipógenos.

La sílice coloidal tiene modo de ocurrencia muy similar a la alunita (generalmente rellenando fracturas y otros tipos de cavidades), pero se la encuentra hasta en niveles más profundos, incluyendo la parte superior de la zona de sulfuros primarios. En cuanto al color que presenta es muy variable, existiendo sílice pardo amarillenta, gris, verdosa, blanca, marrón, roja, rosada, etc., casi siempre asociada a arcilla.

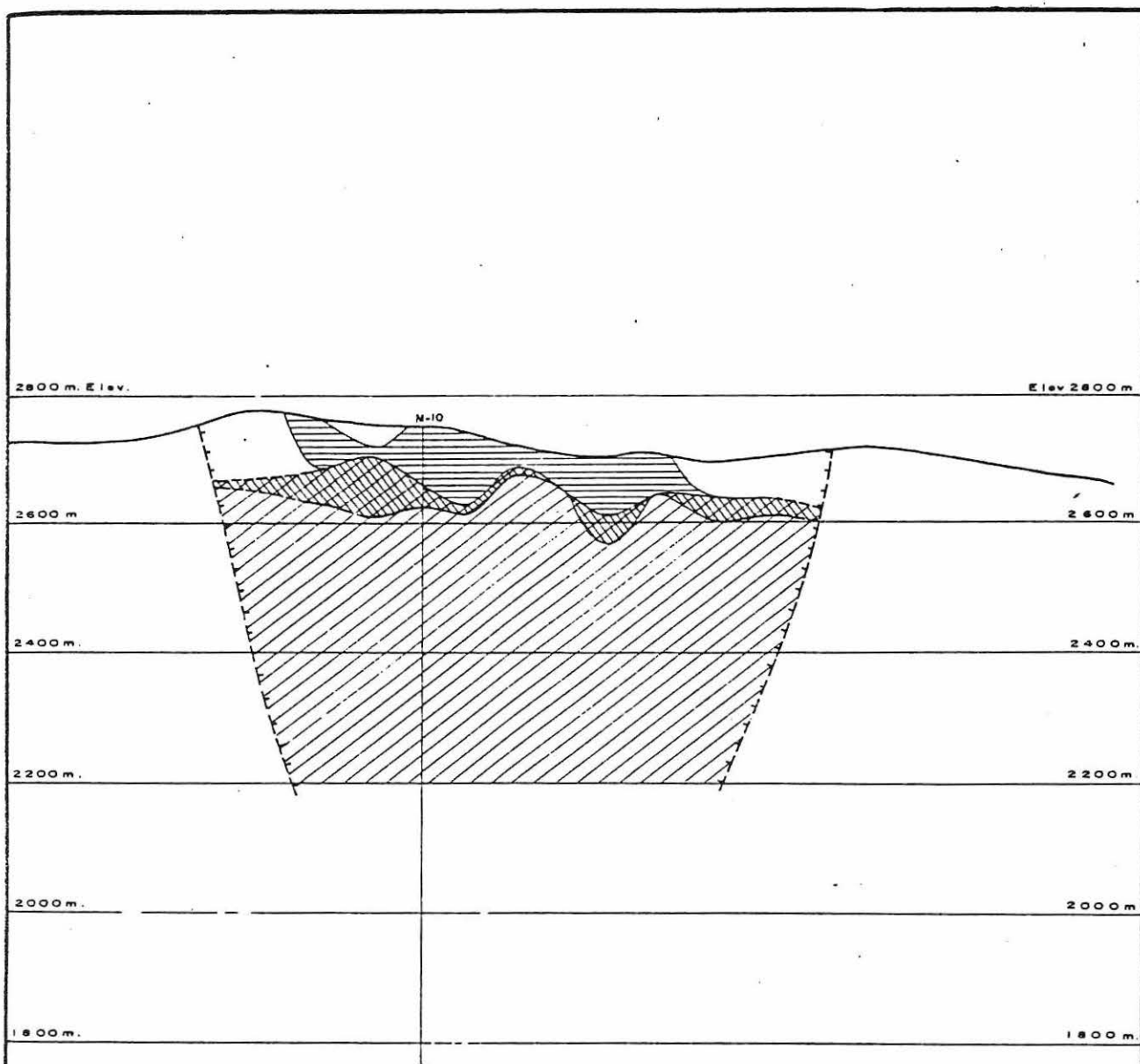
En lo referente a la ubicación de los minerales descritos es saltante el hecho de que en Cerro Verde, únicamente se encuentran en los niveles topográficos más elevados, donde además la roca es más permeable que en las zonas bajas; esto último favoreció mucho la circulación de soluciones ácidas, las que permitieron la solubilidad de ciertos silicatos, con la correspondiente formación de arcillas y/o sericita y la liberación de SiO_2 , K_2O y Al_2O_3 , éstos dos últimos necesarios para la formación de alunita.

Por otro lado, existe una estrecha relación litológica (control) entre el pórfido y la alunita, ya que ésta se encuentra en su mayor parte en las zonas altas del pórfido dacítico-cuarzomonzónico.

Sericitización:

Se piensa que parte de la sericita existente en Cerro Verde es supergena por lo siguiente:

- a) En las zonas de lixiviación, oxidación y enriquecimiento, la cantidad de sericita








