

**Universidad Nacional de Ingeniería**  
**Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica**



**GEOLOGIA ECONOMICA DE LA MINA**  
**BELLA UNION - HUALGAYOC**

**Tesis para optar el título profesional de**  
**INGENIERO GEOLOGO**

**SAMUEL CANCHAYA MOYA**

**LIMA - PERU**

**1,990**

A mis queridos hijos: Sergio,  
Renzo &  
Daniel

A mi querida esposa Charo y su  
linda familia

A mis queridos padres y hermanos  
y también a Gloria Guiño

RESUMEN

1. INTRODUCCION

- 1.1 Ubicación y acceso
- 1.2. Fisiografía y clima
- 1.3 Metodología
- 1.4 Agradecimientos

2. GEOLOGIA REGIONAL

- 2.1 Introducción
- 2.2 Estratigrafía
- 2.3 Rocas intrusivas
- 2.4 Tectónica
- 2.5 Geología económica
- 2.6 Geología histórica

3. GEOLOGIA LOCAL

- 3.1 Introducción
  - 3.1.1 Labores principales
  - 3.1.2 Planos
- 3.2 Petrología
  - 3.2.1 Rocas intrusivas
  - 3.2.2 Rocas volcánicas
  - 3.2.3 Rocas sedimentarias

3.3 Geología estructural

4. GEOLOGIA ECONOMICA

- 4.1 Generalidades
- 4.2 Descripción de los depósitos
  - 4.2.1 Vetas
  - 4.2.2 Mantos
- 4.3 Estudio geoestadístico
  - 4.3.1 Introducción
  - 4.3.2 Estudio estructural geoestadístico
  - 4.3.3 Estimación de reservas
  - 4.3.4 Comentarios e interpretación de los resultados

5. DISCUSION Y CONCLUSIONES

- 5.1 Introducción
- 5.2 Vetas
  - 5.2.1 Conclusiones mineralógicas importantes
  - 5.2.2 Secuencia paragenética de formación de los minerales
  - 5.2.3 Distribución y geometría de la mineralización

- 5.2.4 Interpretación genética
- 5.2.5 Condiciones de formación

### 5.3 Mantos

- 5.3.1 Significado de los rasgos sedimentarios en los horizontes con mineralización
- 5.3.2 Ubicación estratigráfica de los mantos
- 5.3.3 Formación de los mantos
- 5.3.4 Correlación con otras ocurrencias similares

## 6. RECOMENDACIONES

- 6.1 A nivel local
- 6.2 A nivel del Distrito Minero de Hualgayoc
- 6.3 A nivel regional

## 7. BIBLIOGRAFIA

## ANEXOS

## RESUMEN

La Mina de Cu-Ag-Pb-Zn Bella Unión pertenece al distrito minero de Hualgayoc-Cajamarca, el cual se ubica en la franja este del miogeosinclinal andino.

En Hualgayoc las principales estructuras son sinclinales, anticlinales y fallas regionales: tanto los ejes de los pliegues como las fallas tienen rumbos NW-SE (sistema andino).

Las rocas más antiguas de la región son los sedimentos clásticos del grupo Goyllarisquizga del Aptiano, los cuales afloran sólo en el núcleo del anticlinal Los Negros. Sobre ellos yace concordantemente una potente serie predominantemente calcárea con intercalaciones ocasionales de sedimentos clásticos y horizontes volcánicos. Estas calizas se subdividen en muchas formaciones, todas pertenecientes al cretáceo, sobre las cuales se depositaron discordantemente los volcánicos Calipuy de extensión regional.

Durante el terciario las rocas de la zona fueron intruídas por varios plutones hipoabisales, entre los cuales pueden definirse los tipos: cuarzo-dioritas porfiríticas y granodioritas porfíricas más jóvenes. Las calizas no muestran alteración importante al contacto con las cuarzo-dioritas, mientras que al contacto con las granodioritas ocasionalmente ocurren pequeños cuerpos de skarn.

En base al mapeo geológico y a las observaciones de campo, los yacimientos en el distrito de Hualgayoc se pueden clasificar en cuatro tipos principales: mantos de Pb-Zn, de pirita-cuarzo y complejos; vetas de Cu-Pb-Zn-Ag; cuerpos irregulares de Cu-Ag-As y depósitos intracársticos de Pb-Zn-(Ag).

En Bella Unión sólo ocurren vetas hidrotermales y mantos. Las únicas vetas de importancia económica son las vetas "A" y "Z", que se encuentran rellenando estructuras de cizalla de movimiento dextral, pertenecientes al sistema Yanacancha. Se trata de vetas hidrotermales con rocas calcáreas y/o intrusivos como roca de caja. Estas vetas polimetálicas están relacionadas a los eventos tectónicos y magmáticos terciarios.

Los minerales principales en la veta A son: cuarzo, pirita, enargita luzonita, cobregrises y calcopirita; mientras que en la veta Z se observa esfalerita, galena calcopirita, cobregrises, carbonatos y cuarzo.

Una notable alteración hidrotermal de las rocas encajonantes acompaña a este tipo de mineralización. Ella está caracterizada principalmente por la marmolización y silicificación de las calizas y la propilitización, sericitización y silicificación del intrusivo.

Para el estudio geoestadístico de ambas vetas se contó con 343 muestras analizadas por Cu y Ag provenientes de galerías, tajos y chimeneas. Tanto en dirección vertical como horizontal se encontró variogramas de meseta con alcances promedio de 10 m. (estructuras isotropas). Empleando la técnica del kriging se estimaron la potencia y leyes de todos los paneles cubricados en ambas estructuras; calculándose 102,000 toneladas de reservas para la veta A, con 2.5% Cu y 8.6 oz. Ag/Ton; mientras que en la Z sólo 15,000 toneladas con 2.4 % Cu y 29.5 oz. Ag/Ton.

Los horizontes estratoligados en Hualgayoc ocurren en una serie albiana compuesta de calizas y margas con algunas intercalaciones de lutitas y areniscas. Los minerales opacos ocurren en forma de lentes, concreciones, "schlieren" y finamente diseminados.

Los mantos en Bella Unión se ubican al parecer en la base de la formación Yumagual del Albiano medio. Según su mineralogía y contenido metálico estos mantos se pueden clasificar en dos grupos:

- a. Mantos de Pb-Zn, en los cuales los minerales principales son: galena, esfalerita, carbonatos, cuarzo y pirita. En menor proporción ocurren sericita, hematita, arcillas, magnetita y limonitas.
- b. Mantos de cuarzo-pirita, llamados así por el predominio de tales minerales, los cuales ocurren masivos y ocasionalmente porosos y estratiformes. Subordinadamente aparecen calcopirita, esfalerita, galena, calcita, cobregrises y enargita.

Las interpretaciones puramente epigenéticas referidas a estos yacimientos estratoligados enfrentan una serie de problemas a la luz de las nuevas observaciones de campo (especialmente respecto a la geometría), y de las investigaciones petrográficas y mineralógicas.

En los mantos la mineralogía es simple y las menas presentan una granulometría fina. En contraposición las vetas poseen una mineralogía más compleja y, por lo general, de grano grueso. Esto indica diferentes condiciones de formación para cada tipo de estructura.

El hecho de que los mantos se circunscriban sólo a determinados horizontes, la ocurrencia de lentes y concreciones de material orgánico y chert asociados a las menas, así como la presencia de estructuras sedimentarias que comprometen menas y gangas, insinúan un origen sinsedimentario de los sulfuros.

Por otro lado no existe relación genética ni espacial entre los mantos y los intrusivos y además las rocas de caja muestran sólo ocasionalmente una débil alteración hidrotermal, lo cual también

apoya la hipótesis singenética.

Respecto a la procedencia de los elementos es importante la presencia de delgados horizontes tufáceos, especialmente relacionados a los mantos de pirita-cuarzo. En tales horizontes se observaron zeolitas de devitrificación. Esto sugiere cierta filiación volcánica.

Para los mantos de Bella Unión se postula una formación mixta sedimentaria-exhalativa, en un medio submarino de aguas poco profundas. Estos mantos se pueden clasificar como yacimientos cripto- o televolcánicos (según el esquema de AMSTUTZ 1976) o como distales (según el esquema de PLIMER 1978), en relación con un foco volcánico ubicado en la franja eugeosinclinal, donde se formaron los yacimientos "proximales" de Tambogrande, Potrobayo y Totoral (también albianos).

En Hualgayoc y al sur de este distrito minero se encuentran yacimientos similares a los que ocurren en Bella Unión. Lamentablemente su correlación regional es imposibilitada por la falta de estudios suficientemente detallados.

Investigaciones adicionales son pues necesarias para establecer este nuevo metalotecto de yacimiento estratoligados, que se sumaría a los ya descritos en rocas calcáreas triásico-jurásicas (metalotecto Pucará) y en rocas neocomianas (metalotecto Santa).

## I. INTRODUCCION

El presente trabajo ha sido preparado para obtener el título profesional de Ingeniero Geólogo en la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Viene a ser el resultado de una serie de estudios realizados por el autor en el lapso de 15 años, durante los cuales ha visitado la mina varias veces.

Varios son los trabajos publicados sobre la mina Bella Unión: CANCHAYA & TUMIALAN (1976), CABOS (1981), CANCHAYA (1982) y CANCHAYA & BERNUY (1983). Además existen diversos informes privados, especialmente del Banco Minero, así como dos estudios geológicos (CANCHAYA 1980 y HUDSON et al. 1980) en los cuales se encuentra la mayor información geológica disponible sobre la mina en cuestión. Aparte de ello algunos trabajos regionales o distritales incluyen la mina Bella Unión, entre los que destaca el informe de ERICKSEN et al. (1956).

El presente trabajo se inicia con un breve resumen de la geología del distrito minero de Hualgayoc. A continuación se reseña la geología de la mina Bella Unión y se describen sistemáticamente las principales estructuras con mineral.

En una sección aparte se hace el estudio geoestadístico, circunscrito sólo a las vetas A y Z, realizado con el objeto de ubicar óptimamente ambas estructuras; pero además, de estudiar la distribución de sus leyes, correlacionándolas con la mineralogía, tipo de roca, potencia de la estructura, etc.

El capítulo 5 comprende todo el paquete de discusiones y conclusiones, tanto de las vetas como de los mantos, las que sirven de base para el planteamiento de las recomendaciones resumidas en el capítulo 6.

Se espera que la presente tesis ayude a comprender la geología de Bella Unión y que sirva para orientar la explotación, futuras exploraciones e investigaciones; además de significar una contribución más al conocimiento del importante distrito minero de Hualgayoc.

### 1.1. UBICACION Y ACCESO

La mina Bella Unión se encuentra en el distrito minero de Hualgayoc que pertenece a la provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca (fig.1), y aproximadamente a unos 4 Km. en línea recta al NW del pueblo de Hualgayoc, que tiene las coordenadas:  $6^{\circ} 46'S$  y  $78^{\circ} 37' W$ .

El acceso a la zona de estudio es facilitado por dos vías principales: la primera es un ramal norte que se separa de la carretera Cajamarca - Hualgayoc, poco antes de llegar al Km. 84; la otra vía sale de Hualgayoc, pasa por la quebrada Mesa de

Plata, el cerro Marta, para luego unirse al ramal anterior poco antes de llegar a Tingo. Ambas vías son de tierra afirmada, la segunda es transitable sólo para vehículos pequeños, o sin carga, y en épocas de poca precipitación.

## 1.2. FISIOGRAFIA Y CLIMA

Fisiográficamente la zona de estudio se encuentra en el flanco oriental de la cordillera occidental, cerca de la divisoria continental (Fig.3).

En líneas generales la región es una puna que ostenta en sus partes altas valles de poca pendiente y en sus cotas inferiores, valles agudos y profundos que se han formado según el curso de las corrientes principales. Los agentes modeladores preponderantes de la zona han sido: la erosión glacial y fluvial.

Aunque el hielo permanente ha desaparecido por completo de la zona, quedan algunas evidencias de que el área ha sido afectada por varias glaciaciones; por ejemplo los valles en U (algunos escalonados) cuyos pisos y bordes están cubiertos por morrenas laterales y frontales; lagunas y pantanos de origen glacial, etc.

El drenaje es hacia el E (hoya amazónica). Los ríos principales: Hualgayoc y Pílancones, inicialmente drenan hacia el NE al río Llaucano, éste a su vez desemboca en el río Marañón (fig.1), el que finalmente llega al Amazonas.

El clima presenta dos estaciones bien marcadas: una de abril a setiembre, que es la época seca con precipitaciones raras, y la otra de octubre a marzo que es la estación húmeda con precipitaciones frecuentes, tanto sólidas como líquidas.

## 1.3 METODOLOGIA

El autor tuvo el primer contacto con la zona en cuestión en Setiembre de 1974, en un viaje de estudio que un grupo de ingenieros y alumnos de la UNI realizó al distrito minero de Hualgayoc, por un encargo del Banco Minero y del Ministerio de Energía y Minas. Desde entonces ha realizado numerosas visitas, la última en Octubre de 1985, sumando en total doce meses netos de trabajo de campo, durante los cuales completó el mapeo geológico superficial y subterráneo, y la recolección de muestras; en forma paralela realizó el trabajo de gabinete, el estudio microscópico de las secciones pulidas y delgadas, la interpretación final, redacción y la preparación final del trabajo.

El plano geológico regional (Fig.2) fue confeccionado fundamentalmente sobre la base de los trabajos de BENAVIDES (1956a y b), HOLLISTER & SIRVAS (1974), REYES (1974) y las observaciones del suscrito.

En la realización del plano del distrito minero de Hualgayoc (fig.4) se utilizó como base topográfica, el levantamiento estereofotogramétrico de la Región de Hualgayoc hecho por el Instituto Geológico Militar para el Proyecto Tinajones: hoja N°. 4, cuya escala original es: 1:25,000 con coordenadas arbitrarias y cotas referidas al nivel del mar.

La geología superficial de la mina ha sido levantada con plancheta autoreductora a una escala de 1:2000 y la geología de las labores subterráneas se ha tomado sobre los planos y secciones topográficas levantadas en 1:500.

En este trabajo, por comodidad todos los planos se presentan reducidos a formato A-4. Los planos en su tamaño original se podrán encontrar en el informe privado realizado por el suscrito (CANCHAYA 1980) o en los archivos de la compañía - Bella Unión S.A.

Tanto la geología regional como la local se basan fundamentalmente en dos trabajos anteriores: CANCHAYA (1980, 1982); mientras que la investigación de las estructuras con mineral ha sido profundizada a partir de los datos y conclusiones presentados en CANCHAYA & TUMIALAN (1976), CABOS (1981) y CANCHAYA (1982 y 1987c). El estudio geoestadístico se desarrolló en base a los resultados previos preparados por CANCHAYA (1980) y CANCHAYA & BERNUY (1983).

Todo el material ha sido nuevamente evaluado y revisado desde otro punto de vista distinto al considerado en los trabajos arriba mencionados, ya que en esta tesis el objetivo principal es el estudio de la geología económica de la mina, lo cual exigió no sólo la recopilación de nuevos datos, especialmente compilados en la última visita a la mina, sino también un tratamiento más integral de toda la información disponible.

El trabajo de gabinete (microscopía, geoquímica, difracción de rayos X, consulta bibliográfica, redacción, etc.) fue realizado en los laboratorios de la facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica de la Universidad Nacional de Ingeniería y en parte en el Instituto Mineralógico y Petrográfico de la Universidad de Heidelberg - Alemania.

#### 1.4. AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su agradecimiento a la Compañía Bella Unión Minas S.A. en la persona del Ing. Julio Rodríguez Cubas por las facilidades y apoyo brindados, también a la Srta. Juana Cubas por sus invaluable atenciones durante mi estancia en Hualgayoc; al Sr. Yalle, capatáz de la mina y a todos los obreros de la mina que se turnaron en ayudarme en el mapeo geológico y en la recolección de muestras.

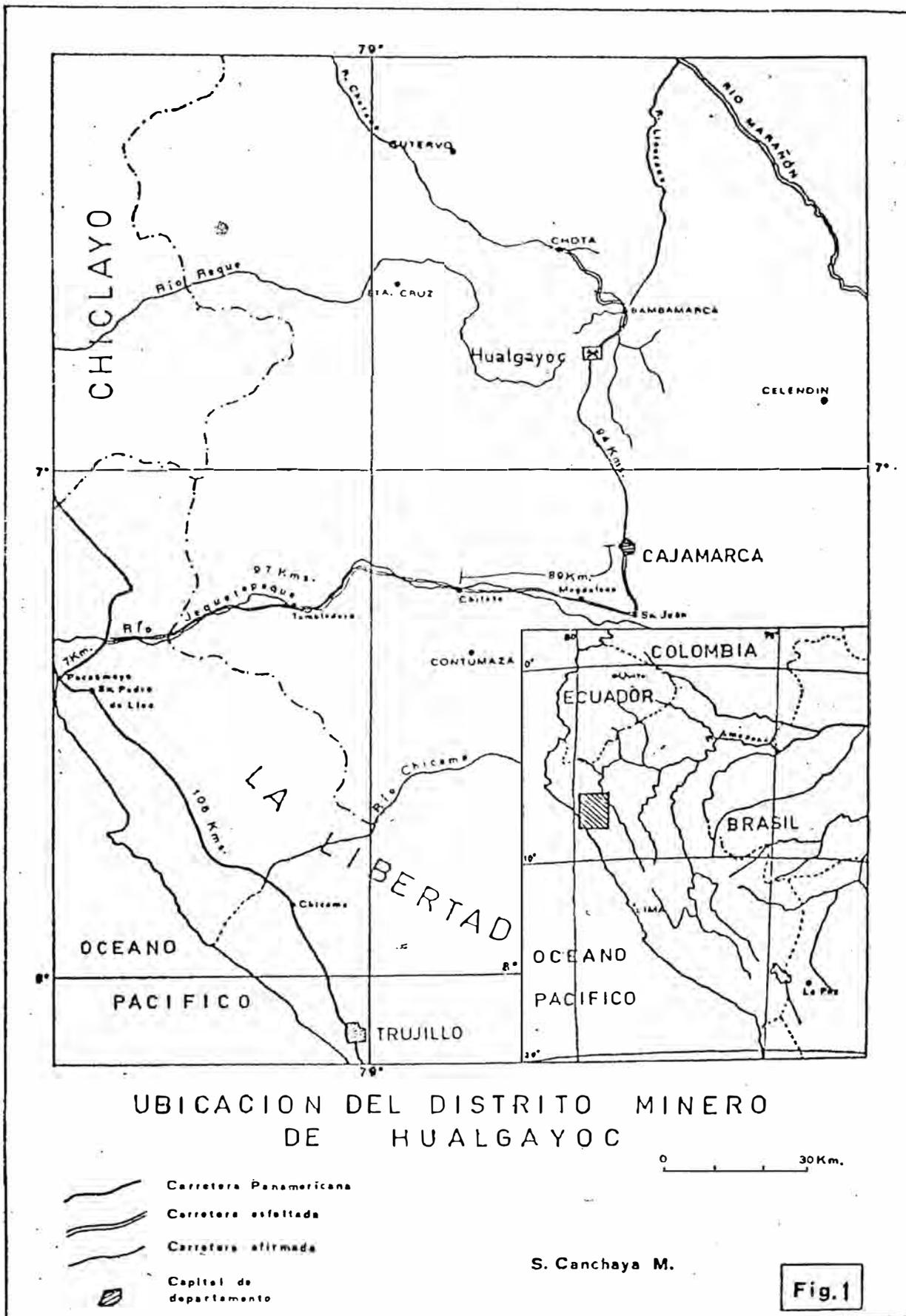
Durante el levantamiento geológico superficial inicial, en Setiembre de 1974, colaboraron J. Martinez, J. Valera y L. Hidalgo.

También debo expresar mi agradecimiento al Prof. Dr. G.C. Amstutz de la Universidad de Heidelberg - Alemania por haberme apoyado durante la realización de una parte de este estudio, el cual fue el punto principal de mi programa de especialización como becado de la Carl Duisberg Gesellschaft.

De manera especial debo agradecer a mi querida esposa por su paciencia y comprensión durante la realización de este trabajo, así como por el mecanografiado final. Al Sr. E. Sanchez (en Lima) y a los Sres. H. Lämmler y O. Stadler - (en Heidelberg) por la preparación de las secciones pulidas y delgadas.

A E. Zenteno y a J. Cueto por el trazado de algunos dibujos que ilustran la tesis y a Ch. Hirose y R. Beltrán por su eficiente colaboración en el trabajo bibliográfico.

Finalmente a todas aquellas personas que en una u otra forma, tanto en el campo como en el gabinete, han brindado su cooperación en la consecución del presente trabajo.



## GEOLOGIA REGIONAL

### 2.1 . INTRODUCCION

La región minera de Hualgayoc se encuentra en el extremo norte de la provincia metalogenética andina.

Dentro del Geosinclinal andino, la zona en estudio se encuentra ubicada en el borde oriental de la zona Eugeosinclinal; lo cual esta en concordancia con los cambios notable de potencia y facies de las series sedimentarias y por la ocurrencia de algunas capas volcánicas que ocurren como interestratificaciones dentro de la pila sedimentaria; además de otros rasgos geoestructurales observados.

Muchas estructuras regionales se encuentran controlando la ubicación espacial de las intrusiones y yacimientos. Por ejemplo, algunos stocks intrusivos se encuentran notablemente alineados según una dirección NW-SE, visiblemente controlados por estructuras regionales como la falla Hualgayoc (fig.2).

Existen vestigios reconocibles de hasta cuatro movimientos deformatorios del ciclo andino que se reflejan en las formaciones geológicas aflorantes; éstos movimientos se iniciaron a fines de Mesozoico y continuaron en el Cenozoico.

Los plegamientos son interpretados como producto de compresiones tectónicas. Los pliegues son sencillos debido tal vez a que en general la secuencia es litológicamente homogénea y en consecuencia equicompetente a la acción de los esfuerzos.

