

MAPEO GEOLÓGICO PARA ESTIMAR EL POTENCIAL DE RECURSOS

**SEMINARIO MEJORES PRÁCTICAS EN EXPLORACIÓN Y
ESTIMACIÓN DE RECURSOS Y RESERVAS MINERALES**

Organizado por:

**Comisión Calificadora de Competencias
en Recursos y Reservas Mineras**

Juan C. Marquardt

Santiago, 20 de abril de 2017

TEMARIO

- **I PARTE**

- APLICACIÓN DEL **MAPEO GEOLÓGICO** PARA ESTIMAR EL POTENCIAL DE RECURSOS DE QUEBRADA BLANCA EN LA EXPLORACIÓN TEMPRANA, PREVIO AL SONDEO SISTEMÁTICO (1977).

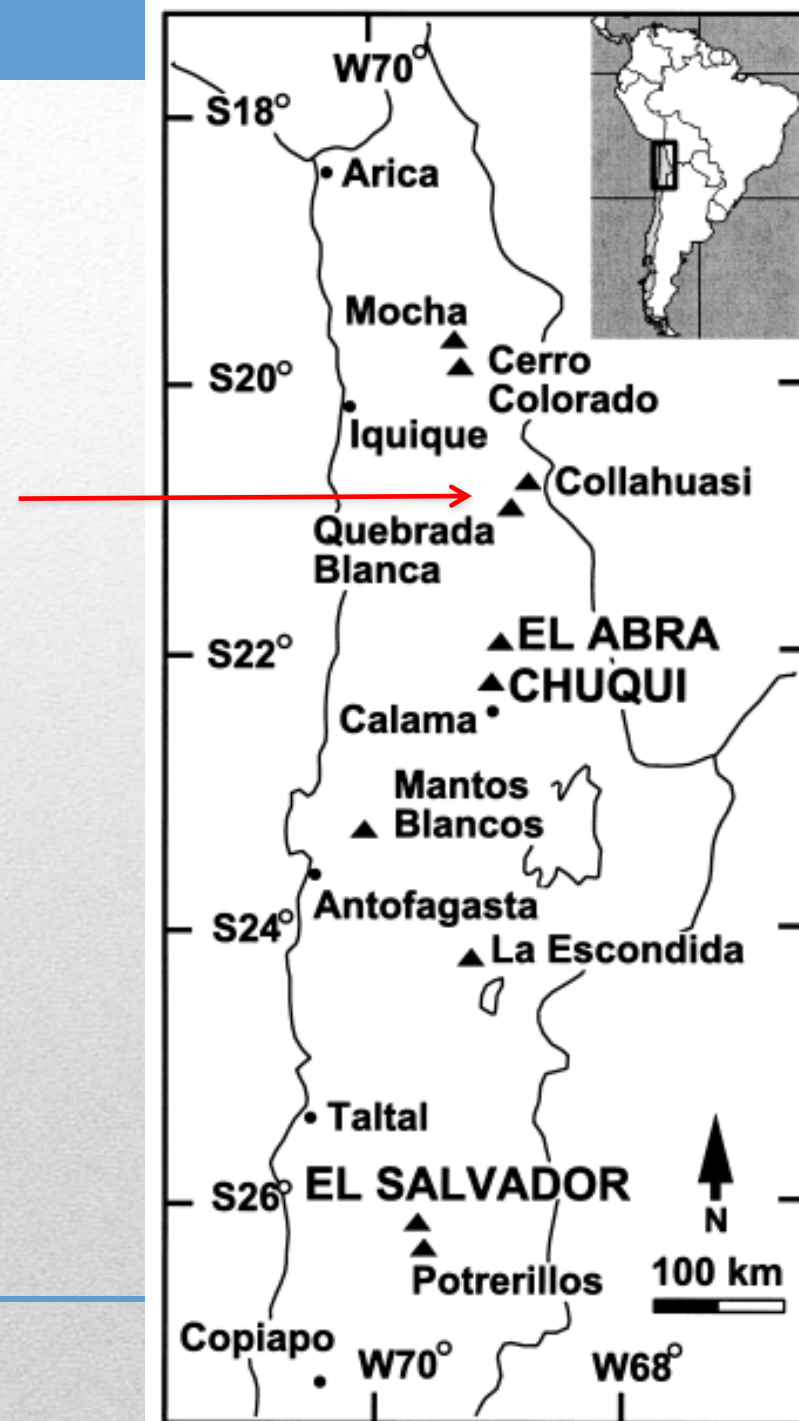
- **II PARTE**

- APLICACIÓN DE LA EXPERIENCIA DE Q. B. EN EL DESCUBRIMIENTO DE GABY SUR (1996): MINA GABRIELA MISTRAL (2008)
-

EXPLORACIÓN DE QUEBRADA BLANCA Y COLLAHUASI

1977-85

*COMPAÑÍA
EXPLORADORA DOÑA
INÉS LTDA.*





QUEBRADA BLANCA PROSPECT/DEPOSIT - 1978
Exploration Campsite - center, right (4,150 m elev.)