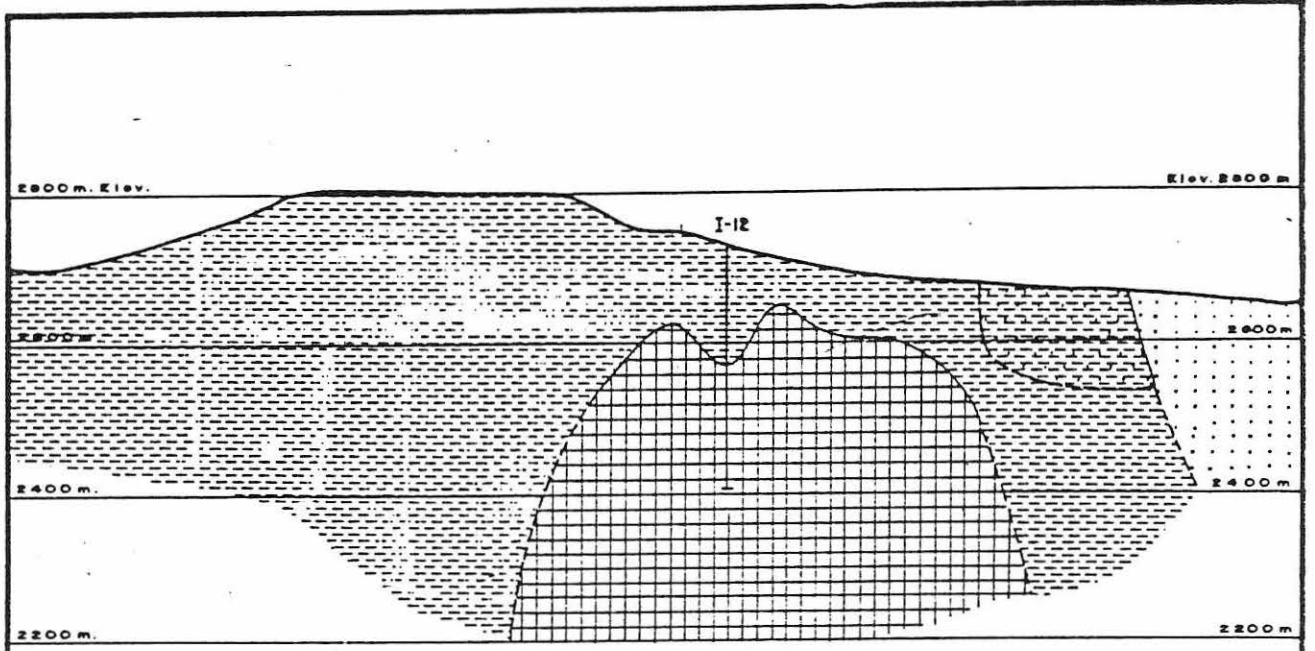
MINERO-PERU
CERRO VERDE

ESCALA 1:10000
 POR: A. KIHLEN

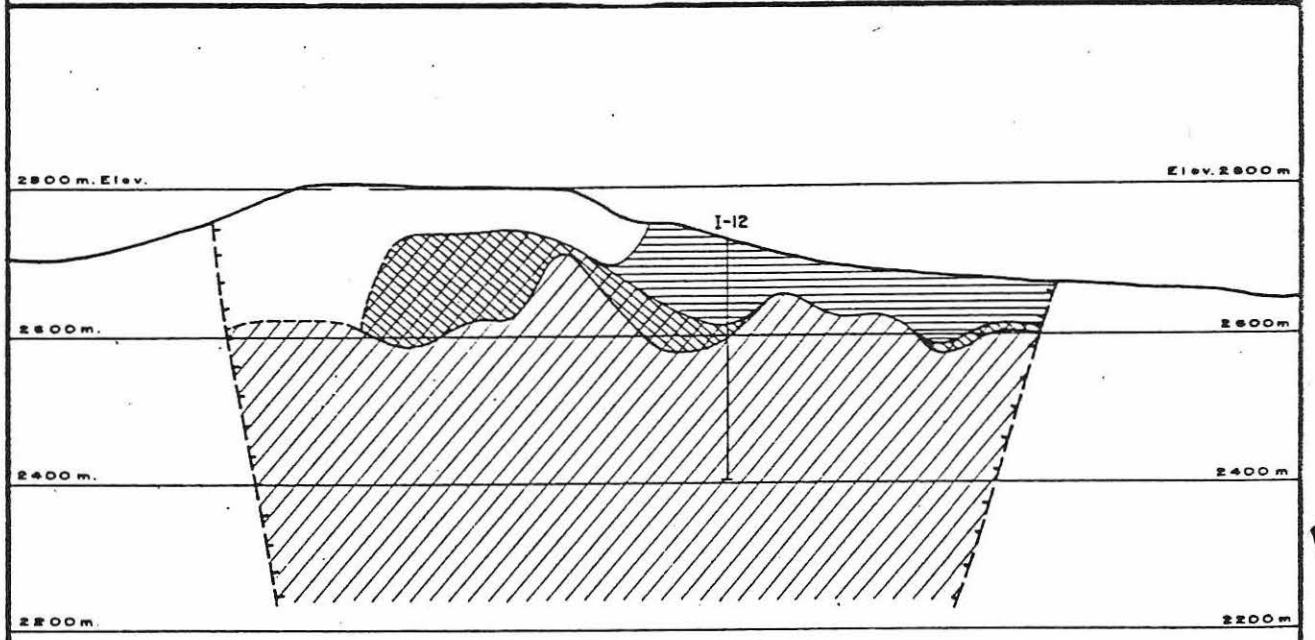
SECCION DE MINERALIZACION A-A'
 MIRANDO AL NORESTE

LEYENDA

-  ZONA ESTERIL
-  ZONA DE OXIDOS
-  ZONA ENRIQUECIDA
-  ZONA PRIMARIA
-  LIMITE DE LA MINERALIZACION ECONOMICA



SECCION DE ALTERACION C-C'
MIRANDO AL NOROESTE



SECCION DE MINERALIZACION C-C'
MIRANDO AL NOROESTE

MINERO-PERU
CERRO VERDE
ESCALA 1:10000

LEYENDA









MINERALIZACION		ALTERACION	
	ZONA ESTERIL		PROPILITICA
	ZONA DE OXIDOS		FILICA
	ZONA ENRIQUECIDA		POTASICA
	ZONA PRIMARIA		LIMITE DE LA MINERALIZACION ECONOMICA

FIG 9

es mayor que en la zona de sulfuros primarios, existiendo un cambio brusco, en color, densidad y cantidad de sericita en la roca, cuando se pasa de cualquiera de las zonas supergenizadas (roca bien blanqueada y poco densa) hacia la zona de sulfuros primarios (roca siempre más oscura, con menor contenido relativo de sericita y más densa).

b) En ciertos testigos de taladros, se observa que la textura macroscópica de la roca en superficie y próxima a ella es la misma que la que posee en profundidad (en la zona de sulfuros primarios), pero su composición es sericita-cuarzo, con restos de ortosa en el primer caso y ortosa-cuarzo en el segundo; esto indica a las claras que la alteración original fue potásica hasta superficie, pero que posteriormente hubo sericitización de la ortosa, justamente en las zonas supergenizadas.

c) En los intrusivos de pórfido dacítico-cuarzomonzónico, existen áreas donde en las partes superiores (supergenizadas) hay abundante sericita y en las profundas (zonas de sulfuros primarios) la roca únicamente está propilitizada; estos rasgos son contradictorios, ya que lo normal en la alteración hipógena es que la intensidad aumente con la profundidad; fácilmente explicable es en cambio, si pensamos que la roca en estas áreas originalmente estuvo propilitizada hasta superficie y posteriormente por la intensa actividad de soluciones ácidas supergénicas se produjo la sericitización de los feldspatos (se hace notar que la cantidad de pirita en estas zonas es alta).

Argilización

Características muy similares a las de la probable sericitización supérgena se observan en las zonas con arcilla, pero con desarrollo areal y en volumen bastante más limitado; por otro lado, como ya se mencionó anteriormente los minerales arcillosos en su mayor parte se hallan exclusivamente en zonas afectadas por alteración supérgena.

MINERALIZACION HIPOGENA DE SULFUROS Y SU RELACION CON LA ALTERACION

Antes de empezar a tratar sobre el tema se aclara, que para la delimitación de las diferentes zonas, se ha tomado en cuenta preferentemente la ocurrencia y cantidad de pirita y chalcopirita, por ser ellos por mucho los más abundantes.

En la mineralización hipógena de sulfuros al igual que en la alteración se ha observado un zonamiento tanto vertical como horizontal, con un modelo aproximadamente concéntrico, tal como el que se muestra en la Fig. 6; en general la simetría que se observa en dicha sección no está presente en todo el depósito, debido a que son dos cuerpos de pórfido decítico los aflorantes, los cuales evidentemente rompen la simetría en sus áreas de influencia.

A continuación se describen las zonas mineralizadas, en las cuales los valores de sulfuros mencionados, son promedios de corridas mínimas de 10 m.

INCENMET
BIENES CULTURALES

54.810 04736

INVENTARIO 1956

GEOLOGY OF TOQUEPALA, PERU

By Kenyon Richard

and James H. Courtright

Toquepala is a porphyry copper deposit in which mineralization is localized by a large breccia pipe formed in close genetic relation to intrusive rocks. The deposit is in southern Peru, 55 airline miles north of the small city of Tacna and the same distance inland from the port of Ilo. Quellaveco and Cuajone, geologically similar deposits, lie 12 and 19 miles north of Toquepala. Chuquicamata is 400 miles to the south.

The deposit is high on the southwestern slope about 20 miles from the crest of the Cordillera Occidental of the Andes Chain. It lies in a mountainous desert where the steep southwesterly slope of the of the Andes is dissected by a succession of rapidly downcutting, deep canyons. Local topography is moderately rugged with a dendritic drainage pattern and an elevation of 8000 to 14,000 ft. Volcanic peaks along the crest of the Cordillera rise over 19,000 ft.

Local precipitation, including a little snow, amounts to about 10 in. during January and February, but general runoff in the region is slight. Throughout southern Peru the springs and streams are widely separated. Crude canals irrigate small farms on terraced slopes along the streams and provide sparse subsistence to the semi-nomadic inhabitants.

During the past decade, engineering and geological explorations of the region, as well as the mineral deposits themselves, have required construction of a network of several hundred miles of roads. Before this, roads extended only a few miles inland. Many areas still can be reached only by trail.

Toquepala was briefly described in 19th century geographical literature as a copper deposit, and it received desultory attention from Chilean prospectors early in the present century. It was first recognized as a mineralized zone of possible real importance by geologist O.C. Schmedeman during an exploration trip for Cerro de Pasco Copper Corp. in 1937. The discovery was late as compared to earlier recognition of Chuquicamata, Potrerillos and Braden of Chile and Cerro Verde of southern Peru. This was due partly to the region's difficult accessibility but principally to the obscure character of the outcrop evidence of copper.

INCENMET
BIENES CULTURALES

54.810

INVENTARIO 1956

From 1938 until 1942 Cerro de Pasco Copper Corp. partially explored the deposit by adits and diamond drillholes. This campaign was supplied by a 60- mule pack train continuously shuttled over a 30-mile trail. Northern Peru Mining & Smelting Co., a wholly owned subsidiary of American Smelting & Refining Co., undertook regional engineering studies in 1945 and drill exploration in 1949. According to published data the deposit contains 400 million tons of open pit ore averaging a little over 1 pct Cu. It is currently undergoing large-scale development by Southern Peru Copper Corp., which is owned by American Smelting & Refining, Phelps Dodge, Cerro de Pasco, and Newmont Mining.

Summary of Geology: The deposit is situated in a terrane composed of Mesozoic (?) and Tertiary volcanic rocks intruded by dioritic apophyses of the Andean Batholith. These formations are exposed in a northwesterly trending belt about 15 miles wide. Along the northeast they are unconformably overlain by Pliocene-Pleistocene pyroclastic rocks, which occupy much of the crest of the Andes, and along the southwest they are covered by the Moquegua formation of Pliocene (?) age.

The mineralized area, oblong in shape and about 2 miles long, has been a locus of intense igneous activity. Several small intrusive bodies having irregular forms occur within and adjacent to a centrally located, large breccia pipe. The mushroom-shaped orebody consists of a flat-lying enriched zone of predominantly chalcocite with a stem-like extension of hypogene chalcocopyrite ore in depth within and around the pipe.

This breccia pipe is relatively large and has been formed by repeated episodes of brecciation. Small satellitic pipes occur at random within a 2-mile radius of this central pipe. These too were individual sourceways of mineralization, although not always of ore grade. Within and around the zone of breccia pipes and mineralization there are a few faults and veins, but these are discontinuous random structures of minor significance. There are no regional or local systems of faults or other planar structures recognized which could account either for the mechanical development of the breccia pipes or for their localization as a group or as individuals.

Hydrothermal alteration is pervasive in the zone of mineralization. Clay minerals appear to be abundant in places, but their percentages are undetermined. Quartz and sericite are the principal alteration products, and in many instances original rock textures are obliterated. The principal sulfides, hypogene pyrite and chalcopyrite and supergene chalcocite, occur mainly as vug fillings in the breccia and as small discrete grains scattered through all the altered rocks.

Sulfide veinlets are relatively scarce. Sulfides are more abundant and alteration is more intense in certain rock units, such as the diorite and most of the breccias.