En las partes meridional y central de la cordillera de los Andes peruanos, las estructuras plegadas y los corrimientos mantienen en forma general las conocidas direcciones andinas NW-SE; sin embargo a la altura de Cajabamba, las estructuras experimentan una progresiva deflexión de sus rumbos hasta alcanzar en algunos casos casi una dirección E-W, para retomar después su dirección normal más hacia el Norte, a partir de Chota y Cutervo.

La fig. 2 muestra el marco geológico regional del distrito minero de Hualgayoc al cual pertenece la mina Bella Unión.

### 2.2 . ESTRATIGRAFIA

En el área estudiada afloran rocas de edades cretácea, terciaria y cuaternaria (fig.4) la pila sedimentaria está conformada por la formación Goyllarisquisga

(areniscas y lutitas), las formaciones Inca, Chulec y Pariatambo y los grupos Pullucana, Quillquiñan y Otuzco (series calcáreas, margosas con areniscas y lutitas interestratificadas). Además se ha reportado la ocurrencia de varios horizontes volcánicos erráticos, muy poco potentes, para cuya ubicación estratigráfica es preciso realizar un estudio más detallado.

Especialmente la parte oeste de la zona se encuentra cubierta por material volcánico, que se supone de edad Neoterciaria, se encuentra cubriendo parcialmente a los sedimentos cretáceos plegados; en general su composición varía desde andesítica a dacítica.

Finalmente morrenas pleistocénicas se encuentran cubriendo los pisos de los valles y algunas laderas. Consisten principalmente de fragmentos inconsolidados de rocas ígneas porfiríticas y calizas que varían en tamaño desde pequeños guijarros hasta algunos metros de diámetro.

En la figura 5 se presenta una columna estratigráfica referida a las rocas que afloran en el área comprendida en el plano geológico de la figura 4.

### 2.3. ROCAS INTRUSIVAS

Los cuerpos intrusivos mayores de la zona son los stocks (en un caso llegan a tener cerca de 20 Km<sup>2</sup> de área). Esencialmente presentan textura porfirítica, variando en composición desde cuarzodioritas a granodioritas.

Es notable la presencia de algunos afloramientos cuarzo-limoníticos porosos y de apariencia cavernosa; son cuerpos métricos a decamétricos, a veces concordantes y con formas alargadas según la dirección del rumbo de los estratos sedimentarios. Aunque es posible que algunos puedan ser casquetes de sílice de intrusivos (por lo general no aflorantes), en otros casos parecen ser más bien horizontes o lentes de cuarcita; bajo el microscopio, en sección delgada, sólo se identifica cuarzo granular y masivo con limonitas en venillas y rellenando cavidades, minerales opacos (pirita, hematita, magnetita y limonita) como granos diseminados en direcciones subparalelas. En una muestra del cerro Corona, también se observó pequeños granos diseminados de calcopirita y bornita (muy escasos). En la fig.4 estas rocas se han mapeado como si fuera de un solo tipo; es necesario mayor estudio, ya que algunas zonas económicas parecen estar directamente relacionadas con estos cuerpos.

Los intrusivos más pequeños: sills y diques, varían en tamaño desde algunos metros hasta 2 Km. de largo, y desde menos de un metro hasta a veces 300 m. de espesor.

Al parecer los grandes intrusivos se emplazaron a más o menos al mismo tiempo y las variaciones en su composición estarían reflejando un proceso de diferenciación a partir de un magma único original; con lo que todos ellos vendrían a ser sólo protuberancias de una gran masa intrusiva infrayacente.

## 2.4. TECTONICA

Toda la secuencia estratigráfica preterciaria de la región fue plegada y fallada por fases tectónicas sucesivas, las cuales ocurrieron fundamentalmente desde el cretáceo superior hasta el terciario inferior. Paralelamente se da una intensa actividad magmática tanto intrusiva como extrusiva. Comparativamente las rocas cenozoicas no se encuentran tan afectadas, reconociéndose fundamentalmente sólo procesos de reactivación tectónica.

En la figura 6 se muestran los principales rasgos tectónicos del distrito de Hualgayoc. En base a un estudio estadístico de las principales estructuras se pudieron diferenciar varios sistemas tectónicos (fig.7). En la fig.7A se pueden reconocer dos sistemas regionales:

- a. Un Sistema de rumbo promedio N 50°W, según el cual se alinean los ejes de los grandes pliegues del distrito (Anticlinal y Sinclinal Los Negros) así como fallas regionales (ejem. Apan Alto), ver Fig.6.
- b. El sistema N 25°W al cual pertenecen la mayor parte de las fallas regionales mapeadas, las que ocurren fundamentalmente en la zona sur del distrito minero.

Ambos sistemas, que coinciden en líneas generales con las conocidas direcciones andinas regionales (Sistema Andino, fig.7E), parecen haber controlado el emplazamiento de la mayor parte de los intrusivos, los cuales a su vez presentan juegos de fracturas originados por fuerzas tectónicas posteriores como los que muestran el intrusivo Tanta Huatay (Fig.7B). Entre todos los sistemas allí encontrados, predomina el de rumbo promedio N 25°W.

Las fallas y fracturas restantes, por lo general más pequeñas, se pueden agrupar en dos sistemas:

- a. El Sistema Yanacancha, con rumbo N 70°-80°E, el cual predomina en la parte sur del distrito (Fig.7D).
- b. El Sistema Predilecta, con rumbo N 80°-90°W, el cual predomina en la parte norte del distrito (Fig.7C).

Desde el punto de vista económico, estos dos últimos sistemas son los más importantes, ya que comprenden la mayor parte de las vetas mineralizadas. Al Sistema Yanacancha pertenecen, entre otras, las vetas Tres Mosqueteros, Centinella, Paccha y las Vetas "A" y "Z" de la Mina Bella Unión, así como la mayor parte de las vetas del Cerro Jesús. Al Sistema Predilecta pertenecen en cambio las vetas Proveedora, Polvorín (mina Colquirrumi), los Negros, las vetas "C", "D", "E" y "F" de la Mina Bella Unión, entre otras.

## 2.5. GEOLOGIA ECONOMICA

En base a características geométricas texturales y mineralógicas en Hualgayoc se pueden diferenciar 4 tipos principales de yacimientos (ver cuadro 1):

- a. Yacimientos estratoligados
- b. Vetas polimetálicas
- c. Cuerpos irregulares cuarzo-enargíticos
- d. Yacimientos intracrísticos

Aparte de ellos también ocurren algunos yacimientos tipo stockwork como es el caso de las Minas Las Gordas y Colorada (TUMIALAN et al. 1976) y Cerro Corona (HUDSON et al. 1980). Por otro lado algunas perforaciones diamantinas realizadas por la Northern Peru Mining and Smelting Company en el Intrusivo Tanta Huatay indicaron un cuerpo de Cu diseminado de baja ley. Tales perforaciones fueron realizadas en los primeros años del decenio de 1920 (ERICKSEN et al. 1956)

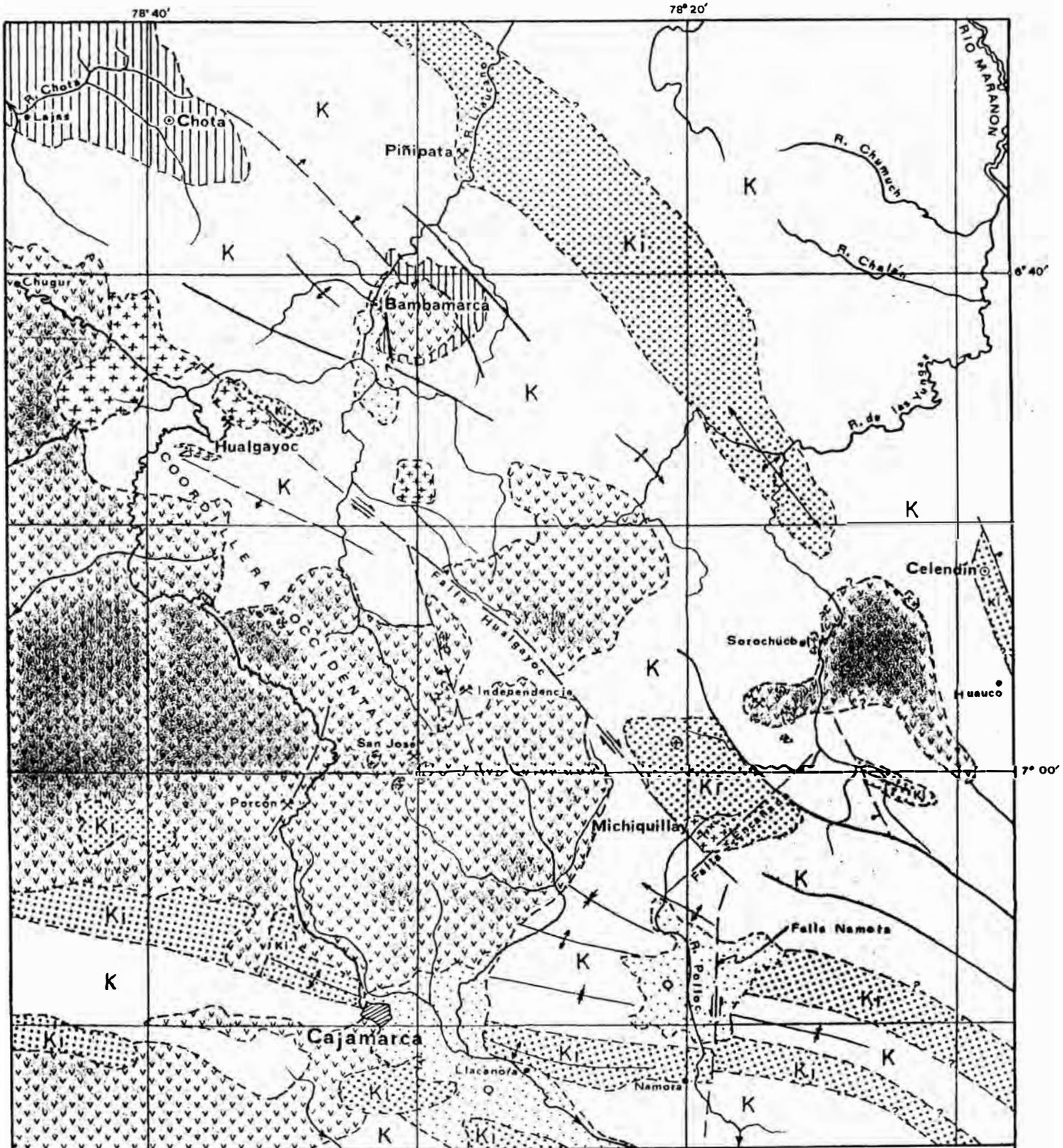
En el contacto entre los intrusivos dioríticos y las calizas no se observa alteración notable. En contraposición con ello, las rocas calcáreas en el contacto con rocas granodioríticas muestran mayor alteración: desde simple recristalización-marmolización hasta silicificación casi completa. Se debe mencionar sin embargo que sólo en un caso (Mina Cañón, CANCHAYA 1980) se ha observado la formación de un skarn; aunque PAREDES (1980) da cuenta de otros indicios, un tanto dudosos, de skarnización y metasomatismo en la mina Los Mantos.

En el cuadro 2 se presenta una lista de todos los minerales hasta ahora reportados en el distrito. A escala regional se observa en Hualgayoc un determinado zonamiento mineralógico, el cual fundamentalmente se cumple para las vetas polimetálicas y los cuerpos irregulares cuarzo-enargíticos (CANCHAYA & TUMIALAN 1976; SIRNA 1976; CANCHAYA 1980, 1982; CABOS 1982 y VIDAL & CABOS 1983):

- a. Una zona predominantemente enargítica, hacia el extremo NW del distrito (minas Cleopatra, Tres Mosqueteros, Tres Amigos, etc.)
- b. Una zona de calcopirita -cobregrietas, ubicada en la zona central (minas Proveedora, Bella Unión, Amaru, etc.)
- c. Una zona de esfalerita y galena predominantes, a la cual pertenecen la mayor parte de las minas del sector SE del distrito, así como las minas Sinchao-María Eugenia y Congas en el extremo norte del distrito.

## 2.6. GEOLOGIA HISTORICA

Las rocas más antiguas de la región son los sedimentos clásticos del grupo - Goyllarisquizga del Aptiano, los cuales sólo afloran en el núcleo del anticlinal Los Negros. A fines del Aptiano y comienzos del Albiano se inicia la transgresión marina (formaciones Inca y Chulec) mientras hacia el oeste en la zona eugeosinclinal se depositaban los volcánicos sedimentarios del grupo Lomas y más tarde del grupo Lancones del Albiano superior-Cenomano inferior (correlacionales en la zona con los sedimentos, fundamentalmente calcáreos, de las formaciones Pariatambo y parte del grupo - Pulluicana); simultáneamente, al este hacia la plataforma, se depositaban las margas de la formación Crisnejas. En este punto el mar cubría totalmente la región llegando hasta el oriente peruano, permaneciendo así hasta el Santoniano; durante este lapso se depositaron fundamentalmente rocas calcáreas (grupos Pulluicana, Quillquinán y Otuzco; formación Jumasha al - oriente). La sedimentación cretácea fue interrumpida por el primer movimiento deformatorio del ciclo andino (subsecuentemente se depositaron las "Capas rojas" de la Formación Chota) seguido de múltiples movimientos deformatorios que diseñaron los principales rasgos morfoestructurales de la región y que controlaron los fenómenos sin- y posttectónicos (emplazamiento de los intrusivos, ubicación espacial de los yacimientos, etc.); el más importante fue el segundo movimiento (post Capas rojas) al cual se asocia una intensa etapa de actividad magmática intrusiva y efusiva (Volcánicos Calipuy) y además la formación de la mayoría de los yacimientos hidrotermales de la zona.



- Cuaternario
- Intrusivo terciario
- Volcánico terciario
- Capas rojas Ks-T.
- Cretáceo medio y sup.
- Cretáceo inferior

- Anticlinal con eje buzante
- Sinclinal
- FALLAS**
- mostrando dirección del buz.
- mostrando lado hundido y sentido del desplaz. relat.
- CONTACTOS**
- aproximados
- dudosos
- Ríos importantes
- Carreteras principales

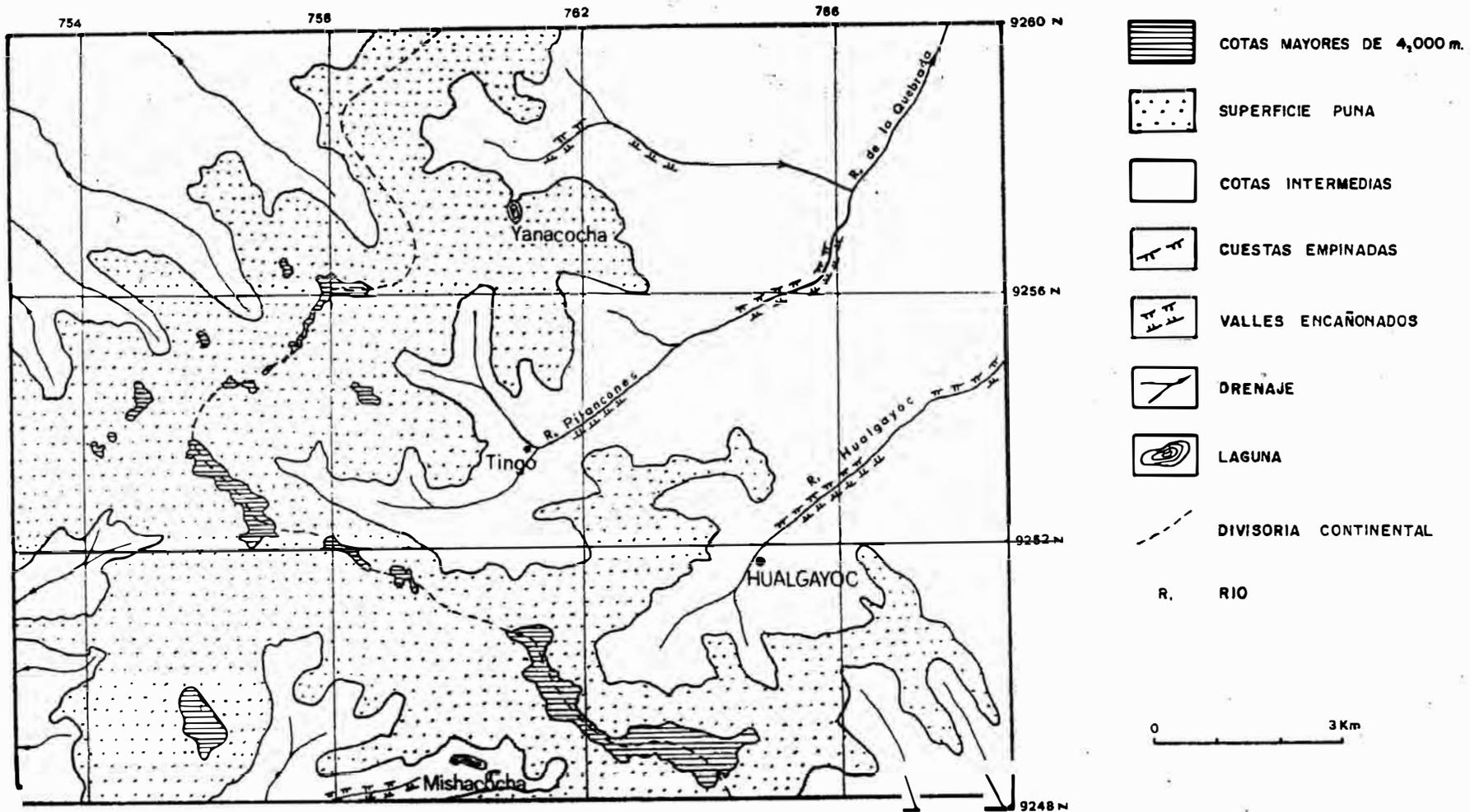
**PLANO GEOLOGICO REGIONAL**  
entre Chota, Cajamarca y Celendin

S. CANCHAYA M.  
Enero 1977.

- Zonas mineras
- Localidad importante
- Capital de provincia
- Capital de departamento

0 5 10 15 Km.