Historia del descubrimiento y exploración de Quebrada Blanca

1880-1930 Auge del Distrito de Collahuasi

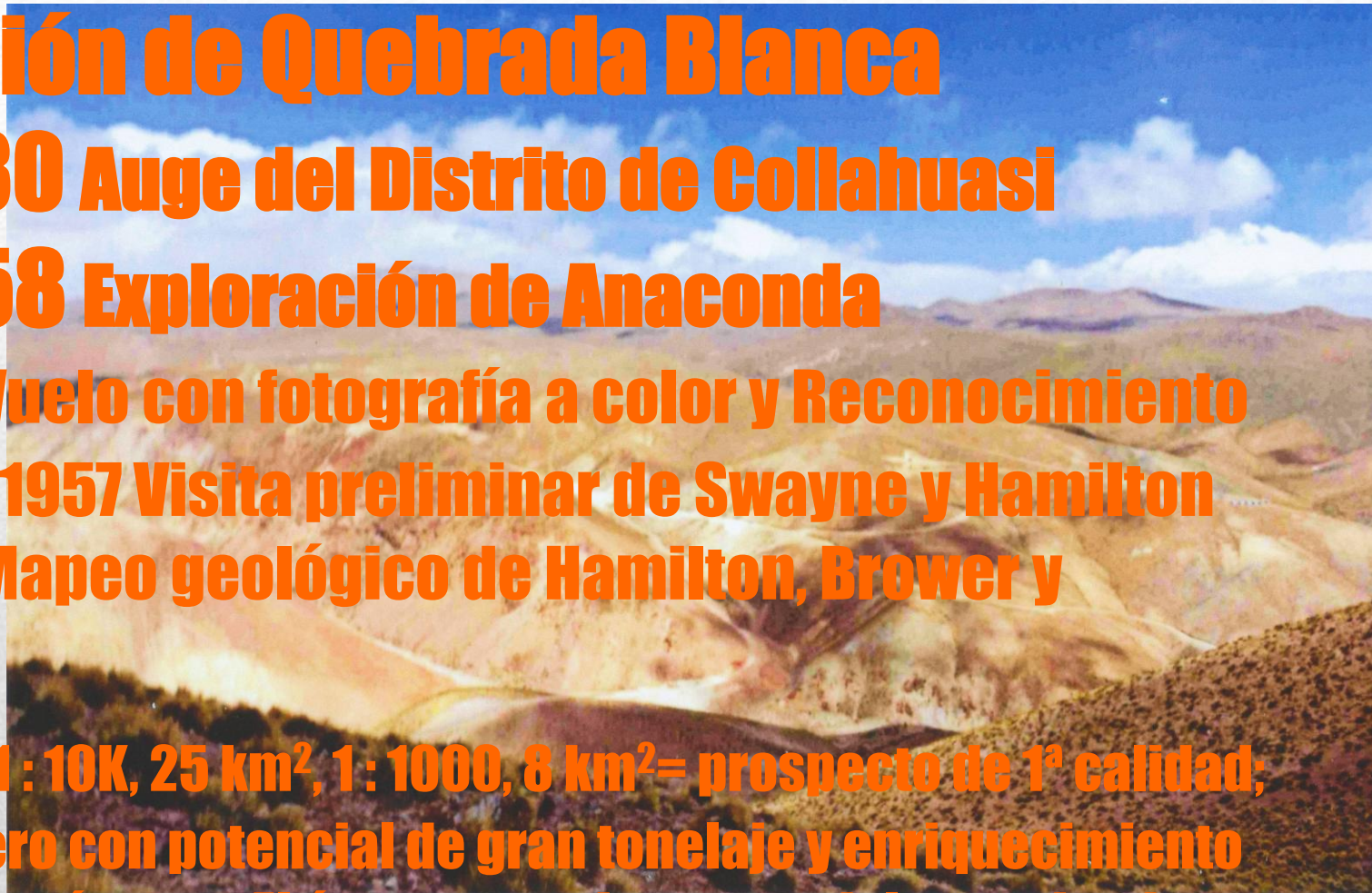
1956-1958 Exploración de Anaconda

1956 Vuelo con fotografía a color y Reconocimiento aéreo

1957 Visita preliminar de Swayne y Hamilton

1958 Mapeo geológico de Hamilton, Brower y Thomson.

Escala 1 : 10K, 25 km², 1 : 1000, 8 km²= prospecto de 1ª calidad; pórfido cuprífero con potencial de gran tonelaje y enriquecimiento secundario o supérgeno. El área con mejor potencial, asumiendo un espesor de 100m, podría contener: 150 Mt de mineral enriquecido.
Anaconda consolida la PM y queda archivado por otros compromisos.



Historia del descubrimiento (cont.)

1971-1973 Exploración por el IIG (GL, GQ y GF)

1975-1976 Codelco-Chuquicamata

1 DDH que entró unos metros en la zona de sulfuros de enriquecimiento ($> 1\%$ Cu) y se paró.

1977-1983 J.V. CIA. EXPLORADORA DOÑA INÉS
con **ENAMI**



Exploración temprana de Quebrada Blanca

*Compañía
Exploradora
Doña Inés
Ltda.*



**1977 MAPEO GEOLÓGICO PREVIO A INICIAR EL
SONDEO DEL YACIMIENTO**

J. Bratt, John P. Hunt (Q.E.P.D.) y C. Münchmeyer

SE APLICAN EN Q. B. CONOCIMIENTOS GEOLÓGICOS OBTENIDOS EN LA MINA EL SALVADOR

ECONOMIC GEOLOGY

AND THE

BULLETIN OF THE SOCIETY OF ECONOMIC GEOLOGISTS

VOL. 70

AUGUST, 1975

No. 5

The Porphyry Copper Deposit at El Salvador, Chile

LEWIS B. GUSTAFSON AND JOHN P. HUNT

Abstract

The formation of the porphyry copper deposit at El Salvador culminated volcanic activity in the Indio Muerto district. Host rocks for the ore are Cretaceous andesitic flows and sedimentary rocks overlain unconformably by lower Tertiary volcanics. Early rhyolite domes, formed about 50 m.y. ago and roughly contemporaneous with voluminous rhyolitic and andesitic volcanics, were followed by irregularly shaped subvolcanic intrusions of quartz rhyolite and quartz porphyry about 46 m.y. ago. Minor copper-molybdenum mineralization accompanied this event. A steep-walled granodioritic porphyry complex and the closely associated main center of mineralization and alteration were emplaced 41 m.y. ago.