Although the Toquepala mineral deposit is similar in most respects to the porphyry copper deposits of southwestern U.S., it most closely resembles the Braden deposit of Chile, as described by Lindgren and Bastin. Judging from their statements of the forms and textures of the breccias and their postulations of age relationships, the intrusives, the breccias, and the mineralization of Braden have many counterparts at Toquepala.

Rock Units and Structure: Layered volcanics having a total thickness of more than 5000 ft are the oldest rocks in the area. The lowermost unit is a massive, rhyolitic flow with an exposed thickness of 500 ft, locally named the Quellaveco formation. Its base has not been observed. Lithologically and structurally the formation is similar to the rhyolite porphyry at Cuajone, which Lacy has tentatively assigned to Late Cretaceous. The volcanic sequence, with the various field names assigned, is as follows:

Name	Thickness, Ft	Character
Alta series	3000	Mainly pyroclastics and ignimbrites
Toquepala series	1500	Mainly rhyolite and andesite flows (?)
Major Unconformity	----	-----
Quellaveco quartz Porphyry	500	Rhyolite porphyry flow

Gentle folds occasionally are seen, but regional dips of 5° to 10° SW are persistent. Lenticularity of certain horizons has been noted within the Alta and, more particularly, the Toquepala series. This is explained by minor erosional disconformities. On structural and lithologic grounds the Alta and Toquepala series may correspond to the Tacaza volcanics (Tertiary) of Jenks and Newell. These men have recognized the erosional interval between the Sillapaca and older Tacaza volcanics as an important one in southern Peru and a correlative of McLaughlin's Puna surface is described as "late mature" or "old age". High accordant summits representing this surface are seen a few miles north of Toquepala. Projected to Toquepala this surface may have existed only a couple of hundred feet above the present highest point of the modern surface over the orebody.

This puna surface is believed to have played an important part in the enrichment history at Toquepala.

In the Toquepala region apophyses of the diorite batholith of the Andes intrude the Quellaveco, Toquepala and Alta volcanics and comprise half the surface exposures within a radius of several miles of the mine. Contacts with the flow rocks are discordant and usually sharp but sometimes gradational. There are small-scale irregularities in the shape of the contact, but dikes of diorite are not seen. Composition of the diorite varies somewhat, but a consistent border facies is not apparent. The volcanics seldom show any special, well-defined contact effects due either to metamorphism or structural disturbance, although throughout they have undergone a very low grade, uniform metamorphism. It is inferred that the diorite batholith underlies the entire locality and that it was implaced mostly by assimilation rather than injection.

Within the zone of hydrothermal alteration, the volcanics and diorite are intruded by small stocks and dikes of dacite porphyry. This formation is not found elsewhere in the region. The stocks are steep-sided and notably irregular in shape, although one dike forms an even quarter-ring near the south-east edge of the alteration zone. The form, composition, and spatial connection with the disseminated copper mineralization suggests correlation between this formation and the monzonites of the porphyry copper deposits of western U.S.

A rock termed dacite agglomerate, with the same composition and texture of matrix as the dacite porphyry, intrudes a large volcanic neck and marks the north edge of the ore zone. This intrusive contains abundant small inclusions of dacite porphyry and other material and a few large sunken blocks. The writers class this rock unit as an agglomerate and not a breccia.

The youngest intrusive formation is a group of aphanitic porphyries ranging in composition from andesite to latite and named latite porphyry. They are post-mineral in age. They sometimes occur as small stocks, but mainly as steep dikes. Although most of these intrusive bodies are found within the neck of dacite agglomerate, a small swarm of thin latite porphyry dikes extends southward into the ore zone.

Fractures: Numerous small faults and quartz-tourmaline-sulfide veinlets of random orientation are scattered through the orebody, but these are appreciably less abundant than in most deposits of this type.

Sulfide veins more than 3 in. wide are rare. In only one locality the southern and southeastern area lying inside the dacite -- ring dike is a system of parallel fractures evident. This system of close-spaced veinlets has a trend parallel to the ring dike, being arranged concentrically around the main breccia pipe and dipping steeply toward it.

A few post-mineral faults are present, but these are only minor features in the structural pattern. Displacements of a few feet were noted on two faults cutting layered volcanics along -- the west edge of the zone of alteration. Elsewhere fault planes with a few inches of gouge were occasionally observed, but nowhere in the district do relationships indicate displacements of consequence. This lack of major faulting is clearly evidenced by the undisturbed continuity of marker flows in the region.

Breccias: The writers restrict the term breccia to formations composed entirely of fragmental material in which the fragments have been rotated and displaced, in contrast to rock that has been merely intricately jointed, and also to rock that was -- emplaced in a fused condition.

As shown on the geologic map and and selections, there are two main types of pipe breccia, termed ore and pebble breccia, -- which are texturally distinct and have somewhat different modes of formation. The pebble breccia is characterized by rounded --- fragments, whereas the ore breccia is made up essentially of angular fragments. The matrix of the ore breccia is largely composed of quartz, tourmaline, and sulfides, whereas that of the pebble breccia is a sandy, mud-like material with disseminated rather than vuggy mineralization. In texture and color the pebble -- breccia closely resembles a freshly broken surface of sidewalk -- concrete.

Commonly the ore breccia fragments are all of the same rock type, corresponding to whatever formation lies immediately adjacent, but the main breccia mass contains a large central portion that is characterized by heterogeneity of rock type. Apparently this core of mixed rock fragments represents the conduit within which the most violent disturbances took place, and the surrounding breccia represents the shattered periphery of the pipe, although rotation of fragments is evident in the shattered zone as well as within the central conduit. The outer margins of the breccias in places are indistinct, suggesting that there was a gradual transition to undisturbed rock.

As evidenced by textural features, ore-type brecciation -- took place in a number of episodes, both before and after intrusion of the dacite porphyry.

The mechanics of formation of the Toquepala ore breccia are uncertain, as is the case with most mineralized breccia pipes. However, the occurrence of large masses of angular, mixed fragments without evidence of melting and in an environment -- essentially free of faulting indicates an origin related to -- gaseous explosion. Evidence suggests that the process was episodic. First, there may have been a leak of gas to the ground surface, possibly along a joint system. This leak may have triggered an explosion that evacuated a small tube--a diatreme. Then the tube was filled by avalanching of the walls. Repeated explosion, partial evacuation, and avalanching could then have increased the horizontal dimensions of the pipe to its present large diameter.

Since the pebble breccia consists of hard pebbles in a matrix of rock flour, it would seem to have been produced by a milling action in which the rock fragments were semi-suspended in an actively circulating medium such as water or gas. In this -- state this pebble breccia may have had intrusive mobility, although portions of it may also have been formed more or less in place.

Although appearing on the map as a single unit cutting all formations except latite porphyry, pebble breccia actually consists of intrusions of at least two, and possible three ages. The mapped outline marks, for the most part, a young pebble breccia. The pebble dikes cutting the dacite agglomerate may be -- still younger. Existence of an earlier breccia of the pebbly -- type is indicated by inclusions of a pebble breccia with a mud-like matrix in ore breccia. Because hybrid ore breccia has indistinctive textures and because its distribution is not accurately known, it has not been differentiated from typical ore breccia on the geologic map. It occurs around the pebble pipe, possibly in large masses, and it may constitute deeper portions of the pebble pipe itself.

Late in the sequence of brecciations, a large explosion vent was formed and filled with intrusive dacite agglomerate -- containing large sunken masses of older flow rocks and diorite. This activity removed a large portion of the main breccia pipe.

Alteration-Mineralization: The mineral deposit is areally defined by hydrothermal alteration of all rocks, except latite porphyry, within an elliptical zone enclosing the orebody, as -- shown on the geologic map and sections. The transition to unaltered rock around the margins is gradational rather than sharp, and several small areas of alteration occur outside the main -- zone.

In contrast to most porphyry copper orebodies, which are surrounded by large alteration zones, the Toquepala zone is only slightly larger than the orebody.

The hydrothermal alteration products chiefly assemblages of quartz, sericite, and clay are those characterizing most deposits of the porphyry copper type. Sulfides impregnate all altered, unleached rocks. A major portion of the Toquepala is considered to be strongly altered and is characterized by almost complete conversion to quartz and sericite-clay and partial to complete destruction of original rock textures.

Weaker alteration facies occur mostly near the edges of the deposit away from the breccias. Prior to leaching and enrichment, the areas of stronger alteration contained more sulfides in general and more chalcopyrite in particular.

The most pronounced alteration effect is found in the diorite. The fresh rock is composed of feldspar, ferromagnesian minerals, and minor quartz with a medium granotoid texture, whereas the altered rock consists of a sugary mosaic of quartz and sericite. In contrast, the dacite porphyry usually retains remnants of original texture, the alteration products being more argillaceous.

As in many deposits of this type, the principal hypogene sulfides are pyrite and chalcopyrite, with very minor amounts of such minerals as bornite, molybdenite, and sphalerite. The history of mineralization-alteration at Toquepala, however, is more complex than the average. Earliest mineralization consisted of abundant tourmaline and quartz with minor sulfides. Later, but prior to the intrusion of dacite porphyry, deposition of sulfides and quartz with minor tourmaline began. This continued, with successive interruptions by periods of brecciation and by intrusions. Late in this sequence the formation of the dacite agglomerate-filled vent removed the northeast portion of the ore zone. Subsequent alteration-mineralization was weak, as shown by the feeble nature of its effect on agglomerate.