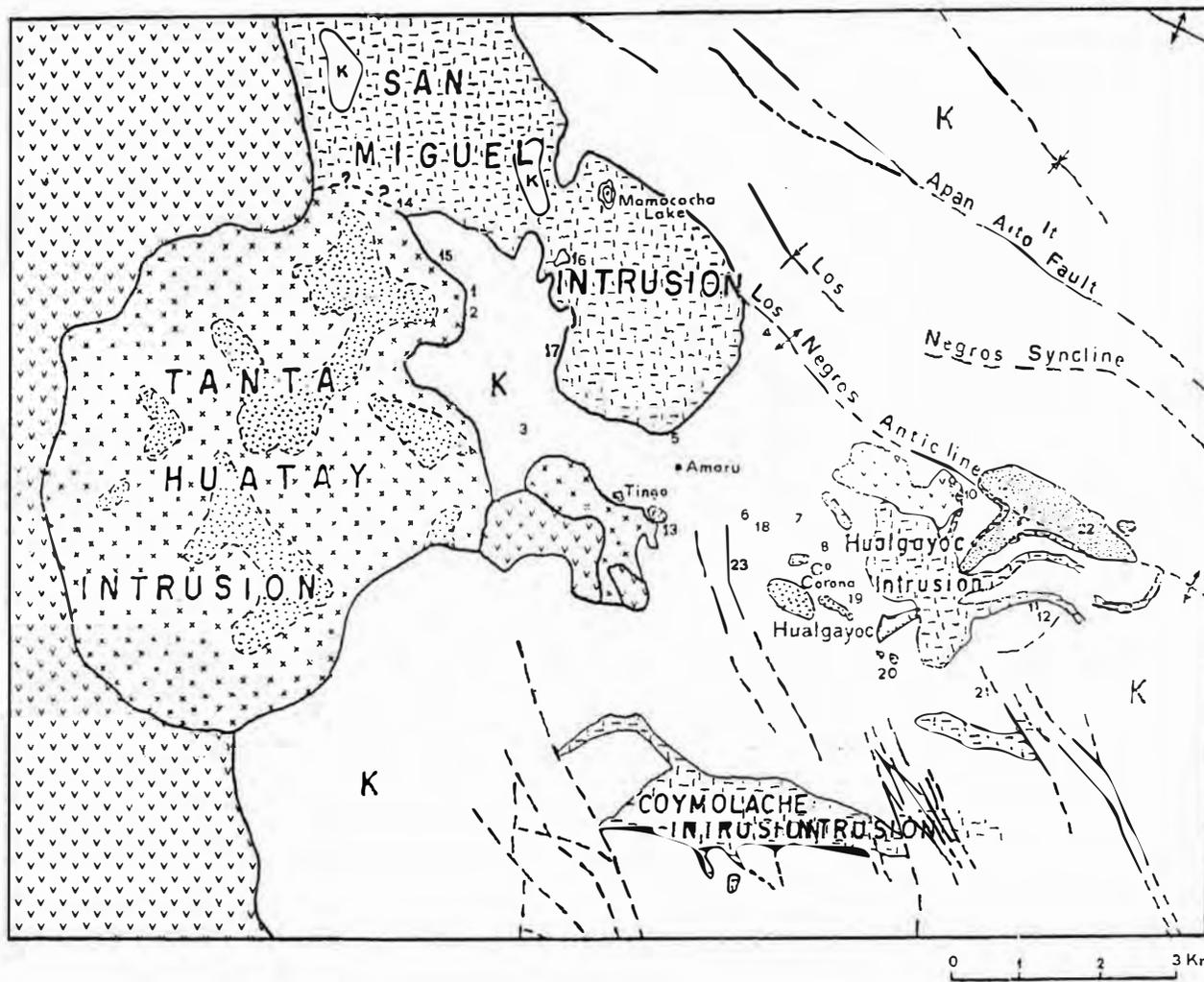
**Fig. 2**



**PLANO FISIOGRAFICO DEL DISTRITO MINERO DE HUALGAYOC**

**FIG.3**

S.C./80



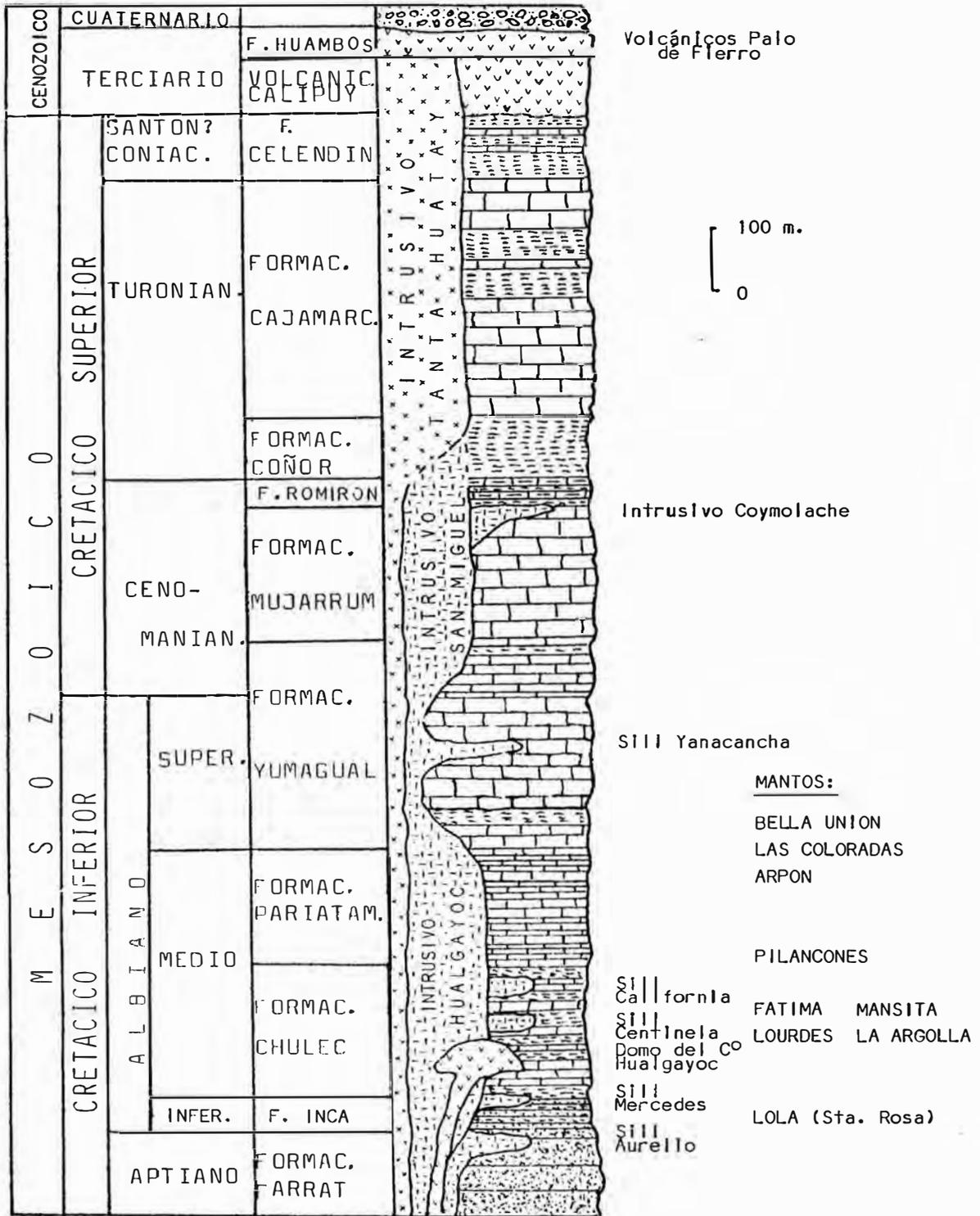
-  Sedimentos clásticos (Aptiano)
-  Rocas calcáreas (Albiano a Turoniano)
-  Pórfido cuarzo-dacítico (Terciario)
-  Pórfido cz-latiandesítico (Terciario)
-  Rocas volcánicas (terciario)
-  Afijamientos silíceos
-  Fallas
-  Sinclinales Anticlinales

MINAS IMPORTANTES:

1. Cleopatra, 2. Tres Mosqueteros, 3. Tres Amigos, 4. Firenze
5. Bella Unión, 6. Mechero, 7. Porcia-Predilecta, 8. Pozos Ricos, 9. Sta. Marta, 10. Los Negros, 11. El Dorado, 12. Morocha, 13. Las Coloradas-Las Gordas, 14. Sinchao-María Eugenia, 15. Volare, 16. Congas, 17. Provedora, 18. Perené, 19. Cañón, 20. Quijote, 21. Maric, 22. Colquirrumi, 23. Carolina

PLANO GEOLOGICO SIMPLIFICADO DEL DISTRITO MINERO DE HUALGAYOC  
Según CANCHAYA (1982,1987,1989)

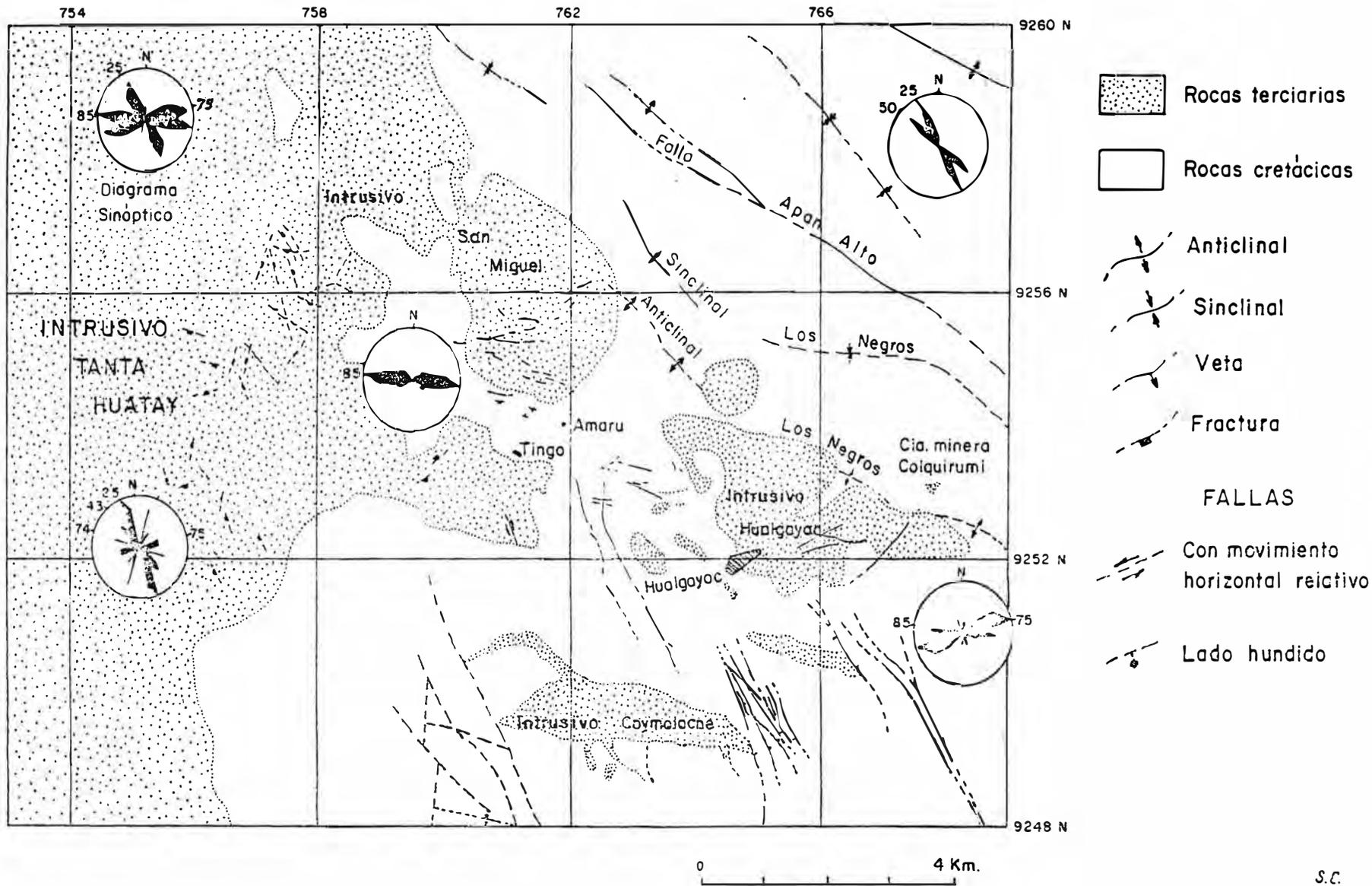
Fig.4



SEGUN CANCHAYA (1988)

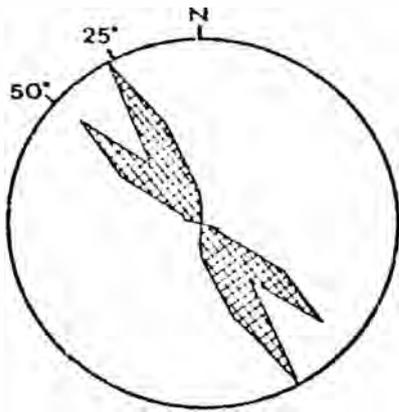
COLUMNA ESTRATIGRAFICA SIMPLIFICADA DEL DISTRITO MINERO DE HUALGAYOC

FIG.5

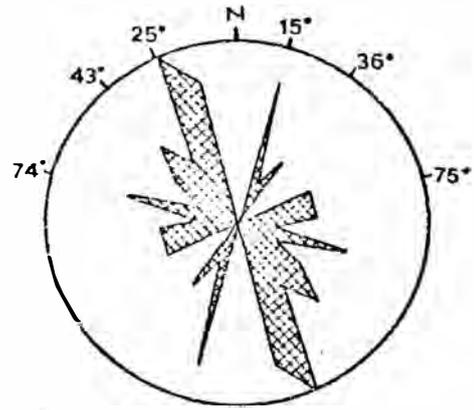


PLANO TECTONICO DEL DISTRITO MINERO DE HUALGAYOC

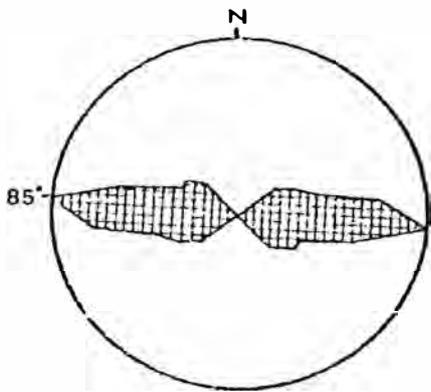
FIG.6



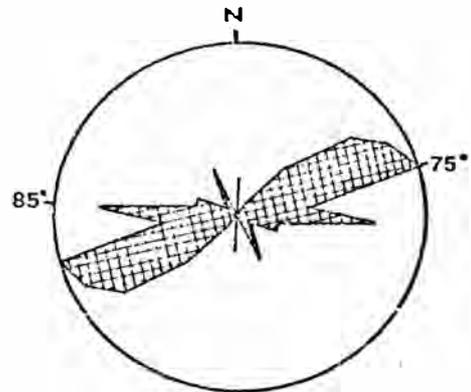
A. SISTEMA REGIONAL



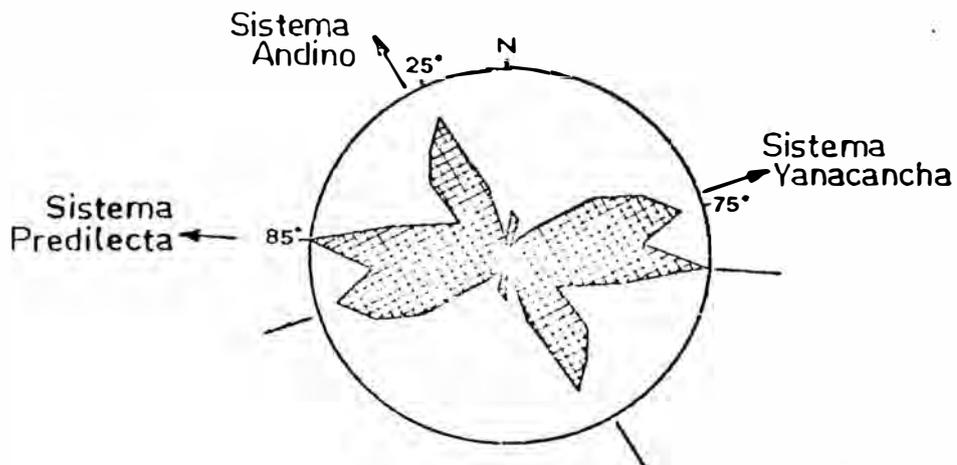
B. INTRUSIVO TANTA HUATAY



C. VETAS.- PARTE NORTE



D. VETAS.- PARTE SUR



E. DIAGRAMA SINOPTICO

FIGURA 7. DIAGRAMAS TECTONICOS DEL DISTRITO MINERO DE HUALGAYOC.

C U A D R O 1

T I P O	ROCA ENCAJONANTE	CARACTERISTICAS PRINCIPALES	MINERALES		EJEMPLOS
			PRINCIPALES	ACCESORIOS	
VETAS Cu-Pb-Zn-Ag.	Rocas intrusivas terciarias.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mineralogía compleja</li> <li>- Minerales de grano medio a grueso</li> <li>- Fuerte alteración hidrotermal de la roca de caja</li> </ul>	Calcopirita pirita galena esfalerita	Sulfosales de Ag.Pb.Cu As. y Sb carbonatos covelita	San Agustín Murciélago Provedora
	Sedimentos cretácicos : calcáreos pelíticos y psamíticos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relativa abundancia de minerales de cobre</li> <li>- Texturas de reemplazamiento</li> </ul>	cuarzo baritina calcita cobregrires	limonitas Sulfatos de Cu - Fe	"A" y "Z" (Bella Unión)  Sist vetas. Cerro Jesús y San Lorenzo.
CUERPOS IRREGULARES Fe-Cu-As-Ag	Calizas cretácicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ocurren sólo en zonas topográficas altas.</li> <li>- Fuerte alteración hidrotermal de la roca de caja</li> </ul>	pirita cuarzo	Calcopirita cobregrires	Clecoatro Tres Moscueteros
	Intrusivos terciarios Intrusivo Tanta Huatay	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Minerales de granulometría gruesa</li> <li>- Ubicados en zonas de contacto: calizas intrusivos.</li> </ul>	enargita	alunita arcillas sericita	Tres Amigos
CUERPOS INTRA - CARSTICOS Pb-Zn-(Ag)	Calizas y Margas Cretácicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cuerpos tabulares e irregulares</li> <li>- Mineralogía simple</li> <li>- No se observe alteración de la roca caja</li> <li>- Principales texturas: botroidal, bandeada, masiva, dendrítica, terrosa, granular, brechosa, relleno intersticial e intergranular, etc.</li> </ul>	Esfalerita galena carbonatos pirita marcasita	Chert baritina limonitas arcillas Óxidos de Mn	Cañón Mario Porcia Pozos Ricos

S.C.89

PRINCIPALES TIPOS DE YACIMIENTOS DISCORDANTES EN HUALGAYOC.

C U A D R O 2

T I P O	R O C A ENCAJONANTE	CARACTERISTICAS PRINCIPALES	MINERALES		EJEMPLOS
			PRINCIPALES	ACCESORIOS	
MANTOS DE ef - gn	Calizas Marges y Lodolitas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menas en forma de cuerpos masivos, lentes, acumulaciones, venillas cortas y - diseminadas.</li> <li>- Materia orgánica y chert, como lentes, concreciones y venillas.</li> <li>- Por lo general minerales de grano fino.</li> <li>- Alteración de la roca encajonante muy débil o ausente.</li> <li>- Presencia de texturas sedimentarias - tanto de menas como de la roca de caja.</li> <li>- Mineralogía simple.</li> </ul>	Esfalerita galena carbonatos cuarzo (incluyendo chert) pirita	Sericita arcillas arsenopirita marcasita hematita pirrotita calcopirita (rara)	La Argolla Manto 8-W (Bella Unión) Firenze (Pilancones)
MANTOS DE cz -dy	Calizas y Margas con Intercalaciones de tufos pelitas y osammitas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Horizontes con mineral frecuentemente asociados con cenizas de tufos.</li> <li>- Roca de caja con alteración hidrotermal muy débil o ausente.</li> <li>- Menas masivas, en parte finamente estratificadas.</li> <li>- Texturas sedimentarias obliteradas por las menas masivas.</li> <li>- Mineralogía simple.</li> </ul>	Cuarzo pirita	Calcoopirita esfalerita galena cobregrietas calcita enargita caolinita	Manto 10-W (Bella Unión) Mercedes Morocha Manto 1 (Mansita)
MANTOS COMPLEJOS	Psammitas, pelitas y margas con tufos interestratificados	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mineralogía compleja</li> <li>- Menas en forma de cuerpos masivos, lentes, venillas, acumulaciones, diseminadas y en concreciones nodulares.</li> <li>- Presencia de texturas sedimentarias que comprometen tanto a las menas como a la roca de caja.</li> <li>- Signos de remobilización y metamorfismo.</li> <li>- Superposición de otros eventos de mineralización: cársico, hidrotermal.</li> </ul>	Alternativamente: pirita cuarzo (incluyendo chert) carbonatos otros sulfuros. Cloritas o sericitas	Caolinita calcopirita esfalerita pirrotita arsenopirita Sulfosales de: Cu, Ag, Pb, As, y Sb hematita magnetita marcasita baritina	Manto Lourdes Manto Fátima Manto Lola Manto Ardón

s.c. 89

PRINCIPALES TIPOS DE MANTOS EN HUALGAYOC

### 3. GEOLOGIA LOCA L

#### 3.1. INTRODUCCION

La mina Bella Unión (Cu, Ag, Pb y Zn) se ubica en la parte central de la región minera de Hualgayoc (fig.4); en ella se explotan fundamentalmente las vetas A y Z y circunstancialmente algunos mantos cortados por dichas estructuras.

##### 3.1.1. Labores principales

La exploración y explotación se realiza por tres niveles principales (ver fig. 8): nivel Juan (3538 m.), nivel Lourdes (3483 m.) y nivel Fátima (3425 m.) Además existen también otros niveles de reconocimiento prácticamente inaccesibles: nivel Cortadera (3555 m.), nivel Carmelita (3475 m.) y nivel Loza (3420 m.); la ubicación de los dos últimos, que señala la fig.9, es sólo aproximada. Entre los niveles Lourdes y Juan se ha desarrollado varios sub-niveles de explotación, ver fig.8.

##### 3.1.2. Planos

Una serie de planos confeccionados por el autor, han servido de base para la ejecución del presente trabajo, entre ellos podemos mencionar los siguientes:

- Un plano compósito, en el cual se han trazado los afloramientos de las principales estructuras, la topografía superficial, las labores horizontales desarrolladas en los distintos niveles, la delimitación de los bloques para la confección de los planos geológicos subterráneos, el trazo de la línea de referencia (L.R.) de las secciones longitudinales y las correspondientes para las secciones transversales principales.

Un plano geológico superficial, trazado a escala 1:2000; se ha levantado con plancheta autoreductora y prácticamente cubre toda la extensión de los denuncios Punto Victoria ó , Don Paco y Bella Unión que comprenden la mina. Se ha mapeado los principales rasgos geológicos, entre ellos los afloramientos de las principales estructuras mineralizadas - las cuales se han denominado por letras procurando conservar las denominaciones antiguas. En la fig.9 se presenta una reducción de dicho plano geológico superficial.

- Se ha confeccionado ocho planos geológicos subterráneos que contienen la geología de las diferentes labores en una escala de 1:500; para la organización de estos planos se ha delimitado la mina en bloques de 300

por 400 metros que han recibido nombres arbitrarios. Para cada bloque que presenta labores subterráneas se ha trazado un plano independiente y en los casos en que un bloque contenía varias labores se preparó un plano por cada una de ellas. En las figuras 11, 12 y 13 se reproducen parcialmente algunos de estos planos, para mostrar detalles importantes referidos más adelante.

También se ha confeccionado una serie de secciones geológicas transversales al rumbo general de las vetas A y Z, dos de las cuales se reproducen en las figuras 14 y 15.

### 3.2. PETROLOGIA

En la mina existen dos tipos de roca principales: Las rocas calcáreas y las intrusivas; en forma esporádica se encuentran también algunos horizontes tufáceos muy delgados interestratificados con las calizas y sub- o superyacendo cuerpos estratiformes con contenido de sulfuros.

Casi la totalidad de la roca presenta alteraciones en mayor o menor grado, según se encuentren más o menos cerca a las estructuras mineralizadas de origen hidrotermal magmático.

#### 3.2.1. Rocas Intrusivas

##### 3.2.1.1. Intrusivo San Miguel

En la parte norte de la mina se encuentran enormes afloramientos de roca que pertenecen a la zona meridional del gran Intrusivo San Miguel (ver fig.4).

Las rocas de este stock son de textura porfirítica con fenocristales de grano fino y medio sub- a idiomórficos de plagioclasas abundantes y hornblenda en menor proporción, con matriz microcristalina fanerítica, fundamentalmente compuesta de plagioclasas (con cuarzo y feldespatos potásicos en cantidades menores); también contienen finas disseminaciones de minerales opacos identificados bajo el microscopio como óxido de hierro y titanio.

En algunos casos los fenocristales presentan una textura seriada, la cual se puede observar aún macroscópicamente.

Sólo en superficie y en algunos tramos de la cortada Bella Unión se puede observar intrusivo fresco. En las cercanías a las vetas mineralizadas, estas rocas se encuentran muy alteradas ( argilización, silicificación y piritización intensas ), mostrando en este caso un color gris claro blanquesino, además de presentarse muy deleznable (foto 3).