The oldest of these porphyries, "X" Porphyry, is fine grained, equigranular to weakly porphyritic. Porphyritic textures are seen in deep exposures, whereas strong K-silicate alteration at higher elevations has developed the equigranular texture. Next, a complex series of feldspar porphyries was intruded. These include an early group, "K" Porphyry, and a late group, "L" Porphyry, defined by mapped age relations at intrusive contacts. Strong alteration and mineralization of most "K" Porphyry bodies have partially obliterated the porphyry texture. The larger "L" Porphyry complex is relatively unaltered and unmineralized. A wide range of textural variation in "L" Porphyry is

Depósitos Tipo Pórfido Cuprífero

- Depósito de gran tonelaje y relativamente baja ley (100s Mt - <2% Cu)
 - Tienen origen magmático (pórfidos intrusivos) - hidrotermal (soluciones mineralizadoras)
 - La interacción de los fluidos con la roca genera una zonación de alteración hidrotermal y de mineralización.
 - La mineralización primaria o hipógena corresponde a sulfuros de Fe y Cu principalmente, diseminados y en vetillas.
-

Pórfido Cuprífero



STOCKWORK DE VETILLAS DE CUARZO CON SULFUROS DE Cu DISEMINADOS
EN EL CONTACTO ENTRE DOS PULSOS DE “PÓRFIDO K” (Gustafson y Hunt, 1975)

MODELO DE EXPLORACIÓN DE UN YACIMIENTO TIPO PÓRFIDO CUPRÍFERO CON ENRIQUECIMIENTO SECUNDARIO

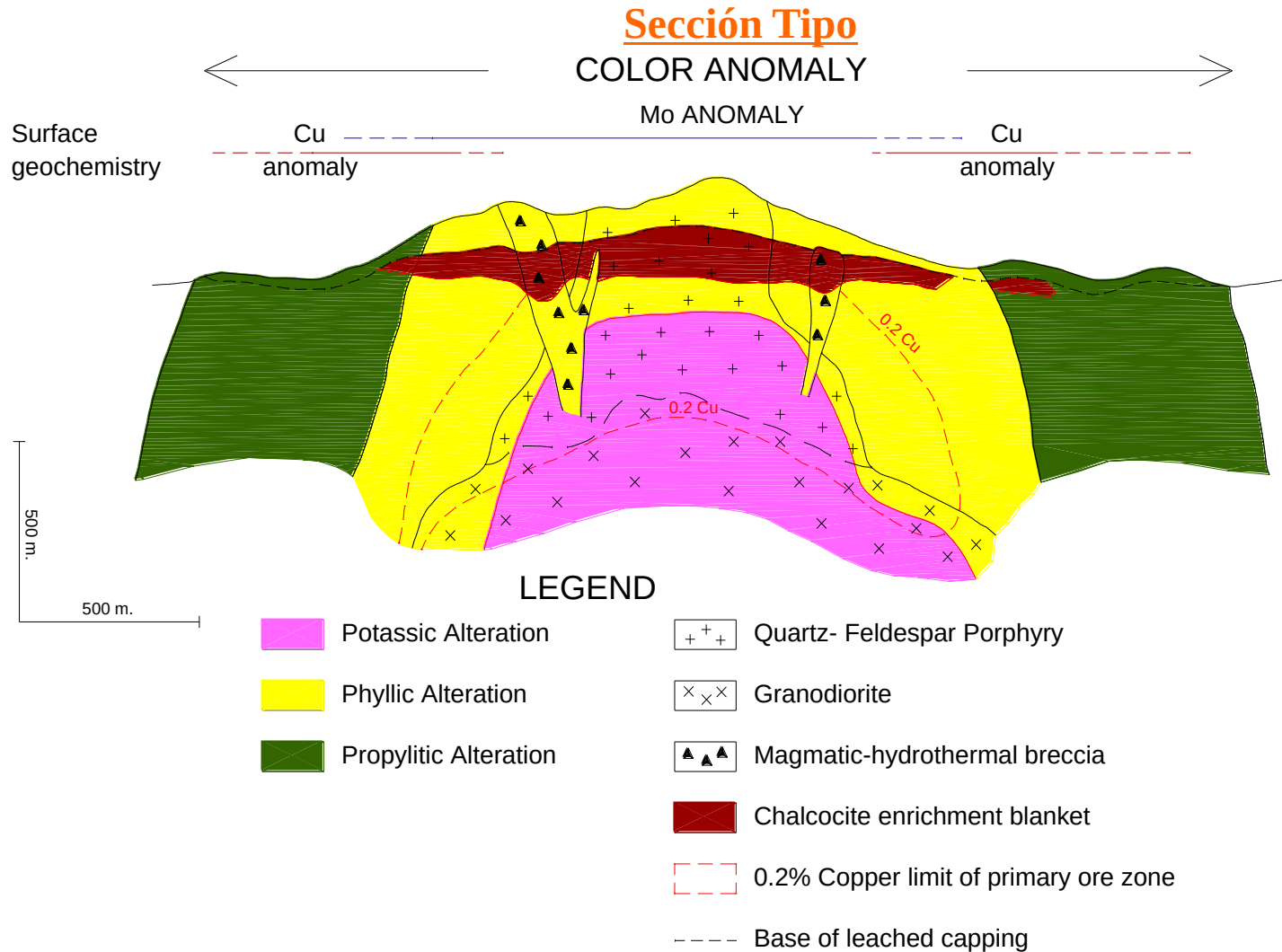


FIGURE 1 : Exploration Models Cross Section
A : Exposed enriched porphyry copper system