Irrespective of rock types involved, the ore breccia contains the strongest mineralization. The hybrid ore breccia is somewhat weaker in hypogene copper content, probably due to its mud-like, less permeable matrix. The pebble breccias are still weaker, for the same reason, but contain about the same amount of hypogene copper as does the average protore outside the breccia zone. Among the unbrecciated rocks, diorite was the most receptive and the flow rocks the least. A portion of the dacite porphyry is well mineralized, but elsewhere particularly around the southwest side of the main breccia pipe it is low in copper.

Enrichment: The chalcocite zone, a major part of the open pit orebody, ranges from 500 ft. in thickness in the interior to only a few feet on the fringes. Although irregular in detail its upper surface has a generally flat-lying, sharp contact with the leached zone above. The lower limit is indistinct, the transition to clean primary mineralization being almost imperceptible except in a few instances where the chalcocite terminates abruptly against a gouge slip or a post-ore dike. The highest grade chalcocite ore was formed by enrichment of the zone of strongest primary mineralization, the surrounding protore being overlain by chalcocite ore of moderate grade.

As indicated on Section B of the accompanying map, only a negligible amount of enrichment occurred in the pebble breccia. The relative impermeability to supergene solutions is evident - in the rise in the base of oxidation and the abrupt pinching of the chalcocite zone at the periphery of the pebble pipe.

The leached outcrops at Toquepala are similar in many respects to those found over other porphyry copper orebodies. Certain anomalous features exist, however. Limonite-after-chalcocite with characteristic color and texture is present, but its distribution in the outcrops reflects only in part the amount of chalcocite below. The most abundant development of this limonite occurs high on canyon walls and along ridge crests 600 to 1000 ft. above the top of the chalcocite zone. The leached rock intervening, in drillholes as well as in outcrops, appears originally to have contained little other than low grade primary mineralization excepting the main breccia pipe, which for the most part shows outcrop evidence of strong primary mineralization. The high-lying horizon may represent a relatively ancient chalcocite zone one that formed below the water table of a pre-existing, mature erosion surface. It is suggested that this may have been the Puna surface.

Over most of the ore area the leached zone contains only about 0.10 pct Cu in an unidentified form. This zone represents essentially complete leaching down to the sharp-line contact with the top of the chalcocite zone. There is no mixed zone of copper silicates, oxides, and sulfides. However, minor amounts of copper silicates are seen in surface outcrops in some of the less strongly altered areas, particularly near the fringe of the zone of alteration.

In most enriched copper deposits, the supergene chalcocite blanket seems to have migrated downward to its present position through progressive stages of leaching and precipitation, leaving behind a more or less continuous record of diagnostic limonites.

At Toquepala the paucity of such limonites in several hundred feet of leached capping above the base of oxidation can best be explained by assuming a relatively rapid and permanent drop in the water table to somewhere near its present level just above the present base of oxidation. Under such conditions the copper derived by leaching of the ancient chalcocite blanket, and the primary chalcopyrite immediately underlying it, would have been carried down in solution until it reached the reducing environment at the water table. Here accumulation of the present chalcocite orebody took place. Subsequently erosion cut deeply into the capping, forming the modern topography without modification of the chalcocite orebody.

Acknowledgments

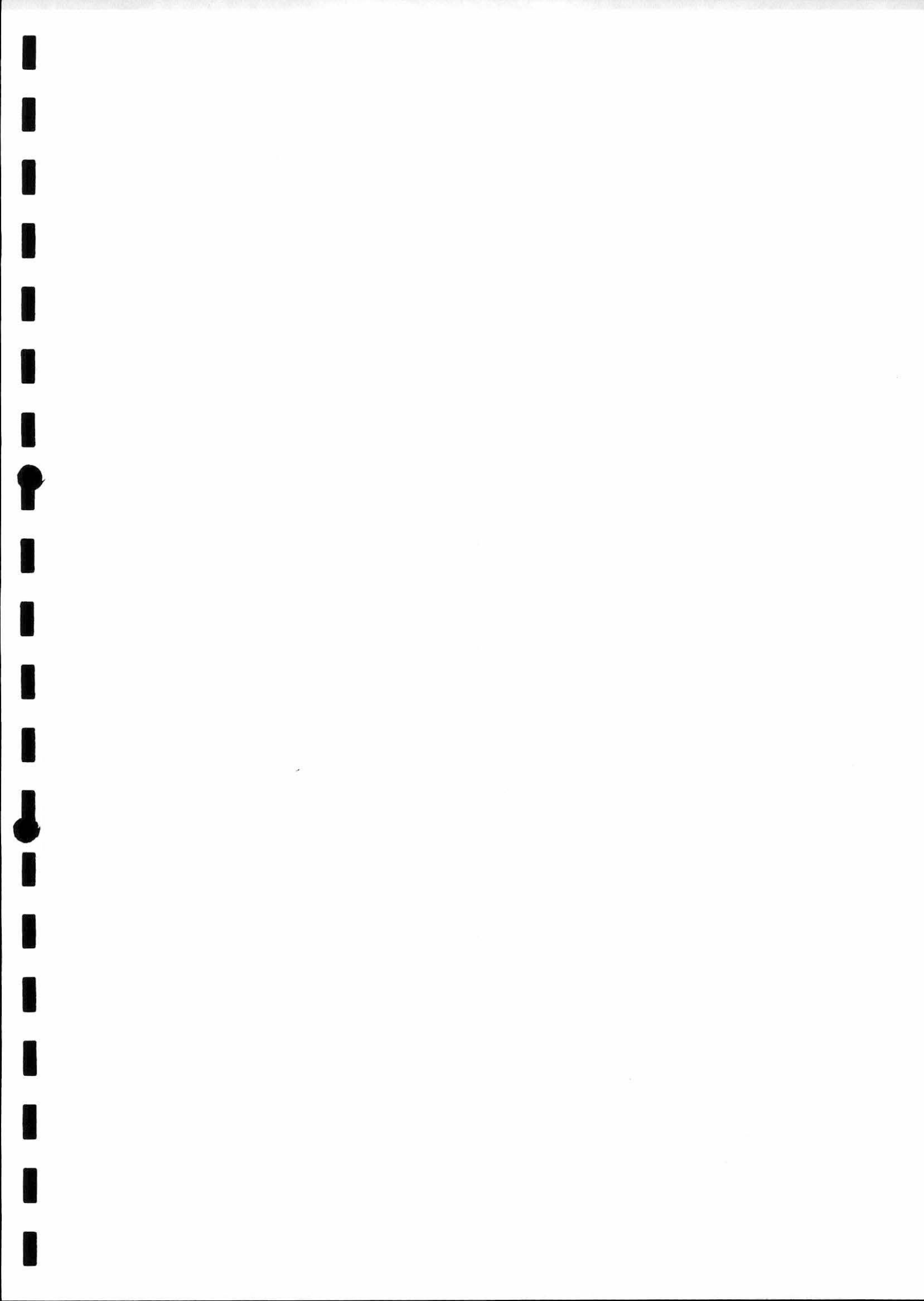
Thanks are due the Southern Peru Copper Corp. and the American Smelting & Refining Co. for permission to publish this article.

References

- 1.- Mining World, February 1955, p 71
- 2.- W. Lindgren and E. S. Bastin: The Braden copper deposit, Raycagua, Chile, in Copper Resources of the World, 16th International Congress, 1935, vol. 2, p. 459.
- 3.- W. C. Lacy: Personal communication.
- 4.- W.F. Jenks (Editor, Handbook of South American Geology): GSA Memoir 75, 1956.
- 5.- N. D. Newell: Geology of the Lake Titicaca Region, Peru and Bolivia, GSA Memoir 36, 1949.
- 6.- D. H. McLaughlin: Geology and Physiography of the Peruvian Cordillera, Department of Junin and Lima, GSA Bull. 35, -- 1942.

Discussion of this paper sent (2 copies) to AIME before March 31, 1958, will be published in MINING ENGINEERING.

-----ooOoo-----



GEOLOGIA DE CUAJONE

ING. JORGE MANRIQUE C.*

ING. ARMANDO PLAZOLLES V.*

RESUMEN

Cuajone es un depósito de cobre diseminado, ubicado en el Departamento de Moquegua, Provincia de Mariscal Nieto, a 17°02'40" latitud sur, y 70°42'15" longitud oeste, y a una altura promedio de 3,500 metros sobre el nivel del mar. Se encuentra a 25 kms. al nor-oeste de Toquepala y a 30 kms al nor-este de la ciudad de Moquegua.

En el área las rocas del basamento están representadas por mantos de lava, pertenecientes al Cretáceo Superior — Terciario Inferior, compuestos por flujos volcánicos homoclinales con suave inclinación hacia el oeste y que forman parte del "Grupo Toquepala".

El yacimiento está relacionado genéticamente con una intensa actividad intrusiva que tuvo lugar durante el Cretáceo Superior — Terciario Inferior, y que produjo el emplazamiento de cuerpos de composición ácida a intermedia.

Extensos cuerpos intrusivos de diorita-granodiorita fueron emplazados en forma regional. Posteriormente intrusiones pequeñas de monzonita cuarcífera, y andesita intrusiva penetraron las rocas del basamento volcánico.

Con posterioridad a la intrusión de los cuerpos ácidos menores se produjo una etapa de alteración hidrotermal compuesta primordialmente de cuarzo, sericita y arcilla, seguida de mineralización de sulfuros primarios de hierro y cobre.

Una etapa de intensa erosión durante el Plioceno produjo una peneplanicie en el yacimiento, la que luego quedó disectada conformando una topografía de relieve moderado. Este proceso facilitó la formación de una cubierta lixiviada, y de zonas delgadas de óxidos y sulfuros secundarios de cobre.