Se ha estudiado bajo el microscopio varias secciones delgadas de estas rocas, provenientes tanto de superficie como de los tramos subterráneos. Entre los fenocristales se encontró:

- Plagioclasas.- que constituyen los fenos más abundantes; por lo general se encuentran macladas y a veces zonadas. Se alteran a arcillas, calcita, zeolitas (principalmente estilbita), sericita, epidota y zoisita.
- Hornblenda.- en cristales sub- a idiomórficos; es el ferromagnesiano más abundante; se transforma a cloritas, rutilo, pirita y calcita.
- Otros.- cuarzo y apatito muy escasos.

En la matriz se identificó fundamentalmente plagioclasas abundantes y en menor proporción feldespatos potásicos y cuarzo.

El mineral secundario más abundante es la calcita, la cual a veces se encuentra formando grumos. No menos abundante es el ensamble cuarzo-arcillas-sericita el cual ocurre especialmente cerca a las zonas mineralizadas. En algunos casos la epidota se está transformando a cloritas.

Como minerales accesorios se observa piroxenos, rutilo, zircón y turmalina - muy escasa ( radiada y acicular ).

En las secciones pulidas estudiada se identificó a los minerales opacos accesorios finamente diseminados, encontrándose: magnetita ( la cual se altera - frecuentemente a hematita ) y hematita con finas exsoluciones de ilmenita - de formas aciculares y pisciformes, al parecer de varias generaciones. También es frecuente encontrar relictos de magnetita alterada a ilmenita, la que a su vez se está transformando a hematita. En las muestras cercanas a las - estructuras mineralizadas se observa también pirita ( a veces con relictos orientados de rutilo ); aquí los ferromagnesianos se encuentran totalmente alterados a pirita y rutilo. En algunas muestras se observó también limonitas y leucoxeno ( este último generalmente a cuenta de rutilo ) y pirita reemplazando magnetita.

Tanto la pasta como los fenocristales se presentan en proporciones similares, - en donde las plagioclasas representan un porcentaje abrumador; y aunque no se ha podido hacer mayores mediciones, se podría denominar genéricamente a esta roca intrusiva como: pór. cz-diorfítico; aunque en algunos casos se observa gradaciones a monzodiorita cuarcífera.

### 3.2.1.2. Intrusivos menores

Un pequeño cuerpo intrusivo porfirítico aflora a unos 200 m. al NE de la bocanina del nivel Fátima, se puede ver también en el corte cerca a la carretera que se dirige al nivel Lourdes (ver fig.9). En apariencia, composición y textura es muy similar al intrusivo San Miguel, pudiendo ser un cuerpo aislado o un apófisis conectado de éste, lo cual no es posible establecer debido a la cubierta cuaternaria.

En las labores subterráneas se ha cortado pequeños diques de composición más ácida y apariencia diferente:

En la cortada Fátima, a unos 100 m. de la entrada al socavón se puede observar un dique ácido de textura porfirítica, muy triturado y fracturado; fuertemente alterado (argilización, piritización y silicificación fundamentalmente); aunque es difícil reconocer los minerales primarios, algunos fenocristales muy alterados (blancos) parecen haber sido feldespatos (plagioclasas); por otro lado en toda la roca se puede reconocer biotita finamente diseminada, en forma de pequeñas plaquitas, a veces de varios milímetros de diámetro. El dique tiene una potencia promedio de 5 m. y un rumbo y buzamiento de N 60°W y 68° al NE respectivamente; presenta al techo 20 cm. de brecha tectónica con milímetros subredondeados calcáreos, en matriz esencialmente calcácea con finas y muy escasas disseminaciones de pirita y quizás galena, a continuación se observa una delgada capa de panizo (20 a 50 cm) con pirita escasa diseminada y restos muy esporádicos de calcita y al parecer también cuarzo. La caliza circundante se encuentra alterada (silicificada y piritizada).

- Otro dique muy similar se encuentra al tope del subnivel 13, el cual tiene una potencia promedio de 1.5 m. con rumbo N73° W y buzamiento entre 50° y 75° al norte. Se encuentra truncando la veta A.

### 3.2.2. Rocas volcánicas

Ocurren principalmente en forma de horizontes delgados de poca potencia, interstratificados con las rocas calcáreas. En algunos casos está constituido de material tufáceo gris claro terroso de grano muy fino, donde no es posible reconocer ningún mineral bien conformado. Es un material permeable y no efervesce con el ácido clorhídrico.

En los casos en que se encuentra material más lítico, se puede apreciar fenocristales aislados de plagioclasas y ferromagnesianos (principalmente biotita) en una matriz más abundante terrosa afanítica. En las secciones delgadas

al microscopio se observa fenocristales de plagioclasas macladas, biotita y horblenda idiomórfica con una matriz micro a criptocristalina, en la cual sólo se puede reconocer pequeños cristallitos de plagioclasas con textura fluidal. En algunas muestras que presentan pequeñas vesículas, éstas se encuentran rellenas de sílice coloidal y vidrio coliformes además de epidota y calcita.

Las capas tufáceas se encuentran casi siempre al piso o al techo de los cuerpos estratiformes con contenido de sulfuros (ver fig.14); mientras que las capas más líticas se encuentran interestratificadas con las calizas que afloran en la falda este del cerro San Lorenzo, cerca al afloramiento de la Veta A.

Además de los intrusivos considerados en los párrafos correspondientes, se encontró un dique pequeño y poco potente de color gris oscuro a negro de composición andesítica que intemperiza en lajas tabulares y prismáticas; bajo el microscopio se observa una textura vitrofidica, algo seriada, con fenocristales de plagioclasas anhedrales y macladas y horblenda idiomórfica; adicionalmente ocurren como fenocristales accesorios biotita anhedral y apatito euhedral; la matriz es vítrea a criptocristalina, en la cual también se reconocen finísimos cristales de plagioclasas. Este pequeño cuerpo sólo se ha observado en una oportunidad cortando a las calizas que afloran al SE de la cancha del nivel Lourdes.

### 3.2.3. Rocas sedimentarias

Las calcáreas, son las rocas sedimentarias más abundantes en la mina, aún cuando muy localmente se ha identificado calizas puras, la mayor parte de los sedimentos parecen ser más bien horizontes margosos, en algunos casos con interestratificaciones tufáceas y de cuerpos concordantes con contenido de sulfuros. También se observa lentes o impregnaciones irregulares (raras veces horizontes conspicuos) de sedimentos con contenido de material orgánico gris oscuro pardusco a negro, el cual cuando se presenta, casi siempre está acompañado de sulfuros (diseminados, en ojos o lentes y venillas delgadas: principalmente galena, pirita y esfalerita). La presencia de chert también es frecuente en múltiples formas; generalmente con colores rojizos y grises claros a amarillentos.

Los estratos presentan, en general, buzamientos suaves que raras veces sobrepasan los 35°; el rumbo es muy variable. En superficie afloran enormes bloques aislados; en la parte sur de la mina (fig.9) y en las labores subterráneas es la roca más abundante. En superficie y en los niveles superiores consisten de calizas más puras y un poco más potentes con colores gris

claros a azulados, mientras que en el nivel Fátima son potentes e impuras, en este nivel se observa estratos centimétricos que raras veces sobrepasan los 50 cm. de potencia, con colores pardo cremosos a grises claros amarillentos y negros, de consistencia más terrosa; es bastante frecuente también encontrar estratos margosos con nódulos discoidales centimétricos de caliza gris o azulada (en rotura fresca), en matriz terrosa parda a gris oscura verdosa (Foto2); a veces se vé estratos de caliza granular con lentes interestratificados de material más fino.

La pila calcárea ha sido intruída por cuerpos ígneos porfiríticos - y por diques ácidos poco potentes; en el primer caso el rumbo promedio del contacto intrusivo-calcáreo va desde N 60°E hasta E-W, -buzando, alternativamente al sur o norte, siempre valores altos, especialmente en las labores superiores (contacto vertical o mayor de - 60°), mientras que en el nivel Fátima el contacto buza sólo 53° al norte.

Debido a los esfuerzos tectónicos y demás disturbios, casi todo el paquete sedimentario presenta múltiples fracturas, como se observa en los planos geológicos correspondientes; algunas veces, aunque en forma local, ha sido intensamente fracturado y brechado.

Salvo algunos tramos en la cortada Fátima, casi todos los sedimentos calcáreos se encuentran alterados. Dicha alteración grada desde simple decoloración hasta silicificación con piritización intensas, pasando por recristalización, marmolización y carbonatación. En algunas secciones delgadas bajo el microscopio se identificó bandas y grumos de granates de grano fino intercrecidos con calcita recristalizada. En las zonas cercanas a la superficie los sedimentos calcáreos contienen manchas y venillas de limonitas. Cerca a las estructuras mineralizadas la alteración se intensifica, aquí es frecuente observar carbonatos oscuros bien cristalizados, de grano fino a medio (probablemente calcita); se presenta en forma de grumos y ojos de distribución irregular y también en venillas finas. También se reconocen, prácticamente en todo el yacimiento, venillas de calcita cristalizada blanca atravesando a las rocas calcáreas.

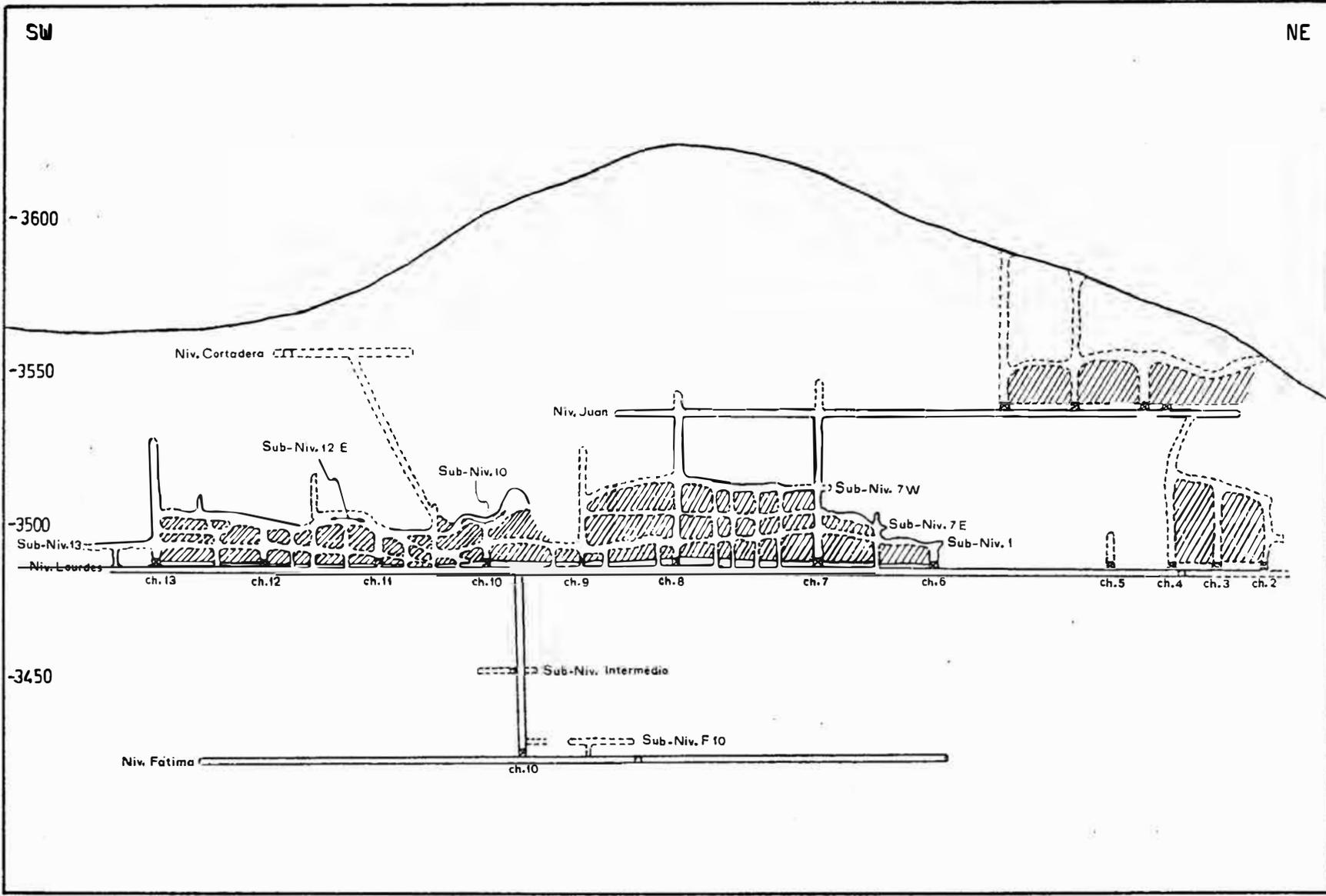
### 3.3. GEOLOGIA ESTRUCTURAL

Tanto las calizas como los intrusivos han sido afectados por diferentes eventos tectónicos. Como resultado de ello se observan fracturas y fallas.

Los sedimentos en la zona no se encuentran plegados; sólo presentan buzamientos suaves, entre 5° y 10°, por lo general al este. La mayor parte de fracturas y fallas han sido reconocidas sobre todo en las labores subterráneas.

Del análisis tectónico de las vetas más importantes se puede concluir que fuerzas tectónicas con dirección N 85°W originaron fallas de cizalla y tensión, tal como se muestra en la figura 10. En este diagrama se puede identificar un sistema de cizalla con movimiento dextral, el cual en el diagrama tectónico regional se denomina Sistema Yanacancha (Fig.7). Por su lado el sistema de cizalla de movimiento senetral coincide con el Sistema Predilecta. Como se puede apreciar la mayor parte de las vetas en Bella Unión rellenan estructuras de cizalla. Al sistema dextral pertenecen las vetas A y Z, mientras que al sistema senetral las vetas C, D, E y F. La veta B se puede clasificar como una estructura de tensión; la ocurrencia de varias fracturas con material de relleno brechoso en las cercanías de dicha veta estarían apoyando esta opinión. Tales fracturas se observaron en la cortada Bella Unión del nivel Lourdes.

Las vetas de cizalla son sinuosas, presentan espejos de falla con estrías en varias direcciones y están por lo general limitadas por capas centimétricas de panizo. Las únicas estructuras de importancia económica son las de cizalla con movimiento dextral. Las de movimiento senetral son más cuarzosas y sólo contienen cantidades marginales de sulfuros.



SECCION LONGITUDINAL A LAS VETAS "A" Y "Z" MOSTRANDO LOS PRINCIPALES NIVELES Y LABORES EN LA MINA "BELLA UNION"

5c. 85

Fig. 8

26

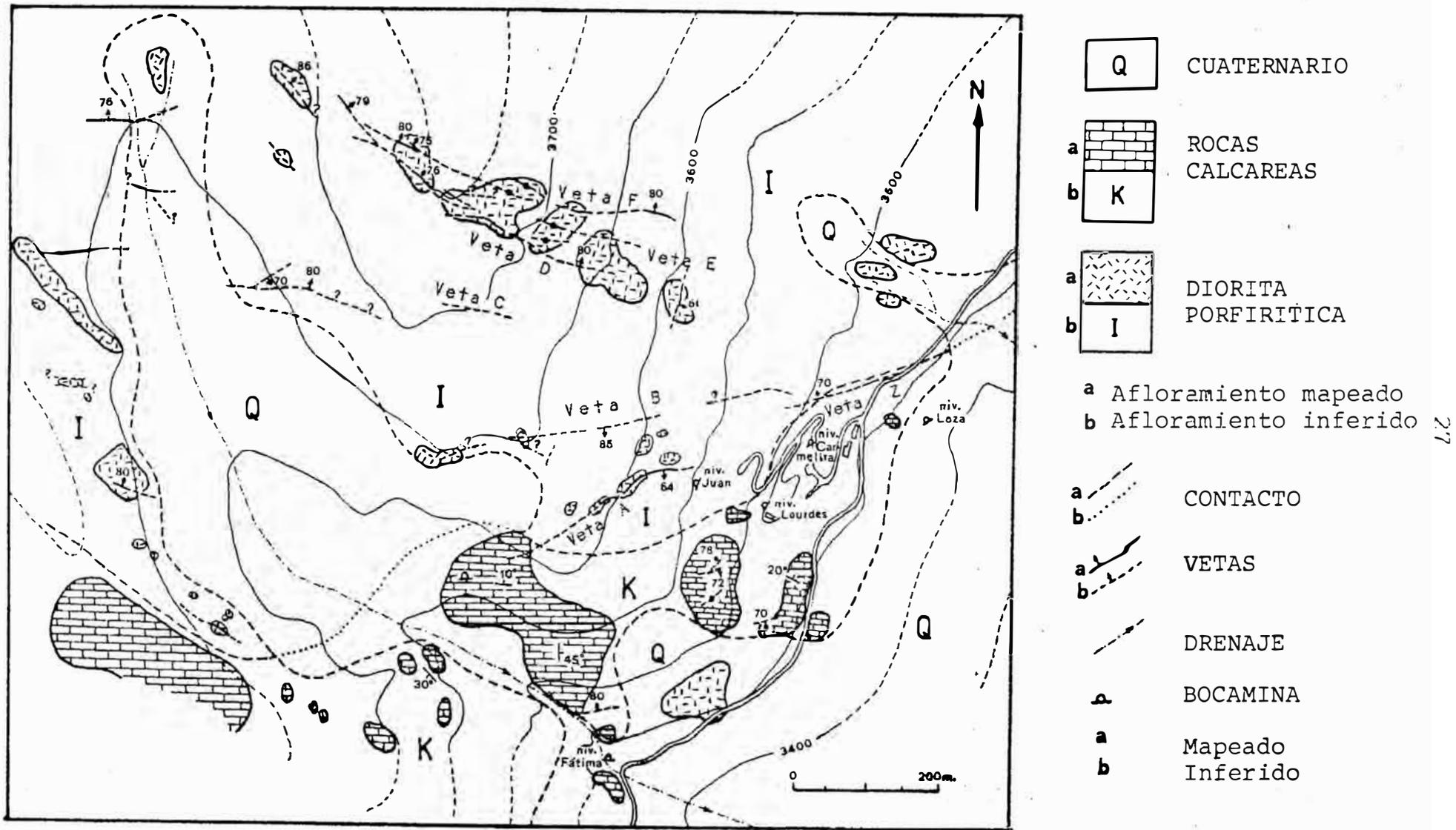
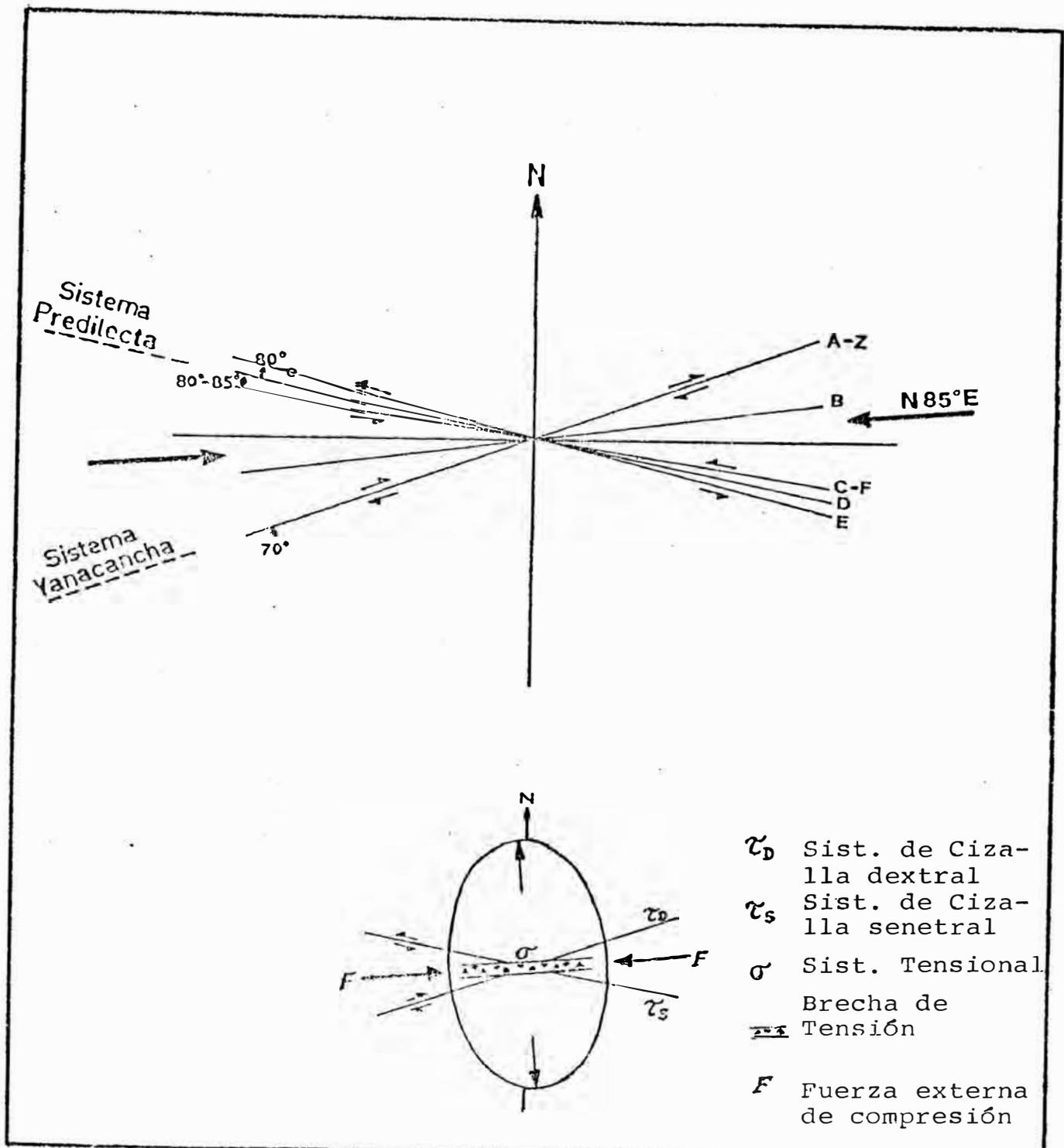


FIG. 9. PLANO GEOLOGICO SUPERFICIAL DE LA MINA BELLA UNION (CANCHAYA 1976).