1.a MAPEO GEOLÓGICO (datos)

- Mapeo geológico detallado de afloramientos, escala 1: 2.000 (en hojas tamaño carta)
 - Mapeo “estilo Anaconda”: estándares de mapeo, simbología, códigos y nomenclaturas desarrolladas en la mina de El Salvador (derivados de Potrerillos y otras minas de Anaconda)
 - Área de aprox. 2,5 x 2,5 km²
-

1.b MAPEO GEOLÓGICO (datos)

- Mapeo G1 acompañado de muestras de roca para estudios mineralógicos:
 - Confirmar los minerales de alteración (sericita, arcillas, feldespatos, biotita, etc.)
 - Encontrar en rocas lixiviadas sulfuros “relictos” y sus proporciones, para establecer las zonaciones de sulfuros típicas de un PCD

Nota: Los estudios mineralógicos fueron realizados en el Laboratorio Geológico de la mina El Salvador, usando los estándares elaborados en ese laboratorio.

1.c MUESTREO GEOQUÍMICO (datos)

- Muestras de roca para análisis geoquímico por Cu, Mo, Au, Ag, y otros elementos, con el fin de establecer zonaciones típicas en Pórfidos de Cobre.

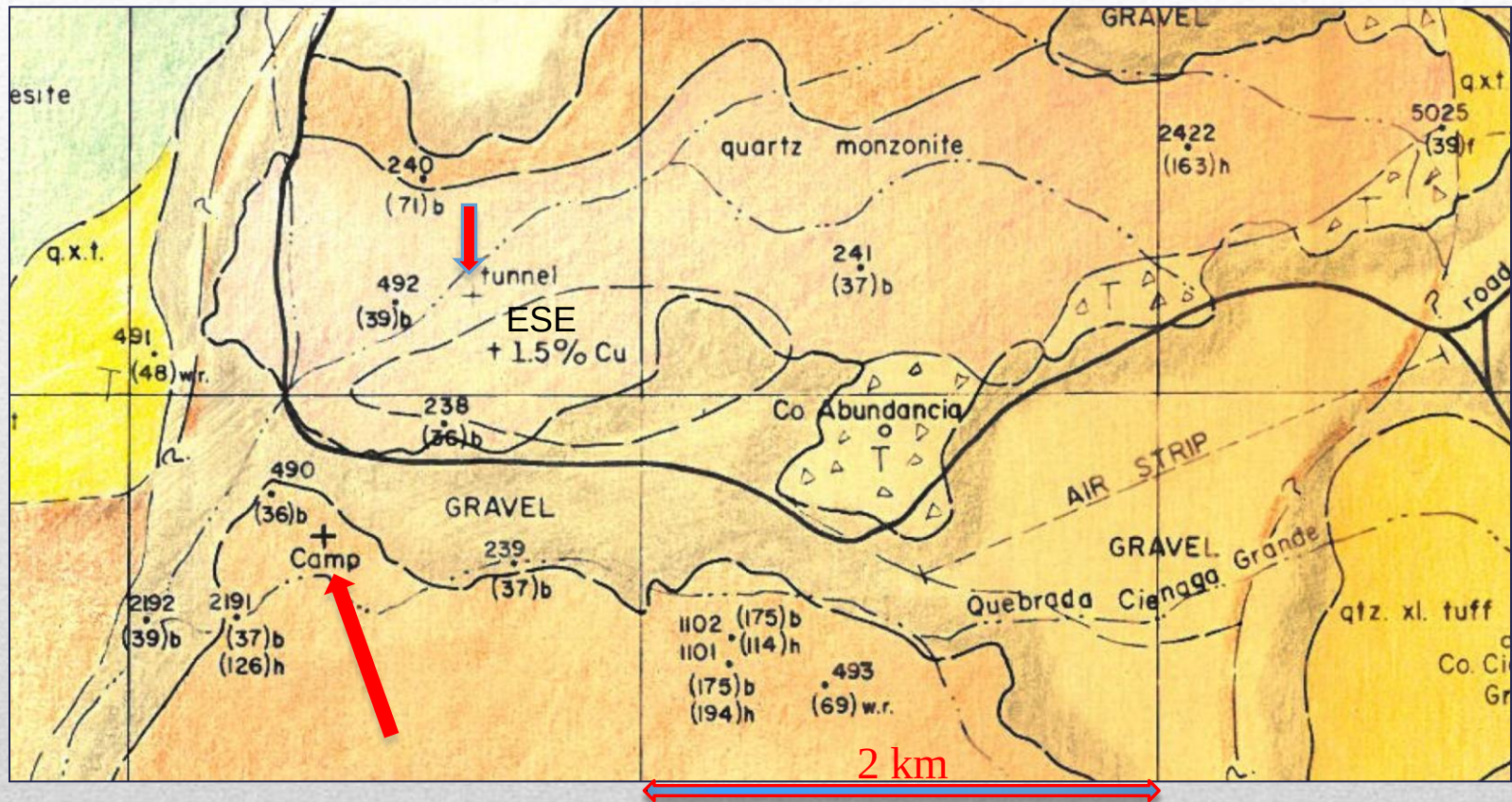
Nota 1: Trabajo realizado inicialmente en el Laboratorio Químico de la mina Chuquicamata y, después, en otros laboratorios comerciales de Iquique.