Tobas, flujos y vitrófiros de la Formación Huaylillas cubrieron la zona del yacimiento durante el Plioceno.

Solevantamientos y subsiguientes actividades erosivas desarrollaron la formación

*SPCC Toquepala — Perú

de valles profundos con dirección este-oeste, proceso que fue brevemente interrumpido por derrames volcánicos compuestos por tobas y aglomerados que rellenaron los valles. Erosión renovada produjo el relieve topográfico actual.

1. INTRODUCCION

El presente trabajo preparado con motivo del tercer Congreso Peruano de Geología, consiste de una descripción general de la Geología del área de Cuajone, y de las características principales de alteración hidrotermal, mineralización y estructura de este importante depósito de cobre diseminado del sur del Perú.

El yacimiento fue reconocido y explorado inicialmente en el año 1942. Entre 1965 y 1969, la Empresa minera Southern Perú Copper Corporation completó la estructuración de un proyecto para el desarrollo y explotación de Cuajone. Los trabajos de construcción comenzaron en 1970 y en la actualidad se ha completado un 50 por ciento de las obras. El costo total del Proyecto se estima en más de 550 millones de dólares, y la mina deberá entrar en producción en 1976, a una tasa de 40,000 toneladas cortas de mineral por día.

2. FISIOGRAFIA

Cuajone se encuentra ubicado en el flanco occidental de los Andes sur-occidentales, a más o menos 20 kms. al oeste de los macizos volcánicos de Huailao y Arundane.

La zona del yacimiento tiene fuerte relieve topográfico con profundos y angostos valles, como los de la quebrada del río Torata al norte de Cuajone, de 500 metros de profundidad y la quebrada Chuntacala; curso seco tributario del Torata por el sur y que discurre en dirección este-oeste cruzando la parte central del yacimiento de Cuajone.

3. GEOLOGIA GENERAL

La geología de Cuajone se caracteriza por la naturaleza netamente ígnea de todas sus fases líticas, existiendo tanto flujos extensivos pre-minerales como post-minerales, y un complejo intrusivo de rocas ácidas a intermedias relacionadas con la formación del yacimiento cuprífero.

3.1. LITOLOGIA

3.1.1. ROCAS EXTRUSIVAS

3.1.1.1. Etapa Pre-Mineral

Las rocas más antiguas que afloran en el área y que forman el basamento, pertenecen al Cretáceo Superior y tienen un buzamiento homoclinal inclinado suavemente hacia el oeste. Formando la base de esta secuencia de rocas se presenta un

LEYENDA

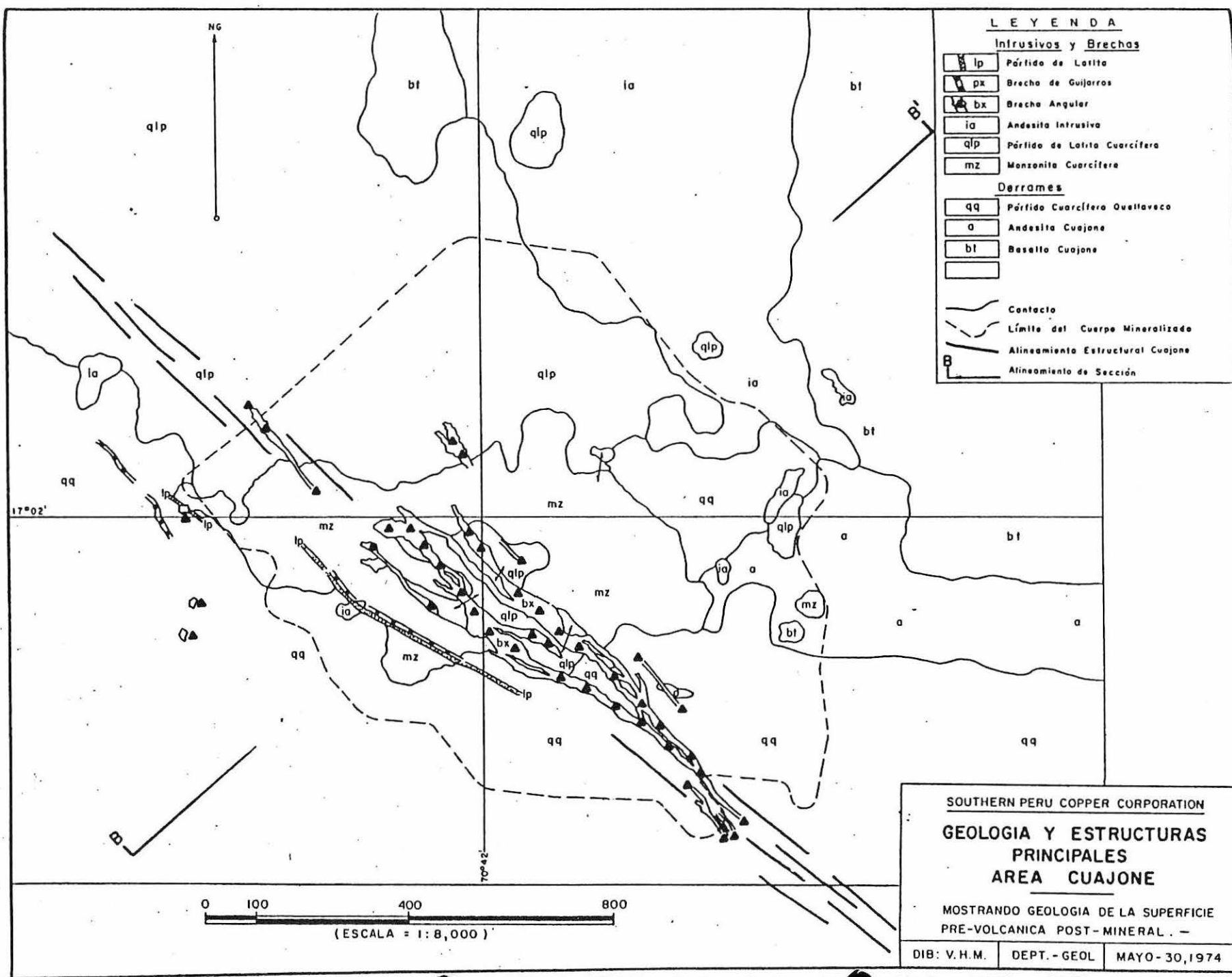
Intrusivos y Brechas

- Párida de Lolita
- Brecha de Gujarros
- Brecha Anquilar
- Andesita Intrusiva
- Párida de Lolita Cuarcifera
- Manzonita Cuarcifera

Derrames

- Párida Cuarcifera Quellaveco
- Andesita Cujone
- Basalto Cujone

- Contacto
- Límite del Cuerpo Mineralizado
- Alineamiento Estructural Cujone
- Alineamiento de Sección

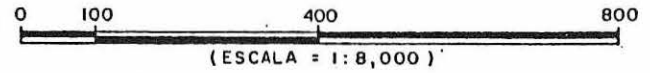


SOUTHERN PERU COPPER CORPORATION

**GEOLOGIA Y ESTRUCTURAS
PRINCIPALES
AREA CUAJONE**

MOSTRANDO GEOLOGIA DE LA SUPERFICIE
PRE-VOLCANICA POST-MINERAL. -

DIB: V.H.M. DEPT. - GEOL MAYO - 30, 1974



basalto cuyo piso no se conoce. Esta roca es de color verde oscuro o negruzco, de textura debilmente porfirítica, que aflora extensamente a lo largo del cauce del río Torata. Su potencia es de 285 mts.

Suprayaciendo al basalto se encuentra un flujo volcánico andesítico denominado Andesita Cuajone, es de textura afanítica a fina, de color gris verdoso, cuya potencia llega hasta 240 metros. El pórfido cuarcífero denominado Quellaveco yace discordante sobre la andesita Cuajone y es una riolita porfirítica, con fenocristales pequeños de cuarzo en una matriz afanítica, dura, y de color blanquecino. Pocos y pequeños afloramientos limonitizados de esta roca afloran en la quebrada Chuntacala. Su potencia es de 255 metros.

Como flujo superior del basamento de la zona, y en discordancia con el pórfido cuarcífero Quellaveco, se encuentra la "dolerita Toquepala", un flujo andesítico de color verdoso a marrón claro, con textura porfirítica, de grano fino y con ligera estratificación delgada. Su potencia es de 230 metros, reconocida mediante sondeos diamantinos, pues no posee afloramientos apreciables.