S. C. 80

FIG. 10. DIAGRAMA TECTONICO DE LAS PRINCIPALES VETAS DE MINA BELLA UNION.

FOTO 1. La Mina Bella Unión vista desde el flanco E del Cerro Garibaldi. En el extremo inferior derecho se observa el Camamento de la Mina.

Afloramientos: I Intrusivo San Miguel, K Calizas; A, B, C, D, E, F y Z son vetas. El afloramiento del contacto entre las calizas y el intrusivo es subparalelo a los afloramientos de las vetas A y Z.

FOTO 2. Estratos subhorizontales de calizas con nódulos discoidales en una masa algo arcillosa de grano fino.

Crucero Fátima, a unos 150 m de la bocamina. El diámetro de la tubería es de 8 cm aproximadamente.

FOTO 3. Roca intrusiva, con fuerte alteración hidrotermal, en la caja techo de una ramificación de la veta A. Se reconoce algunos bloques con menor alteración (parduscos). El parante mide cerca de 1.70 m de largo.

Crucero Lourdes, a 20 m de la "tornamesa".



1



2



3

## 4. GEOLOGIA ECONOMICA

### 4.1. GENERALIDADES

En este párrafo sólo se realiza la descripción de los cuerpos mineralizados incidiendo en su geometría, mineralogía y texturas. Aspectos como reemplazamientos, alteraciones y el orden de formación de los minerales serán tratados en detalle en el Capítulo 5. Con ello se trata de establecer una clara separación entre observación (descripción) e interpretación, tal como lo recomienda AMSTUTZ (1960).

En el cuadro 3 se indica las características más importantes de los principales tipos de depósitos en la Mina Bella Unión. En este trabajo sólo describiremos las Vetas A y Z y los mantos más importantes. Las Vetas B, C, D, E y F serán tratadas muy superficialmente. Mayor información se podrá encontrar en los informes privados de HUDSON et al. (1980) y CANCHAYA (1980).

### 4.2 DESCRIPCION DE LOS DEPOSITOS

#### 4.2.1. Vetas

Las vetas B, C, D, E, y F ocurren sólo en el Intrusivo diorítico, mientras que la Veta A ocurre tanto en el Intrusivo como en las calizas. Por su lado la Veta Z, hasta donde se le conoce, se circunscribe sólo a las calizas.

De todas las vetas señaladas en la fig.9 sólo las vetas A, B, C y Z han sido cortadas por las labores subterráneas. Las Vetas B y C fueron reconocidas sólo en la Cortada Bella Unión del Nivel Lourdes. No ha sido posible estudiar la Veta C ya que al momento del mapeo el último tramo de la mencionada cortada estaba inaccesible; sin embargo, algunos análisis químicos realizados por MEDINA (1972) arrojan valores no económicos de Cu y Ag.

En las zonas adyacentes a las vetas la roca de caja se encuentra fuertemente alterada. Cuando ésta es roca intrusiva, se observa sericitización calcitización (especialmente de las plagioclasas) y cloritización, hasta una casi total silicificación. Cuando la roca de caja es caliza, se observa recristalización, carbonatización hasta una silicificación casi total.

El grado de alteración aumenta con la cercanía a la veta.

#### 4.2.1.1. Veta A

Como se dijo en párrafos anteriores esta veta de Cu y Ag está rellenando una estructura de cizalla con movimiento dextral. Presenta además espejos de fallas sobrepuestos unos a otros en los cuales es frecuente observar varios juegos de estrías tectónicas. En las paredes de la estructura se reconocen delgadas capas de panizo. Esta estructura tiene un rumbo general de N 60°- 90°E y buzamiento fuerte (mayor que 65°) alternativamente al sur o hacia el norte.

Tiene un afloramiento sinuoso con una longitud reconocida de 350 m. en la zona de la mina (Cerro San Lorenzo). Más hacia el norte en la Quebrada Del Buey, se encuentra cubierta por morrenas y material reciente para aparecer nuevamente en el Cerro La M. Con esto, llega a completar una longitud total de más de 900 m. Su potencia promedio es 1.5 m. Esta veta ha sido reconocida casi en todas las labores de la mina, especialmente en el Nivel Lourdes; aquí la galería Oeste la sigue por más de 200 m.

Al parecer esta veta se formó fundamentalmente por un mecanismo de relleno, ya que no se observa reemplazamiento o asimilación importante en la roca de caja. En algunos sectores presenta drusas de diámetros milimétricos a centimétricos, en cuyas paredes interiores han crecido cristales bien formados. Estas drusas ocurren con mayor frecuencia en los cuerpos irregulares del subnivel 1 que se encuentra a lo largo de la Veta A.

En líneas generales la veta es fácil de seguir en las labores subterráneas, sin embargo, en algunos tramos es difícil de reconocer debido a complicaciones tectónicas o a fuertes disminuciones de su potencia, muy típicas de una estructura de cizalla.

Mineralógicamente la Veta A es una estructura compleja, observándose zonas con diferente consistencia, desde fácilmente deleznable hasta muy macizas con cuarzo masivo. A continuación haremos una breve descripción de la mineralogía de esta veta; observaciones sobre reemplazamientos, alteraciones y tiempos relativos de formación se encontrarán en el párrafo 5.2.

La Veta A consiste principalmente de cuarzo, pirita, calcopirita, enargita y cobre grises.

Además ocurren esfalerita, luzonita-estibiolumonita, galena calcita, bornita, pirrotita, mawsonita, rutilo kesterita y estannita. Como productos de alteración supérgena se reportan pequeñas cantidades de calcosita, limonitas, covelita, calcantita, melanterita y yeso. Los cinco primeros minerales representan la paragénesis típica de la Veta A (Cuadro 4).

Pirita y cuarzo son los minerales más abundantes en esta veta; ellos ocurren tanto masivos como finamente diseminados. En algunos tramos la Veta A puede consistir sólo de ambos minerales.

Enargita ocurre predominantemente masiva. En estrecha relación con ella, pero en menor proporción, ocurre luzonita; mientras que estibio-luzonita sólo fue reportada por CABOS (1980, 1981) como una inclusión en tenantita. Algunas enargitas de la veta A fueron analizadas con microsonda electrónica encontrándose, aparte de los elementos principales (S, Cu y As) valores de Fe, Zn, Sb y Cd. En el Cuadro 5 se comparó para el contenido químico de algunos minerales del grupo de la enargita procedentes de la veta A, con otros de otras minas peruanas.

Macroscópicamente es difícil diferenciar luzonita de enargita; el tinte de la primera es algo más claro y naranja, propiedad que es más marcada bajo el microscopio (fotos 10 y 11); sin embargo, lo más peculiar de la luzonita es su maclado característico (RAMDOHR 1975).

Calcopirita ocurre masiva, en venas, venillas (fig. 16d) y también como inclusiones y grumos en cobregrises (fig. 16e); de igual manera ocurre finamente diseminada, especialmente en los bordes de contacto entre cobregrises y enargita-luzonita (fotos 9, 10, y 11). Este mineral se presenta en menor proporción en las labores superiores de la mina (niveles Cortadera y Juan) donde predomina la enargita. Hacia los niveles inferiores disminuye la enargita con el consiguiente aumento de calcopirita, la cual pasa a un predominio marcado en el Subnivel Fátima 10 y en nivel Fátima que son las labores más inferiores de la mina. Bajo el microscopio se identificó en la muestra s.n.40 del Subnivel 1 calcopirita con maclas lamelares. También se identificó en algunos casos calcopirita siguiendo los planos de clivaje de la enargita (fig. 16a). Con calcopiritas de esta veta, cuya pureza fue verificada al microscopio, CABOS (1980, 1981) realizó algunos análisis con microsonda. Se encontró As en las cuatro muestras analizadas con valores entre 0.41% y 0.82 %, mientras que el contenido de Zn nunca pasó de 0.09%. No se encontró Sb ni Cd y sólo una muestra (BU-1) arrojó 0.11% de Ag (Cuadro 10).

Aparte de los minerales del grupo de la enargita y de la calcopirita,

Los cobregrises son los otros minerales de Cu de importancia económica que ocurren en cantidades apreciables en la Veta A. Hay un grupo de cobregrises que ocurre muy asociado a la enargita-luzonita (fig. 16c y fotos 8, 9, 10 y 11); otros cobregrises en cambio, están más asociados a la calcopirita (fig. 16d y 16e). En los cuadros 6a y 6b se compara el contenido químico de algunos cobregrises, procedentes de la veta A, con otros de otras minas de Hualgayoc y del resto del país. Como puede verse en los cuadros mencionados, los análisis con microsonda de los cobregrises procedentes de la veta A. arrojan, aparte de los elementos principales (S, Cu, As y Sb), valores de Fe, Zn y Ag; hay que resaltar que en las cuatro muestras analizadas se reporta Ag entre 0.3 % y 1.3%; mientras que el Cu oscila entre 40.3% y 48.8%.

Mawsonita se encuentra sólo en forma de granos anhedrales aislados en cobregrises (fig. 17, fotos 8 y 9), con menos frecuencia en enargita-luzonita. El análisis con microsonda de la mawsonita de la veta A arrojó como elementos principales: Cu, Sn, Fe y S; como trazas: Zn, As y Sb (Cuadro 7 y fig. 17). Como se observa en el cuadro 7, los resultados cuantitativos de estos análisis coinciden con los de otras ocurrencias (SPRINGER 1968; MARKHAM & LAWRENCE 1965; YAMANAKA & KATO 1976).

En cobregrises e intercrecidos con la mawsonita ocurren pequeños granos de kesterita (foto 9); sólo en algunas ocasiones se observan incluidas de este mineral; son fáciles de reconocer por su color pardo oscuro y su isotropía (foto 8).

Pirrotita, bornita y galena sólo fueron reconocidas microscópicamente. La primera sólo ocurre como pequeñas inclusiones en pirita, donde algunas veces es acompañada por calcopirita (fig. 16b). Las dos últimas ocurren exclusivamente como inclusiones en cobregrises o enargita-luzonita. En una muestra del nivel Juan se reconoció galena en el límite entre enargita y cobregrises (fig. 16c).

En un grano de pirita de la muestra P-1 (nivel Juan) se observaron algunas inclusiones alargadas y ovaladas de un mineral gris claro verdoso, cuyas propiedades ópticas son muy semejantes a las de la estannita (fig. 16f).

Otros minerales se encuentran también en la Veta A pero en cantidades mínimas; entre ellos debemos nombrar esfalerita, covelita, calcosita, calcantita, melanterita y yeso.

Cuando la roca de caja es intrusivo, es frecuente encontrar rutilo. Su ocurrencia se limita a algunos fragmentos silicificados de la roca de caja así como a las zonas más próximas a la veta.

La calcita es un mineral muy difundido pero siempre ocurre en pequeñas cantidades. Se presenta tanto en vetillas como en drusas donde forma buenos cristales milimétricos del tipo "diente de perro".

#### 4.2.1.2. Veta Z

Esta veta fue identificada por primera vez en el nivel Fátima. En general corre casi paralela a la veta A. Su rumbo promedio es N 70-80°E y buza 65°-85°N. Esta veta de Ag-Pb-Zn-Cu se encuentra rellenando una estructura de cizalla de movimiento dextral, con panizo en las paredes, así como espejos de falla y estrías en diversas direcciones.

En forma similar a la Veta A, en esta veta tampoco se observa reemplazamiento o asimilación de la roca encajonante es decir se trata de una veta típica de relleno. Sólo en contados casos se observaron drusas, sobre todo en el Subnivel Fátima 10. Las drusas se encuentran tapizadas con cristalitos bien formados de cuarzo y calcopirita.

Esta veta se puede seguir con facilidad a pesar de mostrar en algunos casos disminuciones sensibles de su potencia y de desmenbrarse en una especie de cola de caballo (como se puede observar en el lado este de la Galería Fátima).

En superficie sólo fue reconocida en un afloramiento a unos 200 m. al noreste de la cancha del nivel Lourdes, cerca al camino que va en dirección a Pílancones. Por otro lado, en el Cerro la M, muy cerca del afloramiento de la veta A, ocurre una estructura con mineralogía y textura similares a las de la Veta Z.

Los minerales de esta veta ocurren por lo general masivos. Cristales bien formados son raros. A veces presenta fragmentos de roca de caja o mineral molido, especialmente esfalerita parda clara. También ocurren en algunos casos disseminaciones y grumos de sulfuros.

En base al estudio tanto macroscópico como microscópico de la veta se pudo establecer como minerales abundantes: esfalerita, galena, calcopirita, cobregrises, carbonato y cuarzo. En menor cantidad ocurren pirita, marcasita y baritina (cuadro 4).

El Cuarzo se presenta mayormente en forma de buenos cristales, que pueden llegar a tener algunos milímetros de tamaño. Pirita ocurre en forma de granos anhedrales, los cuales casi exclusivamente ocurren en calcopirita, también en esfalerita en forma de inclusiones redondeadas asociadas con marcasita (foto 14).

El mineral más abundante en la Veta Z es la esfalerita, la cual por lo general ocurre molida y deleznable; presenta color pardo a pardo rojizo. Su asociación con el cuarzo es muy marcada (foto 12). Bajo el microscopio presenta algunas veces inclusiones alargadas de marcasita, con menor frecuencia finas inclusiones de pirita y galena (foto 14). En la muestra P-2 se observó agregados esferoidales de esfalerita en los cuales se insinúa una especie de zonamiento (foto 12).

Baritina sólo se encuentra raras veces en forma de pequeños cristales tabulares, translúcidos y blancos que alcanzan algunos milímetros de tamaño. Por lo general se encuentra asociada a la esfalerita y el cuarzo.

Galena ocurre tanto masiva como diseminada; en el primer caso casi siempre es acompañada por cobregrises, mientras en el segundo caso por lo general se encuentra asociada a la esfalerita.

Los cobregrises son relativamente abundantes en esta veta. Mayormente ocurren masivos. En algunos casos se les observa intergranulares en galena y como finas inclusiones redondeadas y alargadas en ésta; también ocurren asociados a la esfalerita (foto 13).

Calcopirita ocurre masiva, en venillas (foto 13) y como grandes inclusiones en cobregris, con el cual frecuentemente se presenta fuertemente intercrecida.

La marcasita se presenta formando numerosas inclusiones orientadas; mayormente en esfalerita, raras veces en galena y carbonatos. Se trata siempre de pequeños cristales que forman agregados alargados, subparalelos, orientados según direcciones determinadas (foto 14).

Los carbonatos son frecuentes en la Veta Z, el principal componente es la calcita. Estos carbonatos presentan colores gris claros a blancos y ocurren por lo general masivos, en parte fracturados, así como en finas venillas. Con frecuencia muestran intercrecimientos con esfalerita y galena (fotos 12 y 15).

#### 4.2.2. Mantos

Aparte de las vetas anteriormente descritas, ocurren en Bella Unión - cuerpos concordantes estratoligados poco potentes (menos de 2m.) llamados mantos, los cuales se encuentran en determinados horizontes dentro de la serie de calizas y margas albianas que ocurren en la mina.

Hasta la fecha estos cuerpos no han sido tomados muy en cuenta - aún cuando ellos, especialmente los piritosos, han sido explotados por contener leyes interesantes de Ag y a veces de Au.

En base a su composición mineralógica predominante se pueden dividir en dos tipos (ver cuadro 3):

- a. Mantos de Pb-Zn
- b. Mantos de pirita-cuarzo

#### 4.2.2.1. Mantos de Pb-Zn

Llamados así por contener como sulfuros predominantes esfalerita y galena. Acompañando a estos minerales ocurren: cuarzo, calcita, pirita y sericita. También se encontró hematita, arcillas y limonitas. Muy escasos se presentan: calcopirita, magnetita, pirrotita y cobre grises (cuadros 3 y 4).

Los minerales metálicos ocurren como pequeños grumos, lentes milimétricos y venillas; también finamente diseminados, en agrupamientos subparalelos de alternancia centimétrica, congruentes con la roca encajonante, la cual es predominante calcárea y margosa, gris oscura a parda y por lo general con contenido de material orgánico y chert. Todos los minerales son de grano fino y las rocas encajonantes muestran sólo en algunas ocasiones alteración hidrotermal, la cual siempre es muy débil.

El ejemplo más típico de este tipo de mantos es el llamado Manto 8-S que fue interceptado en el Subnivel 1. Es en este manto donde se observó la mayor concentración de sulfuros, los cuales ocurren en una matriz compuesta casi exclusivamente de cuarzo granular con sericita subordinada (fotos 22, 23 y 24). Este manto se caracteriza por la ocurrencia de pequeños cristales brillantes de galena por lo general en arreglos subparalelos (foto 14), con menos frecuencia como inclusiones aisladas. De manera similar ocurre la esfalerita, en algunos casos finamente diseminada, pero con mayor frecuencia formando grumos y agregados tipo schlieren; macroscópicamente es de color marrón claro amarillento a veces incolora; en este último caso es fácilmente pasada por alto.

Esta esfalerita fluoresce dando un color amarillo naranja, bajo la influencia de los rayos ultravioleta de onda larga; un color de fluorescencia idéntico muestran los diminutos granos de esfalerita que ocurren tanto en el Manto Fátima de la mina Los Mantos como en los

horizontes fúlfáceos que ocurren asociados a los mantos de pirita -cuarzo.

En las secciones pulidas de este manto 8-S, se observa fundamentalmente galena y esfalerita (foto 17), ocasionalmente ocurren pequeños granos de pirita, los cuales a veces presentan diminutos granos redondeados de pirrotita; estos sulfuros ocurren en una matriz de grano fino, la cual en nfcoles cruzados muestra reflejos internos pardo claros a amarillentos. En las secciones delgadas se observa agregados de cristales finos de cuarzo, por lo general en forma de prismas cortos, los cuales se encuentran estrechamente intercrecidos con grumos y agregados de diminutos cristales escamosos, fundamentalmente sericita (foto 22,23 y 24), aunque no se descarta la presencia de pirofilita (foto 23) y phengita, las cuales debido a la granulometría muy fina no pueden ser identificados, ni aún con grandes aumentos; en estos agregados de cuarzo-sericita también ocurren grumos de cristales extremadamente finos, con apariencia de arcillas.

Cae dentro de esta clasificación también el llamado Manto Don Paco, encontrado en un cateo en el flanco derecho de la Quebrada del Buey, a unos 100 m. al Sur de la cancha del nivel Cortadera. Aquí resalta sobre todo la abundancia de chert rojizo así como de material orgánico, ambos muy relacionados a la galena que ocurre en pequeños lentes, venillas y finamente diseminada. La roca encajonante es una caliza gris clara de grano grueso, al parecer recristalizada (foto 6).

En la Cortada Fátima del nivel del mismo nombre a pocos metros de la entrada de la mina existe un pequeño crucero que cortó un manto de calizas muy oxidadas y con pirita diseminada (Manto Bocamina en la fig.15). No se pudo calcular su potencia ya que sólo se observó su techo. Superyacentes se observó calizas gris claras sin limonitas ni pirita. Aún cuando debido a la fuerte oxidación no fue posible reconocer su textura y mineralogía, su aspecto es muy similar a los mantos anteriormente descritos.

Otro caso análogo se encuentra en el mismo nivel a unos 10 m. del cruce entre la Cortada Fátima y la Galería Oeste. Se observa, en una matriz calcárea gris parda amarillenta, abundante pirita en venillas y material orgánico en pequeños grumos aislados y finas venillas de galena. En algunos sitios se observó chert rojizo con hematita finamente diseminada y pequeñas concreciones blancas no identificadas de menos de 1 mm. de diámetro dispersos en toda la matriz (foto 5). Otros minerales menos abundantes encontrados en este cuerpo, llamado tentativamente Manto Tornamesa, figuran en el cuadro 4.

#### 4.2.2.2. Mantos de pirita-cuarzo

Estos mantos consisten fundamentalmente de pirita y cuarzo masivos; sólo en algunas ocasiones se observa una estratificación fina de pirita, resaltada por la intercalación, a escala milimétrica, de capas delgadas porosas muy finas (foto 7). Prácticamente todos los mantos observados por el autor presentan (por lo menos al techo ya que por lo general la base no es visible) delgadas capas tufáceas, las cuales suelen ser confundidas con panizo (fig. 14).

Aparte de la pirita y el cuarzo, muy escasos, ocurren calcopirita, esfalerita, galena, cobregrietas, enargita y calcita.

Ejemplo de este tipo son los Mantos: 10-W, 11, 11-E y 11-W (fig. 14) así como los Mantos 6'-W y 8-W, todos interceptados por la veta A.

Salvo en contados casos, las calizas inmediatamente adyacentes a estos mantos presentan alteración hidrotermal, la cual sin embargo, siempre es muy débil.

El manto mejor conocido es el manto 10-W que ocurre en el nivel Lourdes, donde ha sido explotado por contener valores interesantes de Ag y Au. Consiste fundamentalmente de pirita masiva, en la cual esporádicamente se encuentran minúsculas inclusiones de calcopirita con cobregrietas. Es un manto compacto y muy macizo cuya potencia debe alcanzar los dos metros (no se conoce su base). Al techo presenta una capa de 10 a 15 cm. de potencia que consiste de un material gris claro muy fino, por lo que macroscópicamente no se puede identificar ningún mineral. Estas capas tufáceas son muy deleznable y permeables, además no presentan ninguna reacción con el ácido HCl, de esta forma se les puede diferenciar del panizo. Entremezclados con el material fino predominante, también ocurren algunos fragmentos angulosos con diámetros que raras veces sobrepasan los 2 cm.

Algunos de estos fragmentos fueron estudiados en sección delgada bajo el microscopio. Consiste fundamentalmente de cuarzo y sericita, en algunos casos teñidos por limonitas. Además se observa esporádicamente, pequeños granos opacos euhedrales de sección hexagonal (probablemente pirita) así como cristalitas aislados y grumos de esfalerita parda clara. Sólo en una oportunidad se encontró minúsculos granos intersticiales de calcita.