Nota 2: todas las muestras, tanto para geoquímica como para mineralogía, fueron numeradas, registradas en un libro con las coordenadas respectivas y ubicadas en un mapa.

2.a TRASPASO DE LOS DATOS E INTERPRETACIÓN EN MAPAS TEMÁTICOS (información)

- **LOS DATOS DEL MAPEO GEOLÓGICO DETALLADO 1/2K (HOJAS TAMAÑO CARTA) FUERON TRASPASADOS A MAPAS TEMÁTICOS TRANSPARENTES (OVERLAYS) DE APRÓX. 1x1,5 m², COMPILANDO POR SEPARADO:**
 - **ROCAS Y ESTRUCTURAS**, e interpretando los contactos entre rocas y la continuidad de las fallas.
 - **ALTERACIÓN DE LA ROCA**, e interpretando la zonación de minerales indicadores hipógenos y/o supérgenos
 - **MINERALIZACIÓN**, e interpretando las diferentes zonas minerales,
 - **ABUNDANCIA DE VETILLAS DE CUARZO Y VETILLAS “D”**, y estableciendo zonas de acuerdo a su abundancia.
-

Mapa Geológico generalizado de Quebrada Blanca



(Tomado de Ware, Münchmeyer y otros, 1981)

2.b INFORMACIÓN DE MINERALOGÍA

- **LOS DATOS DE LOS ESTUDIOS MINERALÓGICOS DE MUESTRAS DE MANO INFORMADOS POR EL LABORATORIO GEOLÓGICO DE LA MINA EL SALVADOR, FUERON PLOTEADOS TAMBIÉN EN MAPAS TEMÁTICOS (OVERLAYS):**
 - **MINERALES DE ALTERACIÓN**, lo cual se usó para validar la interpretación del mapa temático de alteración.
 - **SULFUROS “RELICTOS”**, para establecer la zonación original de sulfuros hipógenos, de manera complementaria con el mapa de mineralización y, a la vez, la posible zonación de minerales supérgenos (óxidos vs sulfuros secundarios de Cu)
-

2.c INFORMACIÓN DE GEOQUÍMICA

- **LOS RESULTADOS (DATOS) DEL LABORATORIO QUÍMICO DE MUESTRAS DE ROCA FUERON PLOTEADOS TAMBIÉN EN MAPAS TEMÁTICOS (OVERLAYS):**
 - **MAPAS POR CADA ELEMENTO (Cu, Mo, Au, Ag, Pb, Zn, etc.), e interpretación de curvas con isocontenidos que tienen correspondencia con ciertas zonas del modelo de un yacimiento tipo Pórfido de Cobre.**
-

3. INTERPRETACIÓN

- LA INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN GL Y GQ DE LOS MAPAS TEMÁTICOS, PERMITIÓ ZONIFICAR EN EL MAPA DE QUEBRADA BLANCA, EL POTENCIAL DE MINERALIZACIÓN A PROFUNDIDAD:
 - UN ÁREA DE APROX. 3x1 km² QUE REPRESENTA LA EXTENSIÓN ORIGINAL DE LA MINERALIZACIÓN PRIMARIA ORIGINAL MÁS IMPORTANTE (típicamente > 0,5% Cu en un Pórf. de Cobre), actualmente oxidada y/o lixiviada en superficie.
 - UN ÁREA DE 750x750 m² CON POTENCIAL PARA PRESENTAR ENRIQUECIMIENTO SECUNDARIO (cc-cv con típicamente el doble o triple de la ley del primario, es decir, 1-1,5% Cu), bajo la zona superior lixiviada-oxidada o cubierta con gravas post-minerales.
-