3.1.4.2. Etapa Post-Mineral

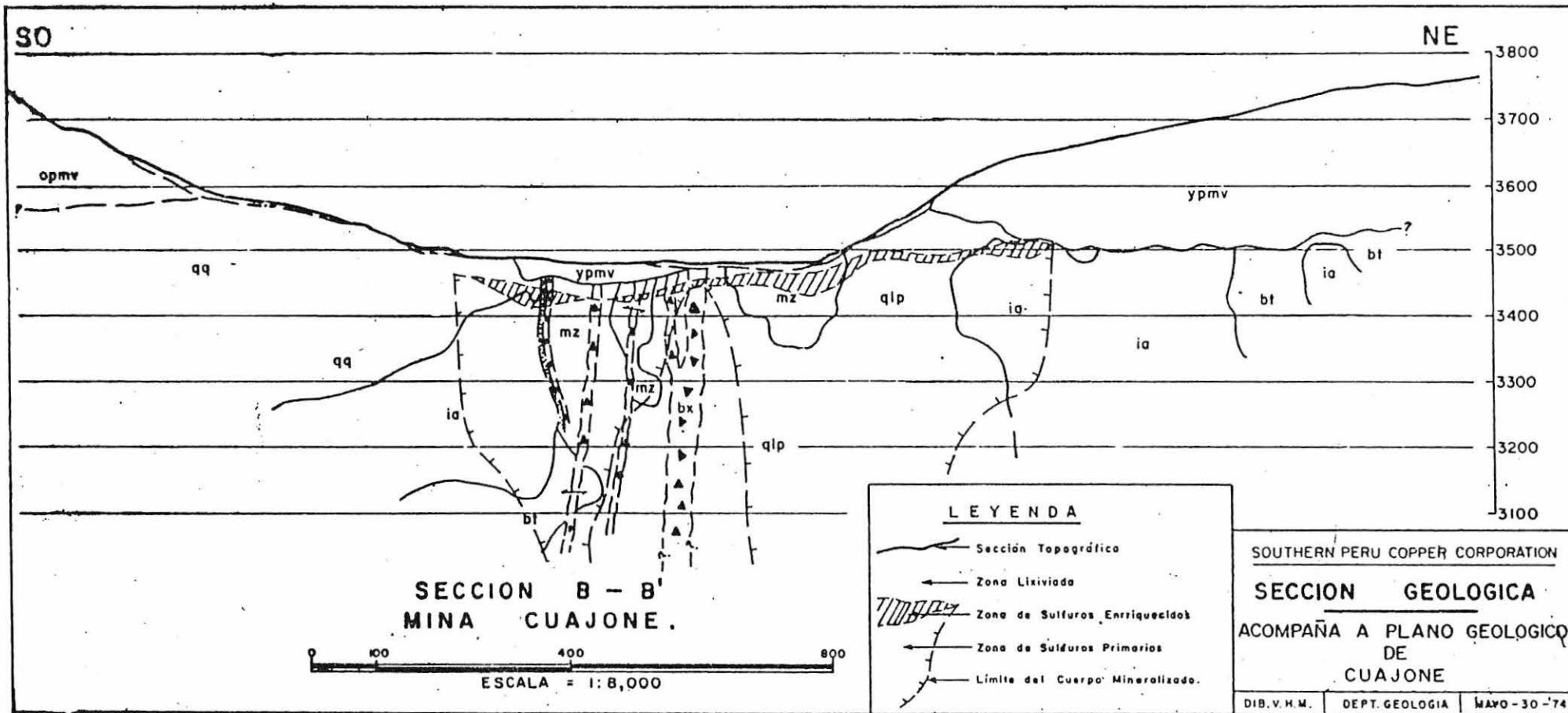
Separadas por una fuerte discordancia de erosión de las rocas que forman el basamento, existen dos secuencias de rocas volcánicas post-minerales.

La secuencia más antigua constituida por la Formación Huaylillas, está compuesta de los siguientes miembros, comenzando por el miembro basal: conglomerado, toba, vitrófiros, traquita y toba aglomerática. El conglomerado está compuesto por fragmentos de andesitas, riolitas, dioritas, y granodioritas de diferente tamaño, forma y color cementados por una matriz arcillo-arenosa más o menos consolidada. Este miembro tiene una potencia apreciable y se halla distribuido en una considerable extensión al lado sur del yacimiento. La toba y los vitrófiros aunque de escasa potencia, 10 a 20 metros, tienen tendencia regional.

La toba es de color rosada a blanquecina, se presenta terrosa; los vitrófiros son de color negro a marrón claro.

El flujo traquítico marrón es una roca dura y densa, presenta bandeamiento horizontal predominante y sus afloramientos forman riscos con fuerte disyunción columnar. La toba aglomerática gris es una traquita de baja densidad con inclusiones de fragmentos andesíticos y vesículas rellenas con material de lapilli y cenizas; en la parte inferior es muy semejante a la traquita marrón y en la parte superior está silicificada y dura, también presenta disyunción columnar. Los flujos traquíticos tienen un espesor total de aproximadamente 180 metros.

La secuencia más reciente se denomina "volcánico Chuntacala", y se halla separada de la traquita gris por un conglomerado de aproximadamente 15 metros de espesor. Esta secuencia es de edad Plio-Pleistocénica y de menor distribución que la secuencia Huaylillas. La base está formada por una toba gris poco potente. (\pm 5



SECCION B - B'
MINA CUAJONE.

0 100 400 800
ESCALA = 1:8,000

LEYENDA

- Sección Topográfica
- ← Zona Lixiviada
- ▨ Zona de Sulfuros Enriquecidos
- ← Zona de Sulfuros Primarios
- - - Límite del Cuerpo Mineralizado.

SOUTHERN PERU COPPER CORPORATION
SECCION GEOLOGICA
 ACOMPAÑA A PLANO GEOLOGICO
 DE
 CUAJONE
 DIB. V.H.M. DEPT. GEOLOGIA MAYO - 30 - 74

COLUMNA ESTRATIGRAFICA - CUAJONE

ERA	PERIODO	GRUPO O FORMACION	MIEMBRO	UNIDAD	SIM-BOLO	COLUMNA GRAFICA	POTENCIA (MTS.)	DESCRIPCION									
CUATERNARIO	RECIENTE	DISCORDANCIA		Aluvial			5	Aluviales y Conglomerados recientes									
				Conglomerado	Qal		45		50								
	TERCIARIO			SUPERIOR	PLEISTOCENO	FORMACION CHUNTACALA	VOLCANICOS JOVENES	Aglomerado tobaceo superior	Tvj-f		40	Compuesto por fragmentos de andesitas, riolitas y basaltos en cemento areno-tufaceo (frag. Tvj-e)					
								Toba traquita rosada	Tvj-e		150	Toba de baja gravedad especifica; disyunción columnar.					
								Aglomerado tobaceo inferior	Tvj-d		120	Fragmentos de andesitas, riolitas y basaltos en matriz areno-tufacea semiconsolidada.					
								Toba traquita blanca	Tvj-c		60	Toba blanca suave; disyunción columnar.					
								Toba canela	Tvj-b		110	Vesículas rellenas con material vítreo. Inclusiones líficas.					
								Toba gris	Tvj-a		5	485	Toba muy suave. Presenta bandeamiento.				
								TERCIARIO	SUPERIOR	DISCORDANCIA	FORMACION HUAYLILLAS	VOLCANICOS ANTIGUOS	Toba aglomerada gris	Tva-f		30	Toba densa y competente. Inclusiones líficas y vesículas rellenas con lapill.
													Flujo traquítico marrón	Tva-e		105	Flujo duro y denso con bandeamiento casi horizontal; disyunción columnar.
													Vitrófiros y Toba salmón	Tva-d		15	Toba terrosa suave y vitrófiros friables color caramelo y negro.
													Conglomerado basal	Tva-a		100	240
	MESOZOICO TERCARIO			CRETASICO SUPERIOR TERCARIO INFERIOR	DISCORDANCIA	FORMACION TOQUEPALA	SERIE TOQUEPALA	Dolerita Toquepala	KTtd		230	Flujo de andesita de color verdoso a gris, pequeños cristales de cuarzo en matriz silicificada.					
							Pórfido Cuarzifero Queilaveco	Riolita Porfirítica	KTqq		255	585	Flujo volcánico silíceo de color blanquecino, cristales de cuarzo.				
	MESOZOICO			CRETASICO SUPERIOR	DISCORDANCIA	FORMACION CUAJONE	SERIE CUAJONE	Andesita Cujone	Kac		240	Flujo volcánico de color verdoso a marrón claro.					
					Basalto Cujone	Kbc		285	525	Flujo volcánico de color oscuro							
ACTIVIDAD INTRUSIVA	CRETASICO SUPERIOR TERCARIO INFERIOR				Latita Porfirítica	lp			Latita Porfirítica								
					Brecha de Guijarros	px			Brecha de Guijarros								
					Brecha Angular	bx			Brecha Angular								
					ALTERACION Y MINERALIZACION	ia			ALTERACION Y MINERALIZACION								
					Andesita Intrusiva	alp			Andesita Intrusiva								
					Pórfido de Latita Cuarzifera	mz			Pórfido de Latita Cuarzifera								
					Monzonita Cuarzifera	di-gd			Monzonita Cuarzifera								
				Diorita-Granodiorita				Diorita-Granodiorita									

metros) de naturaleza blanda y flujo bandeado localizado en la ladera norte de la quebrada Ciuntacala que posiblemente constituya el remanente de un antiguo ciclo erosivo. A la toba gris se le sobreyace una toba traquítica de color canela, de baja densidad, de textura porfirítica, con fenocristales de sanidina, biotita y hematita en matriz afanítica suave que engloba vesículas alargadas rellenas por material vítreo, posee inclusiones líticas. Sobre la toba canela, se halla una toba traquítica de color blanco con una potencia máxima de 60 metros de textura débilmente porfirítica con fenocristales pequeños y escasos de sanidina, biotita, lepidolita y flogopita en una masa afanítica tufácea suave. La secuencia continúa con un aglomerado tobáceo que yace en algunos lugares sobre la toba traquítica de color blanco y en otros sobre la toba traquítica canela; está formado por fragmentos de riolitas, andesitas y basaltos de diferentes tamaños, formas y colores en una matriz areno-tufácea más o menos consolidada. Su potencia máxima medida es de 120 metros. Sobreyaciendo al aglomerado se presenta un flujo traquítico rosado con una potencia máxima de 145 metros, que posee textura porfirítica con fenocristales de biotita, lepidolita, sanidina, hematita y ocasionalmente cuarzo en una matriz suave de color rosado. El tope de la secuencia está formado por un aglomerado tobáceo superior que litológicamente es muy similar al aglomerado inferior pero su matriz es más suave y deleznable, englobando bloques de la toba traquítica rosada.