También se observó pequeños cristales de hábito prismático y de sección hexagonal, a veces maclados (interpenetración y en cruz) o formando agregados algo radiados en una masa fundamentalmente com-

puesta de sericita. Por la forma de los cristales se puede inferir que se trata de un mineral monoclinico; presenta buen clivaje, por lo menos en una dirección. Su color de interferencia máximo es el amarillo de primer orden y su figura de interferencia indica un mineral biáxico positivo. Fue identificado como una zeolita, probablemente phillipsita.

Del material deleznable terroso que constituye la mayor parte de estos tufos se hizo un análisis por difracción de rayos X que indicó cuarzo y sericita abundantes, así como pirita y esfalerita en menor proporción (fig.13).

HUDSON et al. (1980) reporta otros mantos en los planos geológicos de algunos subniveles, aunque sin adjuntar una descripción de los mismos. entre otros debemos mencionar los mantos de gran extensión que ocurren en el Subnivel 12-E, los que incluso han sido explotados. También están los mantos de los subniveles 13 y 10, todos ellos con potencias entre 1 y 1.5 m.

#### 4.3. ESTUDIO GEOESTADISTICO

##### 4.3.1. Introducción

El estudio propiamente económico de la mina es una aplicación de la llamada "Técnica de las variables regionalizadas" (MATHERON 1963,- 1965, 1971; JOURNEL & HUIJBREGTS 1978; DAVID 1977), base fundamental de la Geoestadística.

Esta técnica está en contraposición con la estadística y los métodos clásicos que no toman en cuenta aspectos tan importantes como " el soporte" sobre el que se definen los análisis químicos y el criterio de estructura de la mineralización; es decir, asumen que la distribución de las variables es completamente aleatoria; sin embargo sabemos que casi siempre los yacimientos poseen un patrón o modelo de distribución el cual se hace evidente calculando el "variograma" correspondiente, que es la herramienta estructural básica de la Geoestadística.

Además la Geoestadística encuentra como casos particulares y sencillos todos los resultados tanto estadísticos como los de otras técnicas empíricas de evaluación de reservas.

#### 4.3.2. Estudio " estructural " geoestadístico

Aquí se trata de estudiar el comportamiento de la mineralización, tanto en sentido horizontal (galerías y tajos) como en sentido vertical (chimeneas), describiéndolo por medio de modelizaciones matemáticas.

Para el presente trabajo se ha contado en total con 343 muestras analizadas por cobre y plata. La ubicación de cada muestra, así como las personas que en diversas ocasiones realizaron el muestreo, figuran en el respectivo plano de muestreo compilado por CANCHAYÁ (1980).

En el cuadro 12 se indica el número de muestras correspondiente a cada estructura, nivel y labor; así como los respectivos intervalos de muestreo en cada caso.

##### 4.3.2.1. Cálculo de los variogramas

La mejor herramienta actual para estudiar la distribución de las diversas variables que definen un yacimiento es la geoestadística; esta rama de la geomatemática emplea para ello la denominada "función variograma", que es su herramienta básica.

Tales variables, que pueden ser: leyes, potencia, peso específico o cualquier otro parámetro mensurable en un yacimiento, no son variables aleatorias puras, como se asume en los métodos tradicionales, sino son "variables regionalizadas", es decir, en mayor o menor grado, dependen unas de otras, dentro de un espacio definido por el "alcance"  $a$ , que se obtiene de los variogramas correspondientes (ver CANCHAYÁ 1980, 1984a,b).

Los variogramas se calculan mediante la fórmula general:

$$2 \gamma(h) = \frac{\sum_{i=1}^{(n-h)} \left| Y_{(X_i+h)} - Y_{(X_i)} \right|^2}{(n-h)} \quad (1)$$

donde:

$Y$  : es la variable estudiada (potencia o acumulación de Ag ó Cu).

- $Y ( X )$  : el valor de dicha variable en el punto  $X$
- $Y ( X+h )$  : el valor de la variable en el punto  $( X+h )$
- $h$  : es el paso entre las muestras (distancias iterativas)
- $n$  : número de muestras
- $2 \gamma ( h )$  : valor de la función variograma para un valor  $h$ .

Gráficamente un variograma tiene la apariencia mostrada en la fig. 19. Dentro de la distancia  $a$  (alcance), el fenómeno es totalmente estructurado, es decir depende, o está controlado por la función  $\gamma(h)$ . Fuera de  $a$  el fenómeno es ALEATORIO, o sea independiente de la función variograma.  $C_0$  es el llamado efecto de pepita, que nos da cuenta de cambios bruscos de los valores a pequeña escala; lo cual generalmente sucede cuando se sobrepasa una subestructura por debajo de la escala de trabajo.

Vamos a utilizar, por conveniencia, la función semivariograma ( $\gamma(h)$ ) a la que llamaremos por comodidad variograma.

A continuación, utilizando la ecuación (1) se ha calculado los variogramas ( horizontales y verticales ) por cada nivel, sub-nivel, chimeneas. En las figuras 20 y 22 se encuentran los variogramas más representativos de las vetas A y Z respectivamente. Estos variogramas experimentales son luego ajustados a modelos teóricos llamados esquemas intrínsecos. En nuestro caso hemos elegido el esquema esférico por acercarse más a los resultados experimentales; en este esquema tenemos:

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C \left( \frac{3}{2} \frac{h}{a} - \frac{1}{2} \frac{h^3}{a^3} \right) & \text{para } h \leq a \\ C_0 + C & \text{para } h > a \end{cases}$$

donde:

$$C = \sigma^2 - C_0$$

El alcance  $a$ , la varianza  $\sigma^2$  y el valor del efecto de pepita  $C_0$ , se obtienen del variograma experimental respectivo.

Reemplazando los valores correspondientes se obtienen los variogramas teóricos para cada veta, los cuales se muestran en las figuras 21 y 23.

#### 4.3.2.2. Determinación de otros parámetros suplementarios.

Para ambas vetas y para cada labor se ha calculado las respectivas medias ( $m$ ), varianzas ( $\sigma^2$ ) y varianzas relativas ( $\sigma^2/m^2$ ) de las tres variables: potencia, acumulación de Ag y acumulación de Cu (Cuadro 12.) Usando los valores de las varianzas relativas, consignados en dicho cuadro se ha confeccionado un gráfico de variabilidad (fig.24), del cual se extraen interesantes conclusiones que se resumen al final, en el párrafo 4.3.4.

Nótese que se está trabajando con variables aditivas: acumulación de metal (potencia por ley), por tener éstas un sentido físico del cual carece la ley en forma aislada.

También se ha determinado la correlación entre las tres variables en estudio empleando para ello los llamados coeficientes de correlación. En el cuadro 13 se presenta los valores de los coeficientes de correlación lineal entre las tres variables: potencia, acumulación de Ag y acumulación de Cu, para ambas estructuras (A y Z), en las diferentes labores de la mina.

#### 4.3.3. Estimación de reservas

##### 4.3.3.1. Categorización del mineral

Se ha definido las siguientes categorías de mineral:

##### Según su certeza:

- Probado. = Cuando el panel posee por lo menos un lado completamente muestreado. Sus dimensiones están definidas por la distancia de influencia o alcance  $a$ , que se obtiene de los variogramas respectivos.
- Probable. = El mineral de este tipo se define en tramos donde la estructura ha sido reconocida por lo menos por una labor. En los paneles de este tipo se ha tratado, en lo posible de utilizar dimensiones equivalentes a las del panel probado adyacente. El volumen correspondiente se estima multiplicando el promedio aritmético del espesor de la veta de

los paneles circundantes, por su área respectiva definida gráficamente.

- **Posible.**- Las dimensiones de estos paneles se han establecido en base al conocimiento del carácter geológico de la veta y asumiendo que en ellos se cumple la hipótesis planteada por los variogramas correspondientes. La estimación del tonelaje se hace de manera similar que con los paneles probables; aunque la imprecisión es mucho mayor.

#### Según su accesibilidad:

- **Accesible.**- Paneles que por estar interceptados por una o más labores mineras se encuentran listos para su explotación. A esta categoría pertenecen todos los paneles probados de la veta A, y los paneles probados de la veta Z que se encuentran encima del nivel Fátima. También pertenecen a este grupo los paneles: B1, B7 y B28 de la veta A (fig.26) y los paneles C1, B19, B21, B5, B6, B25 y B27 de la veta Z (fig.27).

**Eventualmente accesible.**- Todos los paneles debajo de la labor del nivel inferior, o los que por su inaccesibilidad temporal necesitan de la preparación de más labores para que sea posible su explotación. Ejemplos: en la veta A casi todos los paneles probables a excepción de los que se encuentran flanqueados por alguna labor (fig.26); en la veta Z, los paneles B1, B2, B3, B4, B9, C2, C3, C4, B11, B13, B15, C5, B17 y todos los paneles probados, probables y posibles debajo del nivel Fátima (fig.27).

- **Inaccesible.**- Todos los paneles que son dejados atrás como pilares y cuya explotación está destinada a los últimos días de vida de la mina. A esta categoría pertenecen únicamente los pequeños pilares sobre la veta A, dejados en la base de los tajeos a lo largo del nivel Lourdes (fig.26).

#### 4.3.3.2. Configuración de los paneles

Para realizar los cálculos correspondientes a cada panel, se definen tres configuraciones distintas (fig.25):

- **Configuración 1.**- Cuando el panel solamente tiene un lado

muestreado, ya sea sobre galería o chimenea (casi todos los paneles en ambas vetas pertenecen a esta categoría).

- Configuración 2.- Cuando el panel está flanqueado por tramos muestreados de una galería o sub-nivel y una chimenea cuando menos ( Veta A: paneles A14 y A15; Veta Z: paneles A5 y A6).
- Configuración 3.- Cuando el panel está completamente circundado por galerías y chimeneas muestreadas ( en nuestro caso no existe ningún panel de este tipo).

#### 4.3.3.3. Estimación del espesor medio y de la cantidad de metal - promedio de cada panel.

Para la estimación de estos valores empleamos la técnica del "krigeage" (MATHERON 1969; DAVID 1976,1977; JOURNEL & HUIJBREGTS 1978), la cual consiste en asignar pesos (mediante los ponderadores  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ , y  $\lambda_3$ ) a la información de leyes analizadas, para poder calcular, con la máxima precisión, el espesor y las leyes promedio de cada bloque de mineral o panel. Las dimensiones de cada panel son: la potencia estimada, el ancho  $\underline{a}$  y el largo  $\underline{b}$ ; por tratarse de estructuras isotropas (como se deduce de los variogramas) se tomó en casi todos los casos  $a = 10$  m. y por conveniencia  $b = 2a$ . (ver fig. 25.

- (a) Configuración 1.- En este caso el estimador del espesor medio o de la cantidad de metal promedio se define por:

$$Z^* = \lambda_1 Z_1 + \lambda_2 Z_2 \quad (2)$$

donde:

$\lambda_1$  = peso o ponderador de la información a lo largo del tramo que limita el panel.

$\lambda_2$  = peso o ponderador de la información de toda o gran parte de la galería o chimenea.

$Z_1$  = espesor medio o cantidad de metal promedio a lo largo de la veta definida en la longitud  $\underline{b}$ .

$Z_2$  = espesor medio o cantidad de metal promedio de toda o gran parte de la galería o chimenea.

Para el cálculo de los ponderadores se plantea el siguiente sistema de kriging:

$$\begin{aligned} \lambda_1 \gamma_{11} + \lambda_2 \gamma_{12} + \mu &= \gamma_{1p} \\ \lambda_1 \gamma_{21} + \lambda_2 \gamma_{22} + \mu &= \gamma_{2p} \\ \lambda_1 + \lambda_2 &= 1 \end{aligned} \quad (3)$$

que tiene una propiedad de otorgar al mínimo error de estimación, cuya expresión es la varianza de estimación:

$$\sigma_k^2 = \lambda_1 \gamma_{1p} + \lambda_2 \gamma_{2p} - \gamma_{pp} + \mu \quad (4)$$

(b) Configuración 2.- En este caso el estimador del espesor - promedio de la cantidad de metal promedio se define por:

$$Z^* = \lambda_1 Z_1 + \lambda_2 Z_2 + \lambda_3 Z_3 \quad (5)$$

donde:

- $\lambda_1$  = peso o ponderador del tramo "b"
- $\lambda_2$  = peso o ponderador del tramo "a"
- $\lambda_3$  = peso o ponderador de la cantidad de metal promedio de una porción del yacimiento
- $Z_1$  = espesor o cantidad de metal promedio a lo largo del tramo "b"
- $Z_2$  = espesor o cantidad de metal promedio a lo largo del tramo "a"
- $Z_3$  = espesor o cantidad de metal promedio de una porción del yacimiento, la cual puede ser:

- el promedio de toda la galería o chimenea adyacentes al panel.
- el promedio de una gran porción de la galería o chimenea adyacente(s) al panel.
- el promedio de todas las galerías y chimeneas que circundan al panel problema.

Para el cálculo de los ponderadores se plantea el siguiente sistema de kriging:

$$\begin{aligned}
 \lambda_1 \gamma_{11} + \lambda_2 \gamma_{12} + \lambda_3 \gamma_{13} + \mu &= \gamma_{1p} \\
 \lambda_1 \gamma_{21} + \lambda_2 \gamma_{22} + \lambda_3 \gamma_{23} + \mu &= \gamma_{2p} \\
 \lambda_1 \gamma_{31} + \lambda_2 \gamma_{32} + \lambda_3 \gamma_{33} + \mu &= \gamma_{3p} \\
 \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 &= 1
 \end{aligned} \quad (6)$$

que a su vez tiene la propiedad de otorgar una varianza de estimación mínima, cuya expresión matemática para este caso es:

$$\sigma_k^2 = \lambda_1 \gamma_{1p} + \lambda_2 \gamma_{2p} + \lambda_3 \gamma_{3p} - \gamma_{pp} + \mu \quad (7)$$

En las ecuaciones planteadas  $\gamma_{mn}$  constituye en cada caso, el valor medio de la función variograma:  $\gamma(h)$ , cuando una extremidad del vector  $h$  se mueve en el elemento o volumen  $\underline{m}$  y la otra en el elemento o volumen  $\underline{n}$ ;  $\mu$  es el parámetro de Lagrange que para ambas configuraciones resulta igual a cero.

Los ponderadores calculados para cada panel o grupo de paneles se muestran en los cuadros 14 y 16. Para una explicación más detallada del procedimiento de cálculo de los ponderadores y de las varianzas, ver BERNUY (1979) y CANCHAYA (1980).

La ley media de cada panel se obtiene de la relación:

$$Z^* (\text{Cu o Ag}) = \frac{Z^* (\text{Cantidad de metal de Cu o Ag})}{\text{Potencia media}}$$

#### 4.3.3.4. Cubicación de Reservas

Siguiendo los pasos resumidos en los párrafos anteriores se ha calculado la potencia promedio y la ley promedio de Ag y Cu de cada uno de los paneles (fig.28 y 27). Igualmente, en base a la geometría de cada panel se ha calculado su área; valor que multiplicado por la potencia promedio y luego por el peso específico correspondiente, nos da el tonelaje de cada panel. El peso específico considerado es 2.80, valor que fue calculado a partir de 17 muestras sistemáticamente recogidas cubriendo todas las labores de la mina (CANCHAYA 1980).

En los cuadros 14 y 16 se presentan los valores estimados de los paneles probados de ambas vetas, indicando además los valores de los ponderadores correspondientes para cada labor.

En los cuadros 15 y 17 se presentan los valores estimados para los paneles probables y posibles de las vetas A y Z, respectivamente.

#### 4.3.4. Comentarios e interpretación de los resultados

Comparando los valores de las varianzas relativas ( $\sigma^2/m^2$ ), dados en la fig. 24, se observa para ambas vetas que la variabilidad de la Ag es más fuerte que la del Cu y la de éste a su vez mayor que la de la potencia. Esto quiere decir que mientras los valores de la potencia prácticamente se mantienen muy cerca de su promedio, los de Cu y en especial los de Ag presentan fuertes variaciones locales; lo cual también se refleja en los valores relativamente más altos del  $C_0$  (efecto de pepita) que presentan los variogramas del Cu y en especial los de la Ag, en comparación con los de la potencia.

- Por el lado de los coeficientes de correlación (r) entre el Cu y la Ag, se observa en general una correlación positiva alta para la veta A, esto se debe a que los minerales portadores del Cu y los de la Ag se encuentran muy asociados; mientras que en la veta Z deben estar formando fases diferentes, aunque no se descarta la posibilidad de que exista alguna correlación no lineal, no detectable con el método empleado. La correlación en la veta A es tan fuerte, que se puede apreciar aún en los diagramas de variación de leyes (fig.25) (se observa una buena correspondencia entre las "subidas" y "bajadas" de ambas variables a lo largo de un mismo tramo de galería) donde se calculó un coeficiente de correlación de 0.84 (cerca de la unidad, que se considera como el valor máximo de correlación). Hay que señalar además que los valores de correlación más altos entre Ag y el Cu se presentan especialmente en aquellas labores

que no interceptan la zona de los mantos piritosos, ni el contacto intrusivo-caliza. En un solo caso se obtuvo una correlación alta negativa (chimeneas 8,7-2 y 7-4), el  $r$  (Cu vs. Ag) = - 0.86 fue obtenido en un compuesto de las tres chimeneas y con un soporte de  $n=12$ ; por lo que este resultado sólo es referencial.

- Los coeficientes de correlación pot. vs Ag, aunque son muy variables, por lo general presentan valores positivos y bajos; sin embargo en algunos tramos se encontró buena correlación, como en el subnivel "8W" (cuadro 13) donde  $r$  (Pot. vs Ag) = 0.81 y  $r$  (Pot. vs Cu) = 0.71, por lo que podemos predecir que a cualquier incremento de potencia de la veta, le corresponderá un aumento en sus valores de Ag y Cu, y viceversa. El caso contrario ocurre en el subnivel "12-E" donde  $r$  (Pot. vs. Ag) = -0.81; aquí a cada incremento de la potencia le corresponderá un decremento en el valor de Ag, y viceversa; sin embargo este resultado no tiene mucho soporte ya que se sustenta sólo en cuatro datos (ver cuadro 13).

CANCHAYA & TUMIALAN (1976) presentan varias secciones longitudinales contorneadas de la veta  $\lambda$ , entre ellas los cocientes metálicos Ag/Cu, de la cual sin embargo no se pudo obtener ninguna conclusión debido a que no se manifiesta ningún patrón determinado; esto es ahora perfectamente explicable debido a la fuerte correlación positiva que presentan ambos elementos en esta veta; ver párrafo 5.2.3.

En el estudio estructural de las vetas se encontró en todos los casos variogramas de meseta, similares en ambas direcciones (galerías chimeneas), es decir se trata de estructuras isotropas. Los valores de pepita son variables en cada caso y el alcance promedio es de 10 m.

- Contrariamente a lo que se podría esperar, en ambas vetas los ponderadores asociados a la información circundante de cada panel ( $\lambda_2$  y/o  $\lambda_3$ , según la configuración) resultaron con más peso que los correspondientes a los tramos muestreados que directamente limitan cada panel ( $\lambda_1$  y/o  $\lambda_2$ ), lo cual indica que la distribución de las variables tiene fuerte tendencia a la aleatoriedad. En el nivel Juan se presenta un caso extremo donde casi se alcanza la aleatoriedad completa. Aquí (para el Cu) el ponderador  $\lambda_1$ , correspondiente al tramo límite del panel, tiene un valor de 0.06; mientras que el ponderador  $\lambda_2$ , correspondiente al promedio de toda la galería, es igual a 0.94 (cuadro 14). Si la estimación se hubiera realizado por los métodos clásicos empíricos, que sólo consideran las leyes de los tramos muestreados que directamente limitan cada panel (considerando nula la influencia de los valores circundantes), erróneamente habríamos subestimado sensiblemente los valores

reales de cada panel. Igualmente, si la estimación se hubiera realizado por los métodos clásicos no empíricos, que si consideran la información circundante (por ejemplo, el método del inverso del cuadrado de la distancia), también erróneamente se habría sobreestimado el peso del tramo muestreado que limita el panel, y subestimado el peso de la información circundante por encontrarse más lejos de dicho panel. De lo anterior se concluye que la técnica del Krigeage nos proporciona una mejor estimación de los valores reales de las variables potencia, plata y cobre en esta mina.

En la estimación de reserva de mineral se calculó para la veta A 102,000 toneladas, con un promedio de 2.5% de Cu y 8.6 oz. Ag/Ton.; de las cuales se cubicaron 28,000 tons. de mineral Probado repartido en 24 paneles, 74,000 tons. de Mineral Probable repartidos en 43 paneles; además se estimó 50,000 tons. de Mineral Posible. Para la veta Z se calculó cerca de 15,000 tons. de reservas con 2.4% de Cu y 29.5 oz. Ag/Ton.; de las cuales se cubicaron 10,000 tons. de Mineral Probado repartidas en 28 paneles y 5,400 tons. de Mineral Probable repartidas en 18 paneles; además se estimó 7,500 tons. de Mineral Posible.

- Con la metodología empleada y con el sistema de cálculo de leyes por paneles (los cuales pueden ser referidos a unidades de explotación semanal, quincenal o mensual) se tienen las siguientes ventajas: (a) no habrá necesidad de efectuar los clásicos castigos, (b) se podrá realizar una mejor planificación de la explotación a corto plazo y con el mínimo riesgo, y (c) se posibilitará además la explotación selectiva.