INTERPRETACIÓN

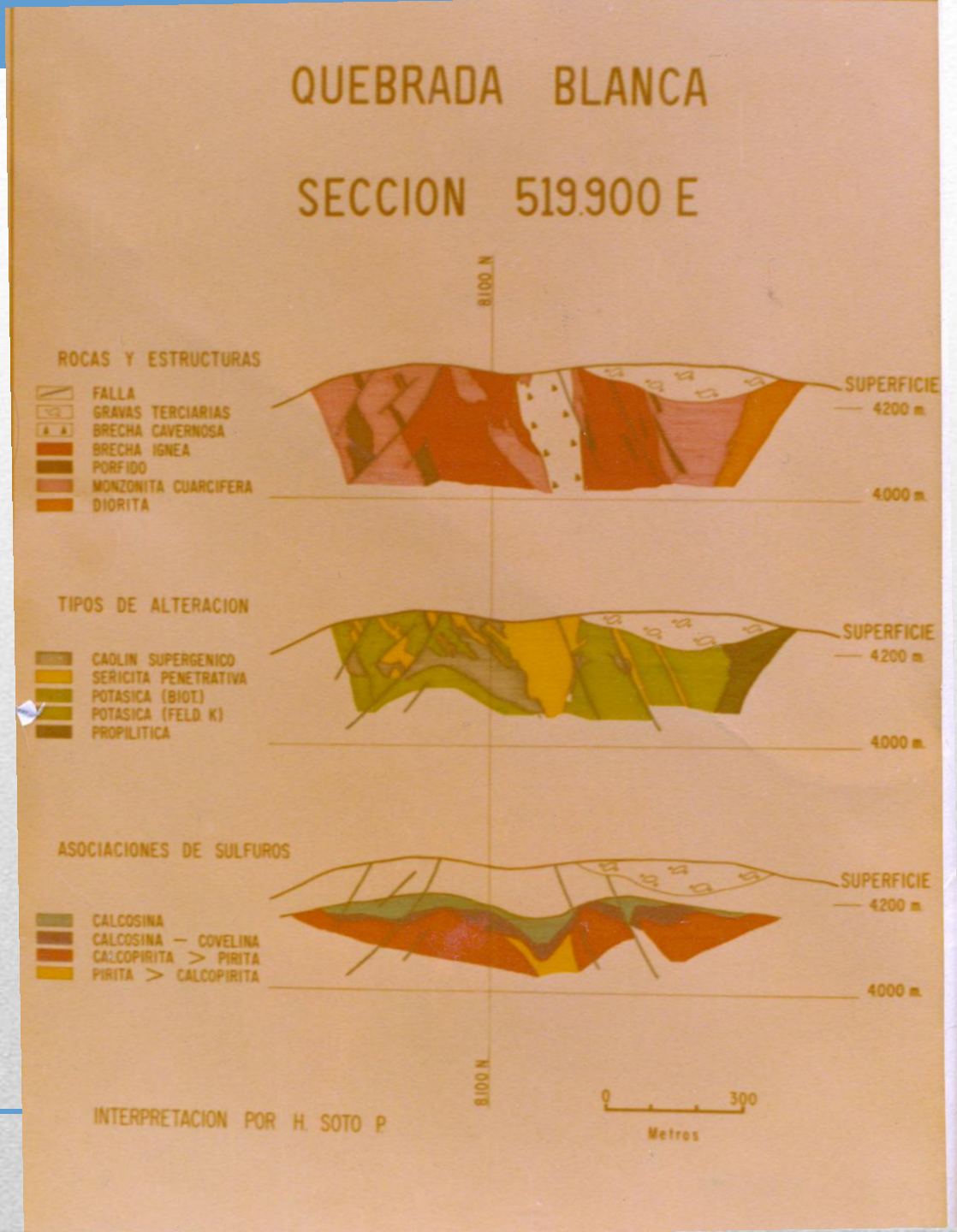
(una vez perforados
varios sondajes)

-Rocas y estruc-
turas

-Alteración

-Mineralización

EN SECCIÓN
TRANSVERSAL



4. CONCLUSIONES

- EL PRIMER MAPEO GEOLÓGICO DE QUEBRADA BLANCA (1959) PERMITIÓ ESTABLECER UN AMBIENTE DE PÓRFIDO CUPRÍFERO Y ESTIMAR UN POTENCIAL MUY APROXIMADO DE:
150Mt DE MINERALIZACIÓN CON ENRIQUECIMIENTO SECUNDARIO (asumiendo un manto de 100m de espesor)
 - ESTO FUE LA BASE PARA JUSTIFICAR UN TRABAJO DE EXPLORACIÓN SISTEMÁTICO EN 1977.
-

4. CONCLUSIONES

- EL MAPEO GEOLÓGICO COMPLEMENTADO CON MINERALOGÍA Y GEOQUÍMICA QUE REALIZÓ CÍA. EXPLORADORA DOÑA INÉS LTDA. EN 1977, COMPROBÓ LA INTERPRETACIÓN PREVIA Y PERMITIÓ ESTIMAR PRELIMINARMENTE UN POTENCIAL DE:
 - 100 Mt DE ENRIQUECIMIENTO ($> 1\%$ Cu, asume 75m espesor)
 - + VARIOS 100's Mt DE MINERAL PRIMARIO ($\geq 0,5\%$ Cu)
 - ESTO FUE LA BASE PARA JUSTIFICAR CAMPAÑAS CONSECUTIVAS DE SONDAJES:
 - DE COMPROBACIÓN (1977) CON RESULTADOS FAVORABLES,
 - DE EVALUACIÓN (1978-1981) EN MALLAS DE 100m y 50m EN EL SECTOR DE PAGO DE LA INVERSIÓN INICIAL (PAYBACK PERIOD).
-

4. CONCLUSIONES (cont.)

- DEL POTENCIAL ESTIMADO PRELIMINARMENTE CON EL MAPEO DE:
 - 100Mt DE ENRIQUECIMIENTO $> 1\%$ Cu,
 - + VARIOS 100's Mt DE MINERAL PRIMARIO $\geq 0,5\%$ Cu
 - AL TERMINO DE LAS MALLAS REGULARES DE SONDAJES (1981), SE ESTIMÓ UN RECURSO IN-SITU DE:
 - 80 Mt de ENRIQUECIMIENTO @ $1,6\%$ Cu – 150 ppm Mo
 - > 350 Mt de PRIMARIO y ENR. DÉBIL $> 0,6\%$ Cu
 - LO QUE JUSTIFICÓ LLEVAR A CABO EL ESTUDIO DE FACTIBILIDAD (1982)
-

Bibliografía

- Hunt, J. P., Bratt, J. A. and Marquardt, J. C., 1983.
Quebrada Blanca, Chile: An Enriched Porphyry Copper Deposit. Mining Engineering, June 1983, p. 636-644.
-