Existe una zona de deslizamiento en el borde sur-este del cuerpo mineralizado. El deslizamiento se originó en la ladera sur de la quebrada Chuntacala debido a un colapso en forma de herradura, y afectó mayormente a rocas de la formación Huaylillas.

3.1.2. ROCAS INTRUSIVAS

Un apófisis de diorita-granodiorita del Cretáceo Superior a Terciario Inferior constituye el intrusivo más antiguo en la zona, y forma parte del batolito regional. Se halla ubicado tres kilómetros al oeste de Cuajone y no forma parte del cuerpo mineralizado.

La parte central del yacimiento de Cuajone está constituida por un complejo intrusivo de composición ácida a intermedia. Las rocas que componen este complejo son, en orden decreciente de antigüedad: monzonita cuarcífera con afloramientos pequeños en la quebrada Chuntacala, un stock de pórfido de latita cuarcífera de extensión considerable, cuyo eje mayor tiene una longitud de 800 metros orientado hacia el nor-oeste y el eje menor es de 600 metros. La porción más meridional de este cuerpo está localizada en la zona mineralizada central del depósito. La parte más septentrional no está alterada ni mineralizada.

La roca intrusiva más joven está constituida por una andesita de grano fino, completamente alterada a cuarzo sericita y que se encuentra en forma de dos cuerpos separados, de orientación nor-oeste-sur-este y que atraviesan la zona mineralizada. Están

ubicados, uno en el lado nor-este (1,000 por 500 metros) y el otro en el lado sur-oeste (1,000 por 200 metros). Ambos cuerpos tienen una tendencia más o menos paralela. La andesita intrusiva produce afloramientos resistentes al igual que sus contactos brechados y silicificados en el área norte del depósito.

Intruyendo a las rocas anteriores a lo largo de un alineamiento de 1,500 x 200 metros se hallan fajas alargadas de brechas angulares y de guijarros que presentan débil alteración y escasa mineralización.

Completando el proceso intrusivo se presentan algunos diques angostos de 500 metros de largo por dos de ancho de pórfidos de latita; emplazados a lo largo de pequeñas fallas pre-existentes.

La mineralización está íntimamente relacionada al emplazamiento de cuerpos intrusivos que han atravesado las rocas volcánicas del basamento.

3.2. ALTERACION HIDROTHERMAL

Las rocas del basamento y del complejo intrusivo de la zona mineralizada han estado sujetas a una fuerte fase de alteración hidrotermal.

En Cuajone existe cuatro tipos predominantes de alteración. La fase más intensa está confinada a los intrusivos de la parte central del cuerpo mineralizado y está formada por desarrollo intenso de cuarzo-sericita acompañado de moderada cantidad de arcilla y un poco de feldespato potásico.

Las rocas más afectadas por alteración de cuarzo sericita son: andesita intrusiva, monzonita cuarcífera y el pórfido de latita cuarcífera.

Alteración biotítica con la formación de cristales finos y de distribución pervasiva afecta completamente al basalto Cuajone al que le da coloración marrón, en la zona periférica más próxima al complejo intrusivo. En una amplia zona circundante al yacimiento prevalece alteración intensa de tipo propilítico que afecta principalmente a las andesitas y al basalto y que se caracteriza por la formación de clorita, epidota, calcita y piritita. Este halo de alteración afecta a una zona de aproximadamente cuatro kilómetros de diámetro.

Tanto dentro del cuerpo mineralizado, como en la periferia, el pórfido riolítico Quellaveco presenta intensa silicificación y ligera caolinización.

El stock de pórfido de latita cuarcífera, contiene una pequeña cantidad de carbonato intersticial e intergranular.

3.2.1. Alteración a Cuarzo-Sericita-Arcilla

Es la fase de alteración más intensa que afecta al depósito de Cuajone, que ha obliterado casi completamente la textura de las rocas y las ha reemplazado completamente por inter-crecimientos de cuarzo de grano fino, pequeñas escamas de sericita y algo de arcilla.

La alteración afecta principalmente a las rocas intrusivas, y secundariamente, a

los derrames del basamento. El mineral de alteración predominante es el cuarzo, seguido por sericita y en menor grado arcilla (principalmente montmorillonita). Existe alteración de tipo feldespató potásico en pequeñas venillas.

3.2.2. Alteración a Biotita

Afecta una zona extensa del basalto Cuajone y ha resultado en la formación de abundante biotita de grano extremadamente fino y de aspecto brillante con una coloración marrón. La biotita está acompañada por una pequeña cantidad de cuarzo, sericita y clorita.

3.2.3. Alteración Propilítica

Se presenta en los bordes de la zona mineralizada, afectando mayormente a la andesita y basalto Cuajone y en menor proporción en los cuerpos de andesita intrusiva; se caracteriza por el desarrollo de clorita, epidota, calcita y mineralización de pirita. El mineral más abundante es la clorita acompañada de menor cantidad de cuarzo-sericita formando una matriz de reemplazamiento de grano fino. La epidota se presenta reemplazando a los minerales ferro-magnesianos en venillas o formando racimos. También se presentan numerosas venillas de calcita y pirita de pocos milímetros de espesor. Granos de pirita se hallan reemplazando a muchos de los minerales ferro-magnesianos alterados.

3.2.4. Alteración a Sílice

Silicificación, de intensidad moderada a fuerte y acompañada por una débil sericitización, afecta casi exclusivamente al pórfido cuarífero Quellaveco. Se caracteriza por la formación de sílice microgranular que corroe la roca casi completamente. La sílice microgranular se expande desde las fracturas hacia la masa de roca y da lustre vidrioso y una textura afanítica a la riolita.

3.3. MINERALIZACION

Al igual que la alteración, la mineralización de cobre se ha centrado en el complejo intrusivo, zona de mayor alteración; las áreas periféricas al complejo solo han sido débilmente alteradas y mineralizadas.

La forma del cuerpo mineralizado definido por la ley límite económicamente explotable, tiene en planta una figura ovalada con su eje mayor de 1.2 kilómetros orientado en dirección nor-oeste y con un ancho de 0.9 kilómetros. En sección vertical tiene la forma de un cono truncado invertido que se bifurca en profundidad. El límite superior de mineralización es un plano ondulado, casi horizontal, mientras que los límites laterales y de profundidad son uniformes y coinciden con un cambio en la intensidad del fracturamiento y el grado de alteración.

La roca que tiene mayor desarrollo dentro de la zona mineralizada y que por lo tanto incluye mayor volumen de mineral es la latita cuarcífera, seguida en orden decreciente por basalto, monzonita cuarcífera, andesita intrusiva y andesita Cuajone. El pórfido cuarcífero Quellaveco abarca una porción muy pequeña de mineral.

3.3.1. Mineralización Primaria

El cuerpo mineralizado es esencialmente un depósito de mineral de cobre de origen hipógeno en el cual pirita y calcopirita son los minerales más abundantes. La calcopirita constituye el único sulfuro de cobre de importancia; pero existen trazas de bornita. En cantidad reducida hay molibdenita, y como trazas, enargita, esfalerita y galena. La calcopirita mayormente se halla finamente diseminada y las venillas son poco comunes e irregularmente distribuidas. En andesitas y basalto el mineral se presenta comunmente en forma de agregados y racimos reemplazando a clorita. El porcentaje de calcopirita decrece ligeramente con la profundidad; la razón pirita/calcopirita en la zona central es de 1:1 a 2:1, mientras que en la periferia la razón alcanza a 15:1. El contenido total de sulfuros varía entre cuatro y nueve por ciento, por peso.

El sulfuro de molibdeno tiene una distribución errática, se presenta como relleno de espacios entre cristales de cuarzo, formando pequeñas drusas, en venillas de cuarzo, cubriendo fracturas y en menor proporción en diseminación fina. Existe mayor mineralización de molibdeno en los dos cuerpos paralelos de andesita intrusiva.

Como minerales de ganga, aparte de los minerales producidos por alteración tales como la sericita, el cuarzo, la biotita, la clorita, la arcilla, etc., se hallan pequeñas venillas de cuarzo secundario depositado antes, durante y después del período principal de deposición de sulfuros. También se presentan venillas de calcita y en menor grado rodocrosita en pequeñas venillas y drusas.

Mineralógicamente el depósito hipógeno de Cuajone se distingue por las siguientes características principales:

- a) La configuración del cuerpo mineralizado es regular.
- b) La distribución de leyes de cobre es uniforme, tanto lateralmente como en profundidad.
- c) Posee una mineralogía sencilla.

3.3.2. Enriquecimiento Secundario

La zona de sulfuros de enriquecimiento secundario tiene una configuración tabular y está inclinada levemente hacia el oeste. En sección vertical tiene la forma de una cubeta en las partes sur central y presenta un domo en la parte norte. Cerca al límite sur del cuerpo mineralizado, la capa enriquecida se encuentra a mayor altura que en la zona central; en planta su extensión es aproximadamente igual que la extensión mayor de la zona primaria.