C U A D R O 3

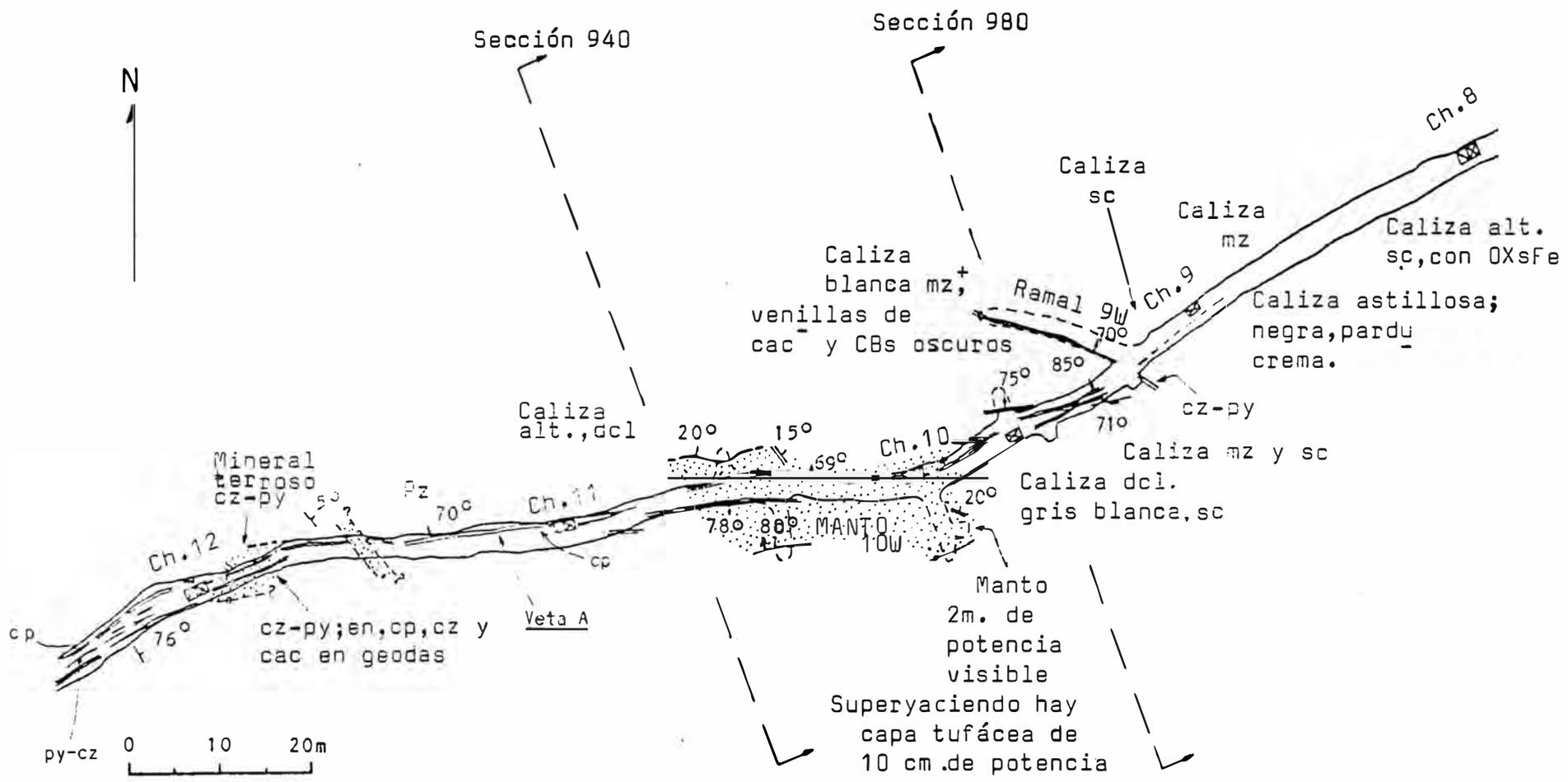
TIPO DE DEPOSITO		ROCA DE CAJA	CARACTERISTICAS PRINCIPALES	MINERALES		EJEMPLOS
				IMPORTANTES	ACCESORIOS	
CONCORDANTE	MANTOS DE Pb-Zn	CALIZAS Y MARGAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sulfuros en lentes, venillas, grumos y diseminados</li> <li>- Material orgánico y chert en lentes grumos y venillas</li> <li>- Todos los minerales son de grano fino</li> <li>- Sólo ocasionalmente las rocas de caja se encuentran débilmente alteradas</li> <li>- Mineralogía simple</li> </ul>	GALENA ESFALERITA CALCITA CUARZO PIRITA SERICITA	LIMONITAS HEMATITA ARCILLAS CALCOPIRITA (muy escasa)	MANTO DON PACO MANTO 8-S MANTO BOCAMINA MANTO(?) TORNAMESA
	MANTOS DE PIRITA-CUARZO	ALBIANAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Frecuentemente asociados con delgados horizontes tufáceos</li> <li>- Cuerpos masivos, en ocasiones con estratificación fina</li> <li>- Los minerales ocurren masivos</li> <li>- Sólo ocasionalmente las rocas de caja se encuentran débilmente alteradas</li> <li>- Mineralogía simple</li> </ul>	CUARZO PIRITA	CALCOPIRITA ESFALERITA GALENA COBREGRIIS CALCITA ENARGITA	MANTO 10-W MANTO 6-W MANTO 8-W MANTO 11 MANTO 11-E MANTO 11-W
DISCORDANTE	VETAS HIDROTERRMALES POLIMETALICAS	CALIZAS E INTRUSIVOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mineralogía compleja con minerales de grano grueso y a veces con cristales bien formados</li> <li>- Alteración notable de las rocas de caja</li> <li>- Minerales de Cu son abundantes</li> <li>- Reemplazamiento entre las diferentes fases de minerales</li> <li>- Se encuentran rellenando fracturas o fallas</li> </ul>	CALCOPIRITA PIRITA CUARZO ESFALERITA GALENA COBREGRIIS ENARGITA	CALCITA LUZONITA MARCASITA BORNITA MAWSONITA LIMONITA CALCOSITA COVELITA BARITINA KESTERITA	VETAS: A, Z, B, C, D, E, F, etc.

PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE LOS TIPOS DE DEPOSITOS DE LA MINA BELLA UNION

S.C. 89

Cuadro 4

CUERPO CON MINERAL		MINERALES	
		ABUNDANTES	ACCESORIOS
V E T A A		Cuarzo Pirita Enargita Luzonita Cobregrises Calcopirita	Esfalerita Galena Rutilo Calcita Mawsonita Covelita Limonita Pirrotita Kesterita Estannita Calcosita Calcantita Melanterita Bornita Yeso
V E T A Z		Esfalerita Galena Calcopirita Cobregrises Carbonatos Cuarzo	Marcasita Pirita Baritina
MANTOS DE Pb-Zn	MANTO 8-S	Galena Esfalerita Cuarzo Sericita	Pirita Calcopirita Calcita Chert Pirrotita Arcillas
	MANTO DON PACO	Galena Chert Esfalerita Carbonatos	Pirita Marcasita Hematita Limonita Sericita Arcillas Cuarzo
	MANTO TORNAMESA	Pirita Carbonatos Galena	Cuarzo Chert Hematita Magnetita Calcopirita Esfalerita Sericita Arcilla Cobregrises
MANTOS DE PIRITA-CUARZO	MANTO 10-W	Pirita Cuarzo	Cobregrises Calcopirita
	MANTO SN 12-W	Pirita Cuarzo	Calcopirita
	MANTO 12-E	Pirita Cuarzo	Calcantita Melanterite



PLANO GEOLOGICO DE LA GALERIA W DEL NIVEL LOURDES ENTRE LAS CHIMENEAS 8 Y 12

s.c. 89

FIG. 11

- 50 -

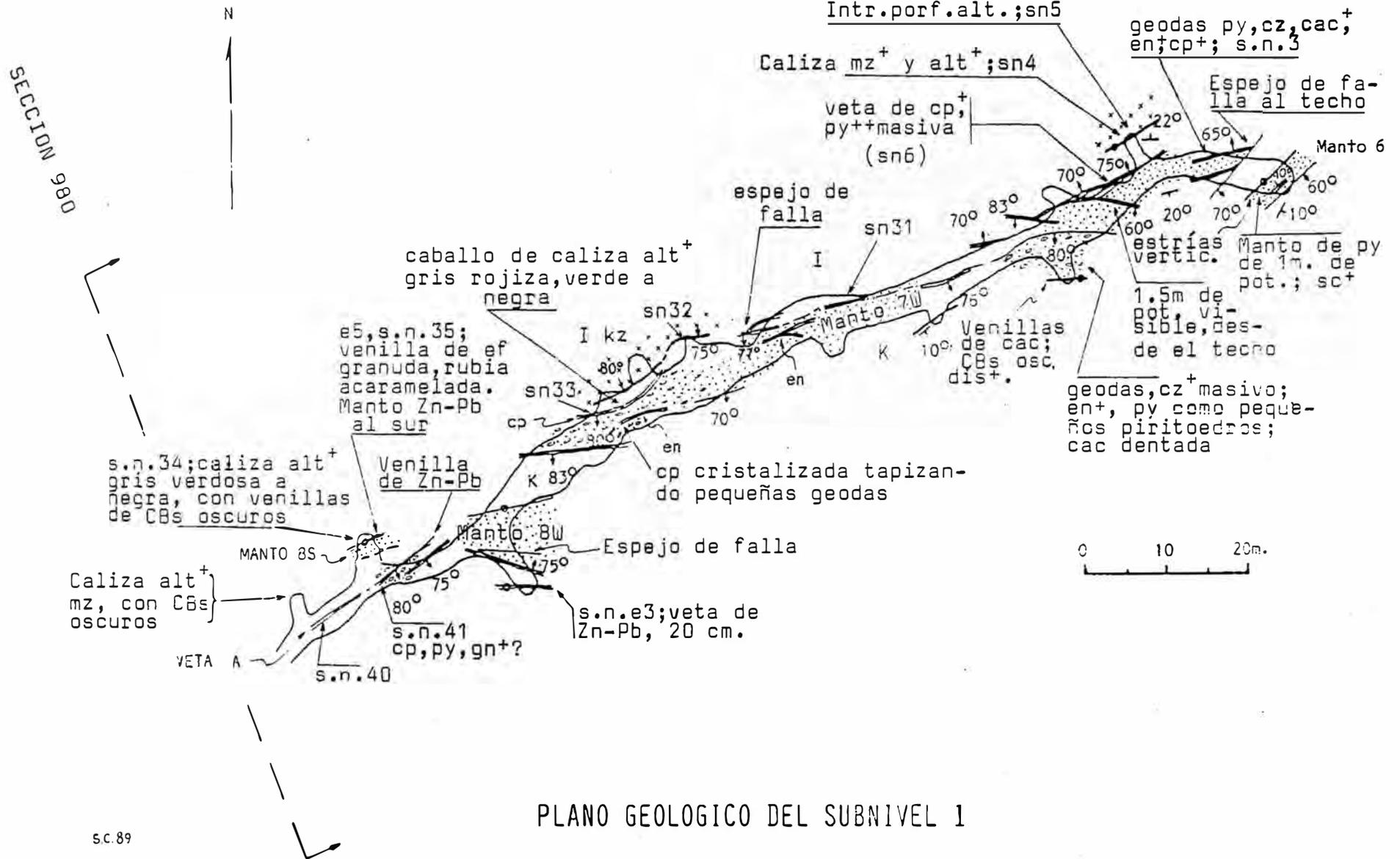
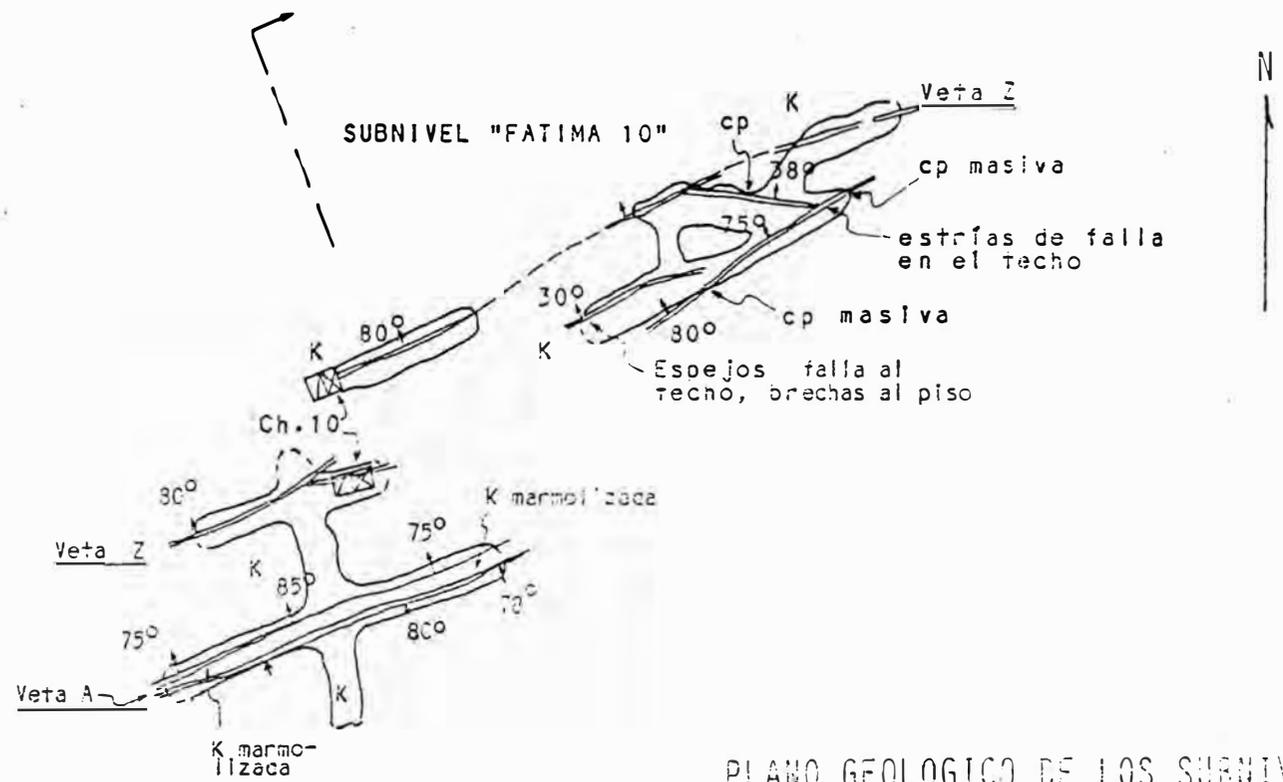
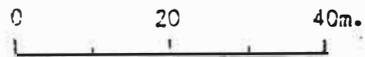


FIG. 12



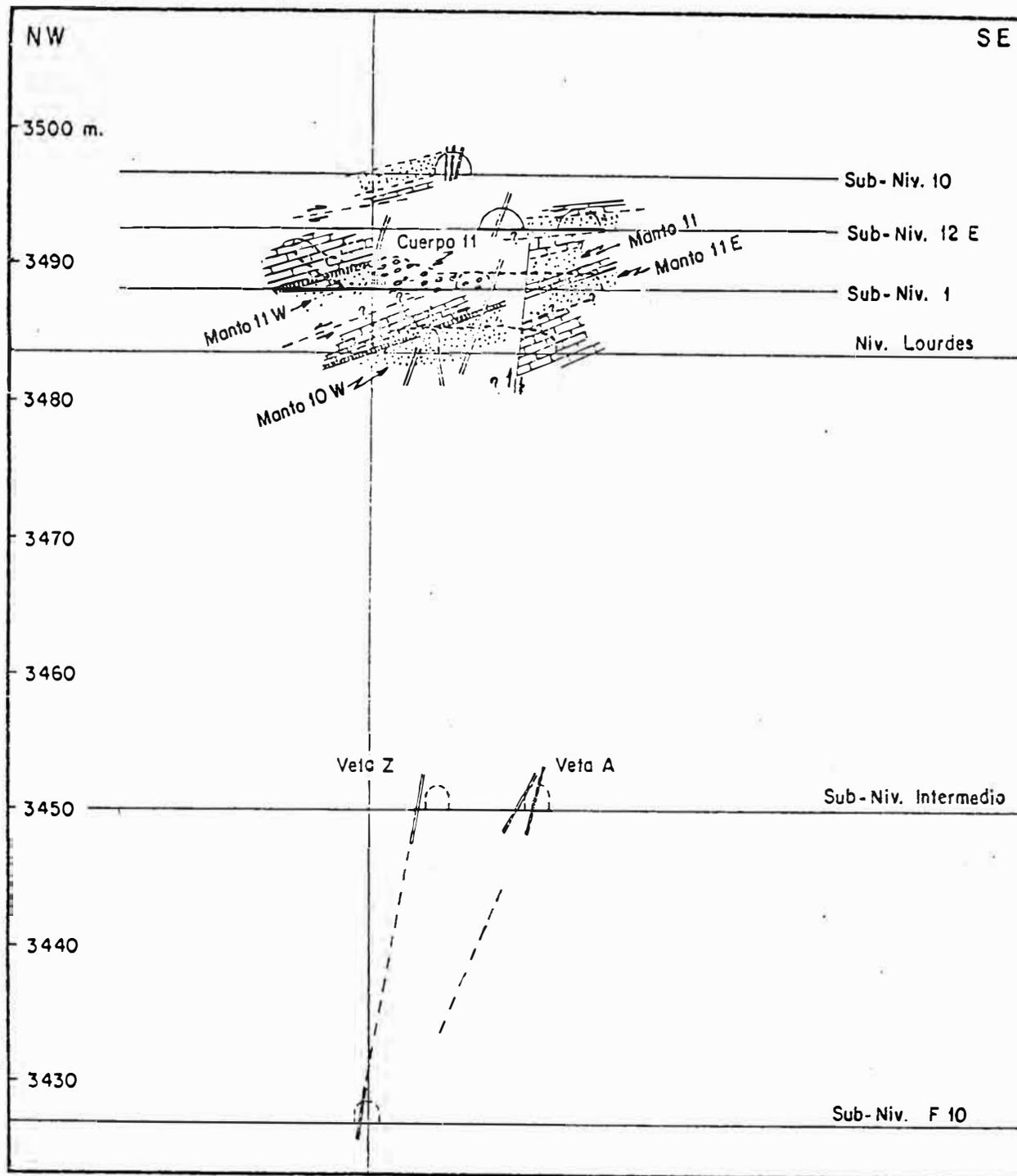
PLANO GEOLOGICO DE LOS SUBNIVELES  
FATIMA 10 E INTERMEDIO



s.c. 89

SECCION 980

FIG. 13

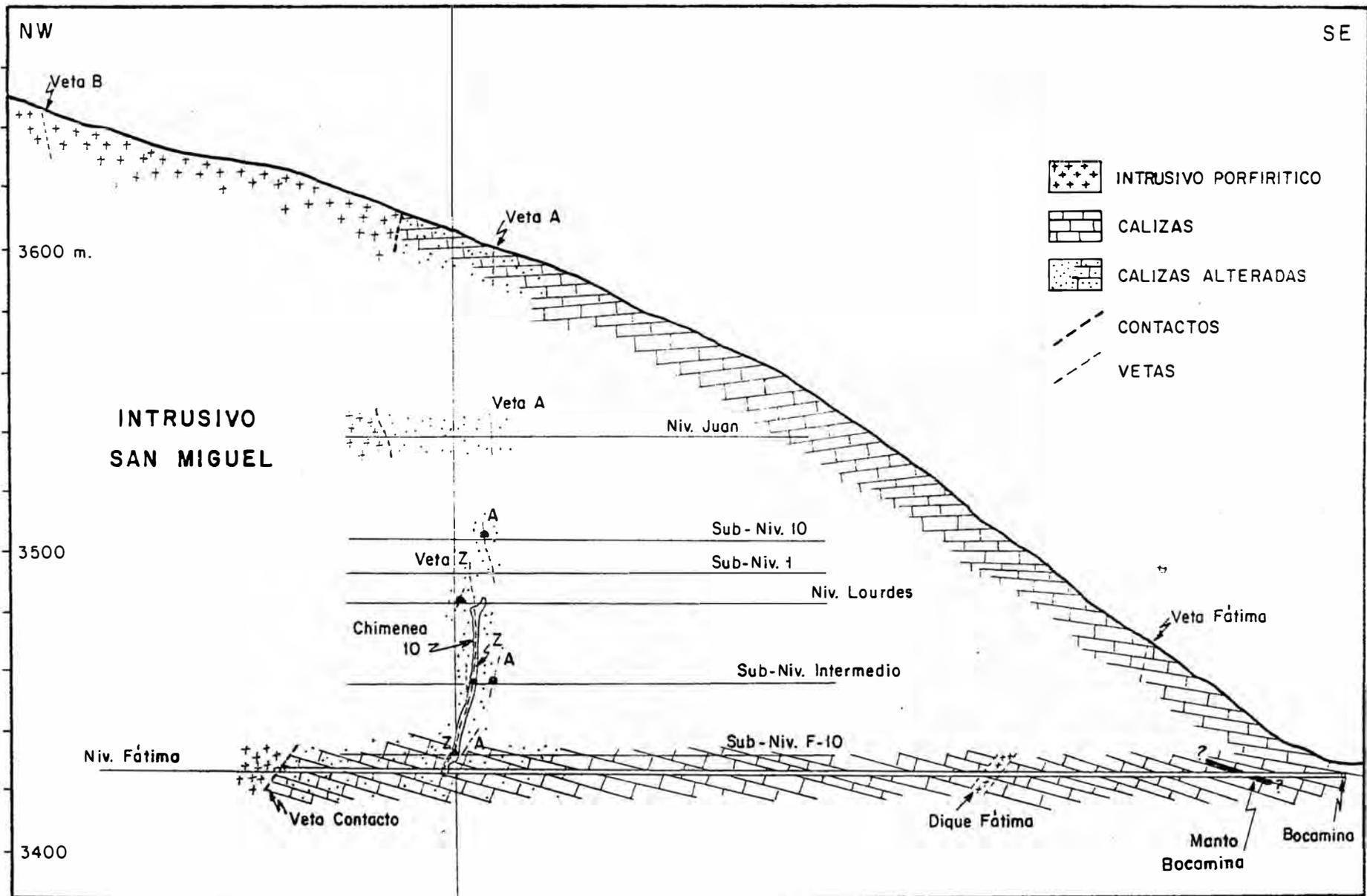


**SECCION TRANSVERSAL MOSTRANDO LAS PRINCIPALES ESTRUCTURAS CON MINERAL EN LA MINA BELLA UNION**

-  MANTO
-  CUERPO
-  VETA
-  FALLA
-  TUFOS

Tomado de CANCHAYA (1982, 1987c).