SITUACIÓN ACTUAL CON MOTIVO DEL PRONTO AGOTAMIENTO DE LOS SULFUROS SECUNDARIOS

- Explotación de la zona de sulfuros primarios mediante profundización del rajo y concentración por flotación. La producción anual sería de 275Kt Cu con Mo como subproducto.
- En trámite la solicitud de permiso ambiental, si se obtiene a comienzos del próximo año, podría entrar en operación en 3 años más, el 2021.
- La inversión requerida para desarrollar el proyecto es cercana a de US\$ 5.000 mm

Proyecto Fase II de Quebrada Blanca (Teck)

FIN I PARTE

Q. B. NEVAZÓN 1982

**PARTE II: APLICACIÓN DE LA EXPERIENCIA DE QUEBRADA
BLANCA EN LA EXPLORACIÓN Y DESCUBRIMIENTO DEL
YACIMIENTO GABY SUR
1994-1996**

(Mina Gabriela Mistral desde el 2008)



**PAMPA ELVIRA, DESIERTO DE
ATACAMA
REGIÓN DE ANTOFAGASTA
(mirada al W)**

DESCUBRIMIENTO DE GABY SUR

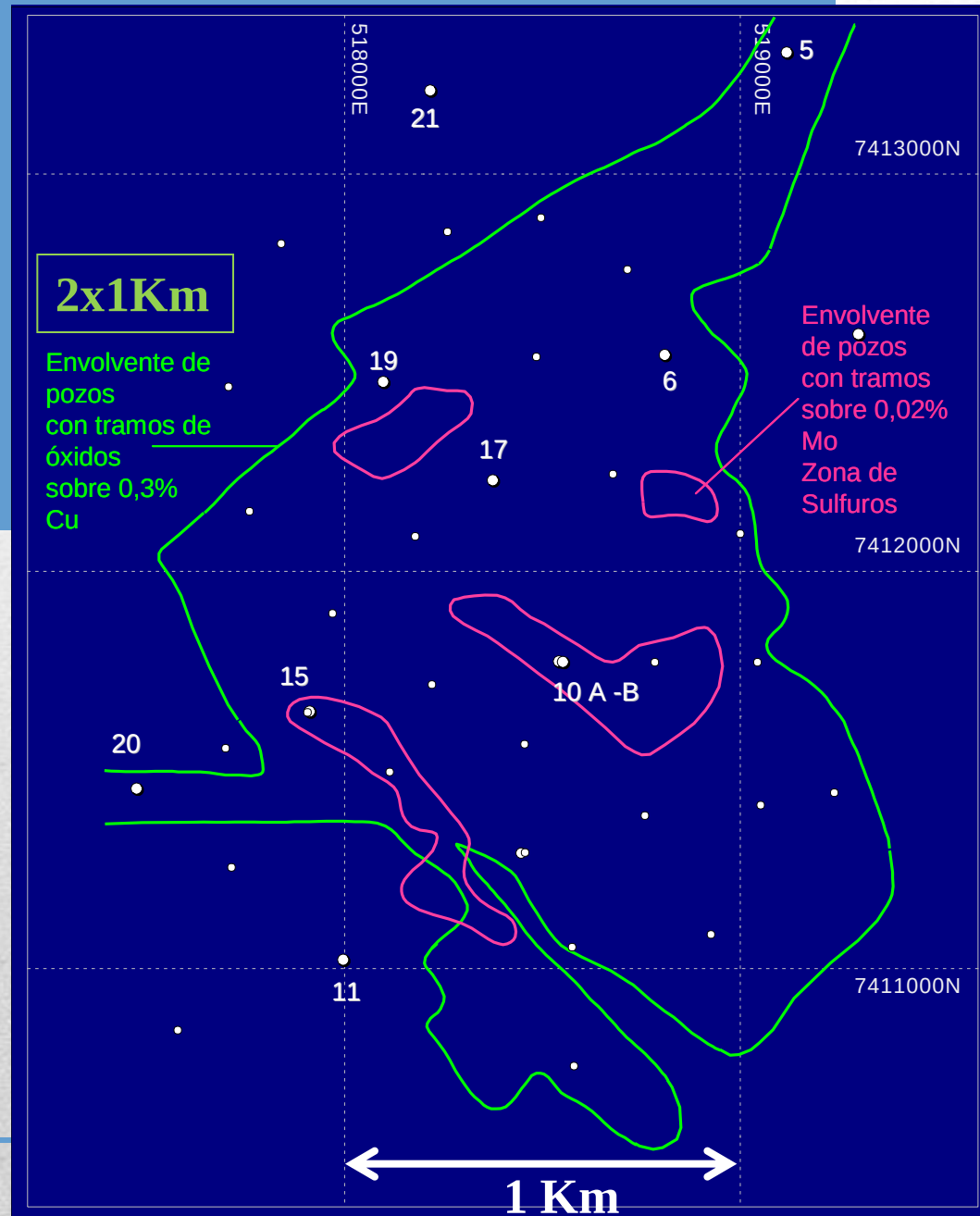
- Reconocimiento Geológico 1/50K de un paño de concesiones de exploración solicitadas para amparar zonas cubiertas ó llanos (objetivo: encontrar un PCD en una zona con cubierta post-mineral)
 - Tuvo como resultado el hallazgo de algunas manifestaciones, por ej. vetillas tipo “D”, que podrían asociarse a la existencia de un Pórfido Cuprífero en la vecindad.
 - Se establece un área de interés de 10x5 km², con potencial de contener un yacimiento.