El espesor de mineral enriquecido es irregular, teniendo un promedio de 20 metros. El desarrollo geomorfológico y la influencia de la protección de los flujos volcánicos

post-minerales a la rápida erosión controlaron aparentemente el espesor, así como la distribución de la ley mineral.

Los minerales esenciales en la zona enriquecida son calcosita y pirita. En pequeñas cantidades hay calcopirita y covelita y en mucho menor grado, bornita y molibdenita.

En la zona de mayor intensidad de mineralización la calcosita reemplaza a la calcopirita y bornita casi totalmente y a la pirita en forma parcial. Se encuentra covelita supergena como fino intercrecimiento y como reemplazamiento de los bordes alrededor de la calcotina.

Las rocas que predominan en zona de mineralización supergena son en orden de importancia: pórfido de latita cuarcífera, monzonita cuarcífera, pórfido cuarcífero Quellaveco, y andesita Cuajone.

3.3.3. Oxidación

El cuerpo principal de óxidos ocurre en la mitad norte del cuerpo mineralizado, existiendo tres pequeñas y aisladas zonas de mineralización de óxidos de cobre en la parte sur. También se presentan algunas áreas de óxidos colgados dentro de la zona lixiviada encima de la zona principal.

La forma del cuerpo principal de óxidos es semi-circular en planta y tabular en sección, de espesor regular y con superficies superior e inferior ondulados. No existe un límite bien definido entre el cuerpo de óxidos y las zonas de sulfuros enriquecidos, o de la cubierta lixiviada. A través de todo el cuerpo se presentan limonitas y sulfuros enriquecidos en cantidad considerable. Aproximadamente un 50 por ciento del cobre contenido en el cuerpo de óxidos está en forma de sulfuros. El cuerpo de óxido es realmente una zona de transición entre la zona lixiviada y la de enriquecimiento secundario y su espesor promedio es de aproximadamente 15 metros.

Los principales minerales de este cuerpo son malaquita y crisocola, que se presentan en venillas con espesores hasta de 10 mm. Existen pequeñas cantidades de melaconita, trazas de brocantita, azurita y cuprita. Localmente se encuentra algo de cobre nativo.

La ganga está compuesta por: goetita, hematita, cuarzo y alunita.

3.3.4. Encape Lixiviado

El encape lixiviado remanente está formado por rocas del basamento, particularmente en la dolerita Toquepala y el pórfido cuarcífero Quellaveco. Las rocas se presentan intensamente fracturadas y la mayor parte de las fracturas están cementadas por cuarzo y óxidos de hierro.

La hematita es el mineral más abundante particularmente en las secciones de mayor espesor, y generalmente está aconipañada de goetita y lepidocrosita. Existe moderada a fuerte cantidad de jarosita en las zonas periféricas del depósito.

El espesor máximo de la cubierta lixiviada es de 100 metros aproximadamente.

3.4. ESTRUCTURAS

En Cuajone no existe evidencia superficial de estructuras mayores en las rocas pre-minerales debido a la escasez de afloramientos.

3.4.1. Fracturamiento

El intenso fracturamiento tipo "stockwork" del complejo intrusivo así como de las rocas circundantes fue el control estructural más importante en el desarrollo del cuerpo mineralizado de Cuajone.

La tectónica que originó el fracturamiento no es clara, sin embargo, parece que la intrusión "diastrófica" de los cuerpos de andesita intrusiva a lo largo de alineamientos antiguos puede haber causado el proceso de fracturamiento.

Orientaciones predominantes de los sistemas de fracturas son: N60°O y N20°E con buzamientos verticales o casi verticales,

3.4.2. Fallamiento

Un sistema de fallas antiguas o zonas de cizallamiento dentro de una faja de 30 a 200 metros de ancho y con un largo reconocido de 1,500 metros atraviesa el yacimiento con un rumbo promedio de N 50°O y un buzamiento hacia el sud-oeste, cercano a la vertical. El bloque situado al lado este del alineamiento estructural ha sido levantado en relación con el bloque del lado oeste.

Este alineamiento estructural ha sido denominado "Alineamiento Cuajone" y posiblemente se haya desarrollado conjuntamente con el sistema de fallas Micalaco e Incapuquio.

A 3.5 kilómetros al oeste del cuerpo mineralizado de Cuajone, existe una falla de 6 kilómetros de largo y 40 metros de ancho con un rumbo N 25°O y un buzamiento vertical. La falla ha colocado a la dolerita Toquepala y al pórfido cuarífero Quellaveco del lado oeste en contraposición con la diorita del lado este. La falla no llega a penetrar a la Formación Huaylillas.

El cerro Botiflaca está cruzado por una estructura denominada "Falla Botiflaca", que tiene una extensión de nueve kilómetros, un espesor de 40 metros y un alineamiento sinuoso. El rumbo promedio es de N 75°O con un buzamiento vertical o casi vertical. La falla corta las rocas del basamento e intrusivos así como también rocas de la Formación Huaylillas.

Otras fallas pequeñas, con rumbo norte y nor-oeste, cortan a los volcánicos del cerro Botiflaca.

3.4.3. Brechamiento

Durante las últimas etapas de mineralización (piritización) se formaron brechas a lo largo del alineamiento estructural Cuajone. La zona de falla fue rellenada con fragmentos angulares y sub-angulares compuestos por rocas ígneas de diversos tipos, algunos de los cuales no corresponden a formaciones conocidas en la zona. Los

fragmentos tienen tamaños hasta de treinta centímetros y se encuentran incluidos dentro de una matriz generalmente afanítica pero que en algunas zonas tiene textura porfirítica.

Las brechas angulares están débilmente piritizadas, y solo constituyen mena donde fragmentos de las cajas mineralizadas predominan en la brecha. La matriz en las raíces de los cuerpos de brecha en la parte central y sur-este del cuerpo mineralizado están compuestas casi íntegramente por un pórfido de latita cuarcífera sin alteración ni mineralización.

Unos pocos diques angostos de latita y brechas delgadas de guijarros post-minerales, con rumbo nor-oeste cortan casi verticalmente a través del cuadrante suroeste del cuerpo mineralizado.

4. GEOLOGIA HISTORICA

El evento geológico más antiguo del que hay evidencia en el área de Cuajone es un período de intenso volcanismo que abarca gran parte del Cretáceo y probablemente alcanza los principios del Terciario. Los derrames andesíticos y riolíticos ocuparon gran extensión y espesor, y constituyen el Grupo Toquepala. Luego hubo una etapa de tectonismo que causó el emplazamiento del Batolito Andino. Posteriormente tuvieron lugar intrusiones menores de monzonitas, latitas y andesitas a lo largo de zonas de debilidad, algunas de las cuales fueron focos de alteración y mineralización.

En el Oligoceno-Mioceno se produjo una erosión prolongada que formó una peneplanicie cuyos productos rellenaron a su vez la fosa costanera, dando como resultado la deposición continental de sedimentos de la Formación Moquegua. En esta etapa posiblemente comenzó el proceso de enriquecimiento secundario en el yacimiento de Cuajone.

A principios del Plioceno fueron depositadas las tobas y flujos de la Formación Huaylillas. Denudación durante el Plioceno Medio da lugar a una superficie suave con una ligera inclinación hacia el sur-oeste y con pequeñas quebradas rectas y paralelas, formando la "Superficie Huaylillas".

A fines del Plioceno ocurre un levantamiento al este de Cuajone y la subsiguiente erosión destroza gran parte de la superficie Huaylillas, excavando valles profundos. El valle que se desarrolló en Cuajone tuvo una dirección aproximada este-oeste y una profundidad de 400 metros con una dirección paralela a la del actual drenaje.

La etapa final de volcanismo, relacionada con la formación de los estratovolcanes altiplánicos actuales, produjo derrames volcánicos de composición ácida que rellenaron las cabeceras de los valles existentes. El período de erosión que persiste hasta ahora ocasionó la formación del actual valle el que está ubicado aproximadamente un kilómetro al norte del eje del paleovalle antiguo. Simultáneamente hacia el sur se formó el valle subsidiario de la quebrada Chuntacala a través de materiales volcánicos, dejando al descubierto algunos afloramientos de la zona mineralizada.

5. GEOLOGIA ECONOMICA

El yacimiento de Cuajone se encuentra en una faja cuprífera que se prolonga desde el norte de Chile hasta Cerro Verde en Arequipa. Es un yacimiento de cobre porfirítico similar al de Toquepala y será explotado mediante minado a tajo abierto. La reserva calculada es de 470 millones de toneladas de mineral de sulfuros con un promedio de uno por ciento de cobre. El 84 por ciento del mineral es primario, y el 16 por ciento corresponde a mineral enriquecido.

Existen aproximadamente 24 millones de toneladas de óxidos con una ley de 1.3 por ciento de cobre. El diseño de tajo se ha realizado empleando un talud final de 1.33 a 1. La razón desbroce-mineral es de aproximadamente 2.8 a 1. Se requerirá remover 240 millones de toneladas de material de cubierta durante la fase de pre-minado para desarrollar suficiente mineral para un año de explotación.

6. BIBLIOGRAFIA

- LACY W.C. - (1957). "Porphyry Copper Deposit Cuajone, Peru". Mining Engineering, February.
- MANRIQUE J. y PLAZOLLES A. - (1974). "Aspectos de la Geología de los Depósitos de Toquepala y Cuajone".
- INFORMES INTERNOS DEL DPTO. DE GEOLOGIA, Southern Peru Copper Corp.