DESCUBRIMIENTO DE GABY SUR

- Mapeo Geológico 1/20K del área de interés de 10x5 km²
- Igual que en Q.B., se mapea y producen mapas temáticos:
 - Rocas y estructuras, alteración y mineralización,
 - Mineralogía y zonas de alteración y mineralización (informada por el laboratorio de la mina de El Salvador)
 - Geoquímica con curvas isoplethes de Cu, Mo, Pb, Zn, etc.
- Como resultado, se encuentran OxCu en subafloramientos de un intrusivo al borde de un llano y, con los vectores obtenidos del mapeo, **se reduce el área de interés** a un llano de aprox. 4x2 km², lugar donde se hace un reconocimiento a profundidad con sondajes (Reverse Circulation) en una malla con aprox. 750 m de espaciamiento.

MAPA DE UBICACIÓN DE SONDAJES GABY SUR 1996

○ Pozo Aire Reverso Descubrimiento:
21 AR, 5.032m



GABY SUR → MINA GABRIELA MISTRAL

2008



FIN



Juan C. Marquardt – Geólogo Consultor
Geología y Exploraciones Mineras
56-2-2216 4765 / jcmarquardtl@gmail.com



Descubrimiento de Gaby 1996



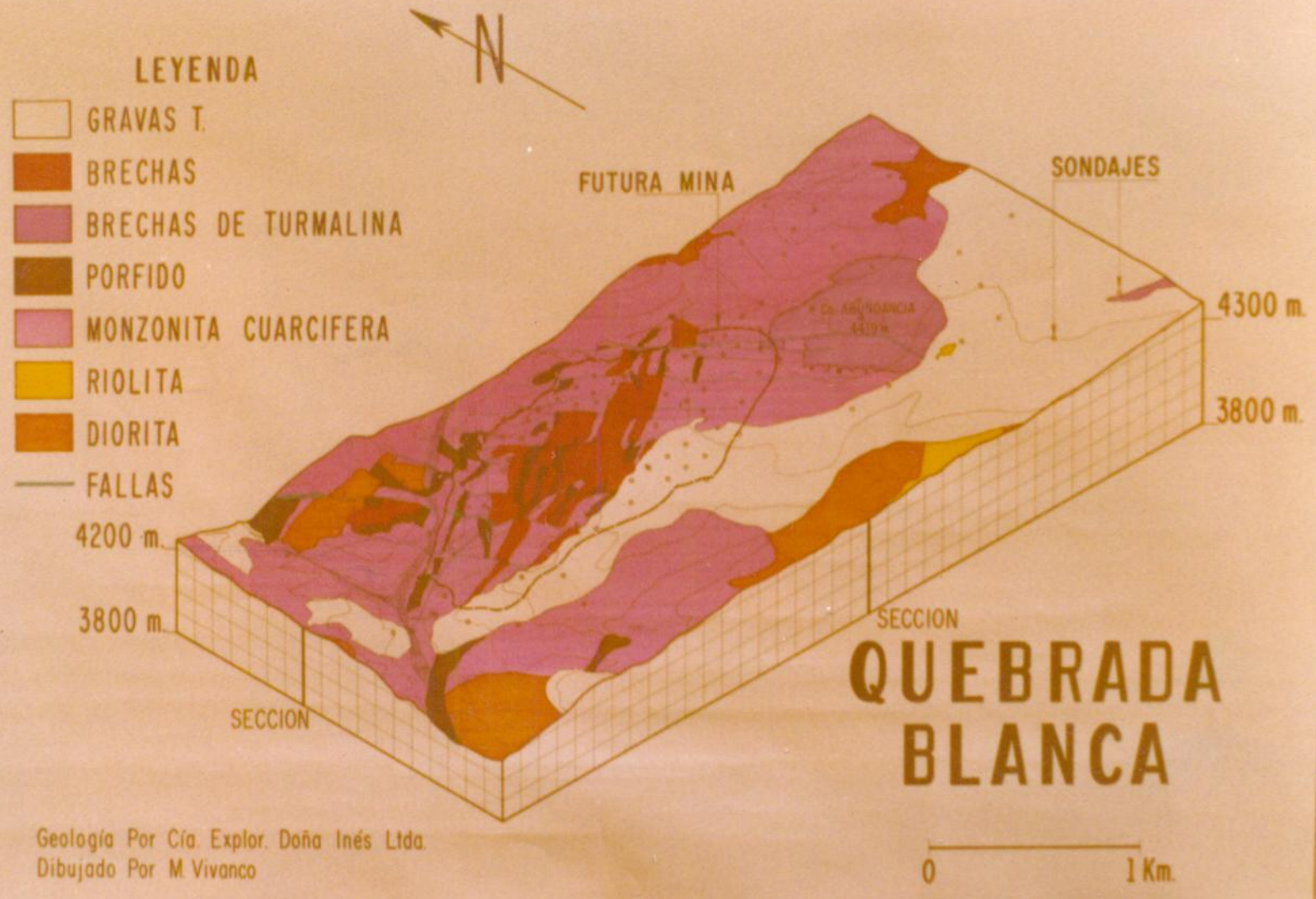
Descubrimiento de Gaby 1996

Porphyry Copper Definition

Two different definitions for the term “porphyry copper deposit”

➤ A low grade disseminated copper sulfide deposit amenable to bulk mining (open pit or block caving) and concentration methods.

➤ A disseminated or stockwork veinlet controlled copper sulfide system related genetically to a series of igneous intrusions generally exhibiting porphyritic textures.



BLOQUE 3D: LITOLOGÍA Y ESTRUCTURAS

MAPEO GEOLÓGICO

- COLOCAR UNA HOJA DE MAPEO COMO EJEMPLO