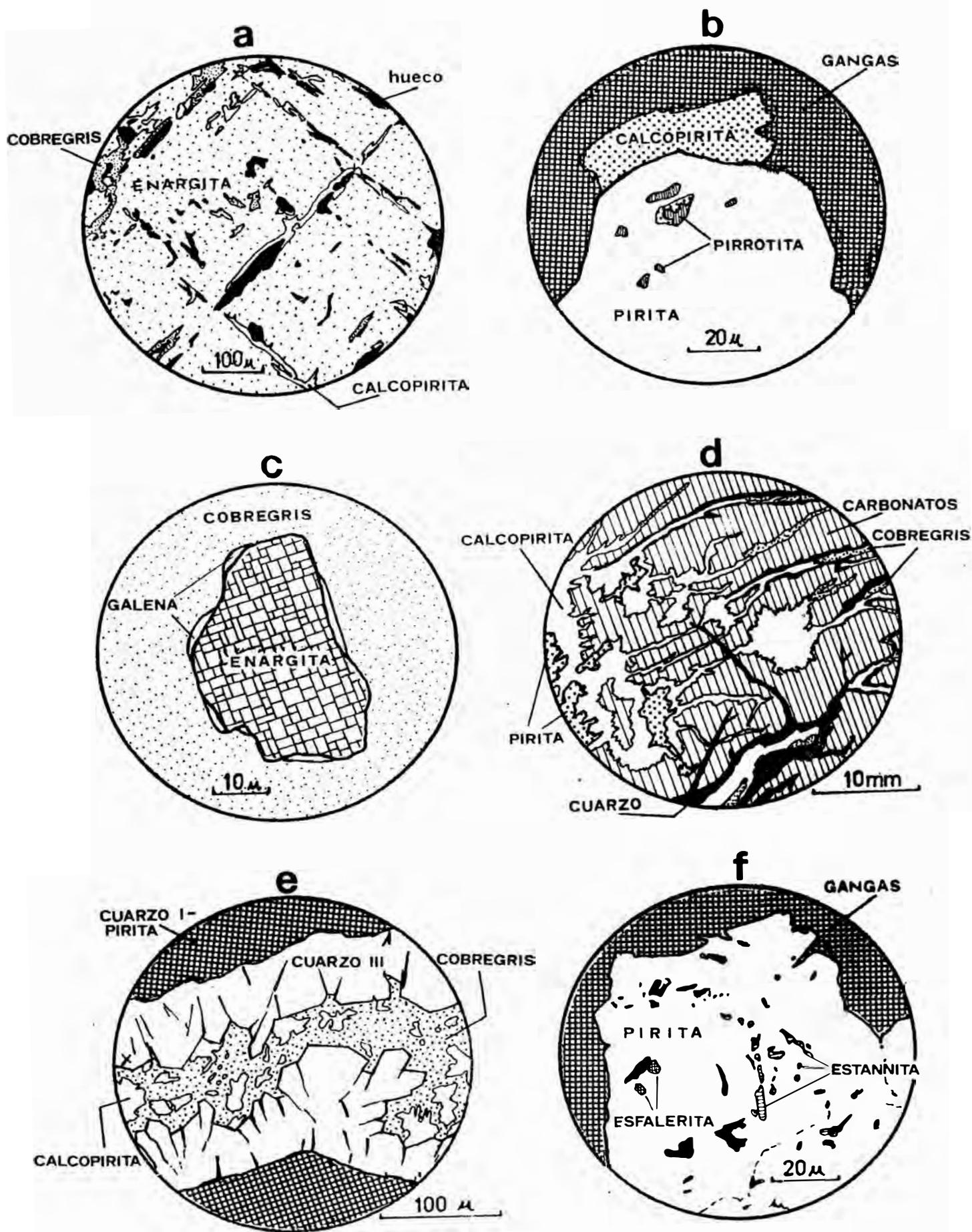
Fig.14



S.C. 89

SECCION 980

FIG. 15



S.C. 89

FIG.16..MICROINTERCRECIMIENTOS IMPORTANTES: VETA "A"

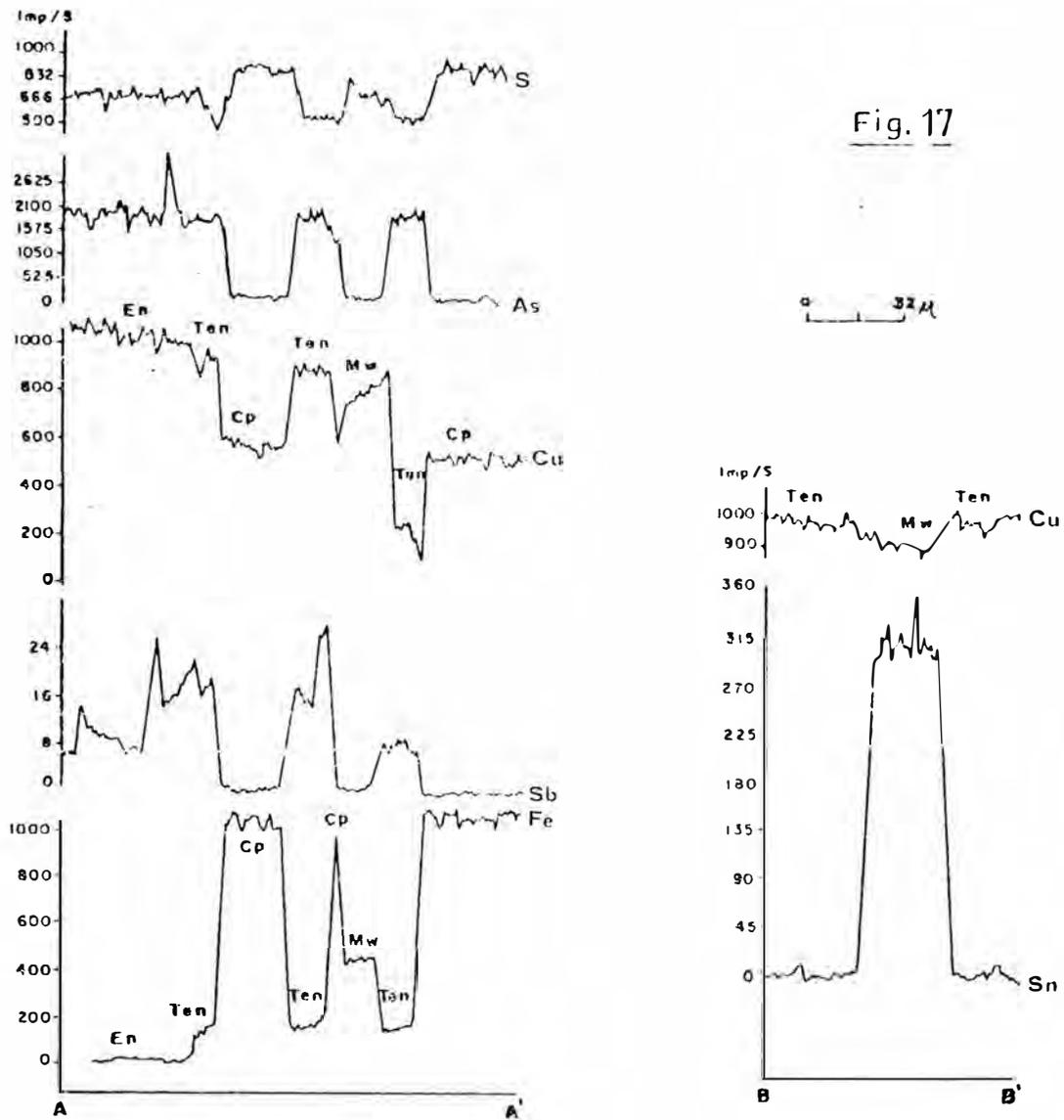
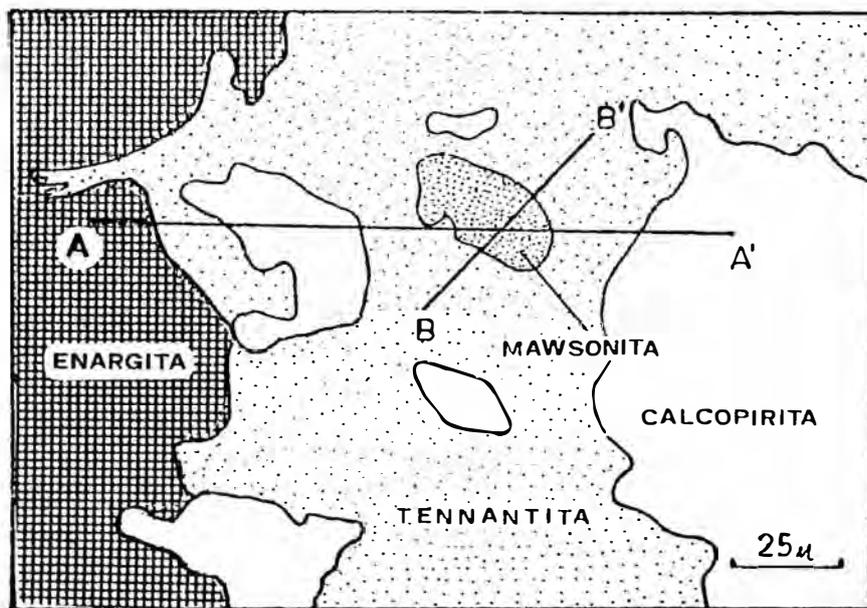
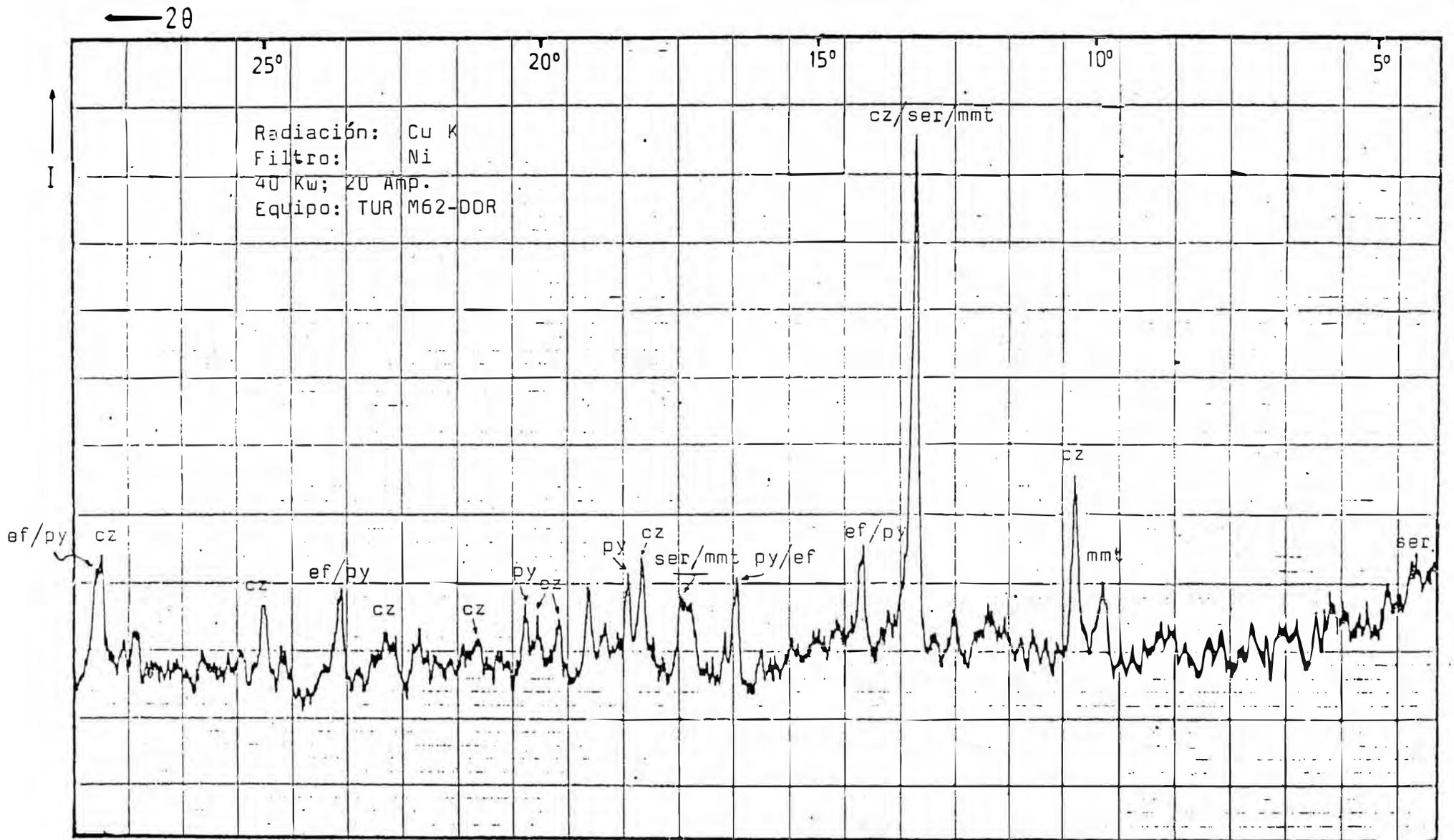


Fig. 17



ANALISIS SEMICUANTITATIVO DE UNA MAWSONITA DE LA VETA "A" (CABOS 1980,1981; Microsonda CAMEBAX).



DIFRACTOGRAMA DE UNA MUESTRA PROCEDENTE DEL HORIZONTE TUFACEO SOBROYACENTE AL MANTO 10-W

MINA BELLA UNION

Tomado de CANCHAYA (1987c)

Fig. 18

COMPARACION DE LA COMPOSICION QUIMICA (% en peso) DE MINERALES DEL GRUPO DE LA ENARGITA PROCEDENTES DE VARIAS MINAS PERUANAS.

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
S	32,22	30,24	32,66	37,45	31,84	30,45	31,01	31,00	29,41	28,83	32,66	29,10
Cu	47,01	50,33	47,67	33,25	28,77	47,93	45,43	45,43	42,99	42,89	48,22	43,27
As	19,19	18,80	19,11	15,23	18,37	8,88	9,09	9,09	11,04	3,90	19,22	----
Sb	0,52	1,35	----	(°)	(°)	12,74	12,74	12,74	18,00	24,28	----	27,63
Fe	0,24	0,15	----	5,66	14,44	----	0,67	0,67	----	0,31	----	----
Zn	1,10	0,90	----	7,72	5,96	(°)	0,65	(°)	----	----	----	----
Cd	0,29	---	----	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	----	----	----	----
Ag	(°)	(°)	----	0,04	0,62	(°)	(°)	(°)	(°)	----	----	----
	100,67	101,93	99,44	99,35	100,00	100,00	99,59	100,00	101,44	100,15	100,00	100,00

(°) No analizado

- (1) y (2) Enargitas.- Veta A, Mina Bella Unión (Hualgayoc). Análisis con microsonda, CABOS (1980, 1981).  
 (3) Enargita.- Veta San Carlos, Mina Los Negros (Hualgayoc). Análisis con microsonda, CABOS (1980, 1981).  
 (4) y (5) Enargitas de Morococha y Sayapullo, respectivamente. RIVERA PLAZA (1953).  
 (6) "Famatinita".- Cerro de Pasco. FRENZEL (1875) (citado por PALACHE et al. 1961).  
 (7) "Famatinita".- Caudalosa. STEVANOVIC (1903) (citado por PALACHE et al. 1961).  
 (8) "Famatinita".- Caudalosa. RIVERA PLAZA (1953).  
 (9) Luzonita-estibiolumonita.- Veta A, mina Bella Unión. Análisis con microsonda, CABOS (1980, 1981).  
 (10) Estibiolumonita.- Veta San Carlos, Mina Los Negros. Análisis con microsonda, CABOS (1980, 1981).  
 (11) y (12) Valores teóricos de enargita y estibiolumonita respectivamente.

152

COMPARACION DE LA COMPOSICION QUIMICA (% en peso) DE TENNANTITAS PROCEDENTES DE VARIAS MINAS PERUANAS

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)
S	26,13	26,28	27,36	29,33	26,94	30,60	29,80	27,10	28,75	25,12	26,05	26,74	27,92	27,85	27,7	27,5
Cu	46,00	48,81	44,10	41,15	43,02	39,00	37,70	42,29	47,43	41,08	43,30	39,09	43,70	43,53	41,7	44,8
As	16,08	19,74	17,10	18,00	18,80	17,10	21,81	18,47	20,25	14,75	16,78	13,49	19,80	19,56	18,1	13,5
Sb	6,20	2,20	4,40	0,30	---	0,81	1,20	---	---	7,19	6,12	9,06	0,20	0,44	3,3	10,0
Fe	2,52	4,56	---	0,40	5,21	6,90	3,50	5,44	0,13	2,38	4,00	5,46	1,44	1,45	---	3,7
Zn	3,09	---	6,69+	9,20	6,03+	1,60	4,20	3,80	3,44	7,19	2,00	2,14	0,11	0,10	8,3	---
Ag	1,25	0,28	0,35	0,27	---	4,30	0,34	0,00	---	(°)	(°)	3,86	6,35	6,75	---	---
Otros	---	---	---	0,43b	---	0,25c	1,45d	---	---	0,27a	---	---	---	---	---	---
	101,27	99,87	100,00	99,08	100,00	100,56	100,00	100,00	100,00	97,98	98,25	99,84	100,03	99,57	99,1	99,5

+ Calculado como diferencia de 100%

(°) No analizado

Nota.- A excepción de las columnas (10), (11) y (12), todas las demás son resultados de análisis con microsonda.

a Pb

b 0,20 Cd + 0,23 Ge

c 0,15 Cd + 0,10 Ge

d 1,04 Cd + 0,41 Ge

(1), (2) y (3) Veta A, Mina Bella Unión (Hualgayoc). CABOS (1980,1982)

(4) y (5) Veta San Carlos, Mina Los Negros (Hualgayoc). CABOS (1980,1982)

(6) y (7) Mina Santa Marta (Hualgayoc). CABOS (1980,1982)

(8), (9) Veta Paccha, Mina El Dorado (8) e Imperial (9) (Hualgayoc). CABOS (1980,1982)

(10) "Sandbergita", Mina Señor de la Cárcel (Morococha). RIVERA PLAZA (1953)

(11) Mina Incud, distrito de Chetilla, Cajamarca. RIVERA PLAZA (1953)

(12) Mina San Francisco, Huallanca. RIVERA PLAZA (1953)

(13), (14) Mina Casapalca. WU & PETERSEN (1977)

(15) y (16) Minas Cerro de Pasco y Huarón respectivamente. SPRINGER (1969)

sc. 89

Cuadro 6a

COMPARACION DE LA COMPOSICION QUIMICA (% en peso) DE TETRAEDRITAS PROCEDENTES DE VARIAS MINAS PERUANAS

	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)	(25)	(26)	(27)	(28)	(29)	(30)	(31)
S	25,69	27,30	25,22	25,26	26,54	26,02	26,20	26,79	23,31+	22,61+	24,21	23,51	24,27	24,20	24,54
Cu	40,34	42,13	33,60	38,40	33,82	39,50	36,40	37,80	21,46	21,24	21,98+	42,00	14,38	34,72	35,26
As	3,20	9,71	2,82	1,02	3,30	3,87	0,87	3,26	0,27	1,95	9,27	7,67	0,56	3,27	4,48
Sb	25,02	11,50	24,82+	28,17	26,03	22,01+	27,83	23,62	27,22	26,98	18,81	17,21	24,74	23,85	22,43
Fe	-----	1,47	7,01	3,98	0,59	0,80	0,93	0,16	3,42	2,86	2,60	8,28	9,12	0,81	3,30
Zn	7,68	8,20	5,60	2,01	8,56	7,12	6,14	5,98	2,89	3,20	1,62	0,49	1,93	6,52	6,32
Ag	0,61	0,49	0,93	3,01	2,31	0,47	2,61	0,22	21,33	21,16	20,51	0,55	11,92	6,72	4,35
Otros	-----	-----	-----	-----	-----	0,44g	-----	0,18e	0,10e	-----	1,00f	-----	13,00a	-----	-----
	102,54	100,80	100,00	101,91	101,15	100,00	100,98	99,01	100,00	100,00	100,30	99,71	100,00	100,09	100,78

+ Calculado como diferencia de 100%

a Pb

e Cd

Nota.- A excepción de las columnas (28) y (29), todas las demás son resultados de análisis con microsonda.

f 0,40 Cd + 0,60 Ge

g 0,21 Cd + 0,23 Ge

(17) Veta A, Mina Bella Unión. CABOS (1980,1982)

(18) (19) Mina Amaru, Hualgayoc. CABOS (1980,1982)

(20),(21),(22) Veta San Carlos, Mina Los Negros (Hualgayoc). CABOS (1980,1982)

(23) Mina Santa Marta, Hualgayoc. CABOS (1980,1982)

(24) Mina Predilecta (?), Hualgayoc. CABOS (1980,1982)

(25),(26) Veta Paccha: Mina Imperial (25) y San Agustín (26) (Hualgayoc). CABOS (1980,1982)

(27) Mina Atahualpa, Hualgayoc. CABOS (1980,1982)

s.c.89

(28) Algamarca, Cajabamba. RIVERA PLAZA (1953)

(29) "Malinowskita", Recuay (Ancash). RIVERA PLAZA (1953)

(30) y (31) Mina Casapalca. WU & PETERSEN (1977).

Cuadro 6b

COMPARACION DE LOS ANALISIS CON MICROSONDA (% en peso) DE MAWSONITAS PERUANAS CON OTRAS DE DIVERSA PROCEDENCIA.

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
S	29,22	29,90	29,40	29,50	33,00	29,14
Fe	13,60	12,80	12,40	12,50	12,50	12,95
Cu	43,08	43,00	43,60	42,90	44,30	44,15
Sn	13,24	13,60	13,60	13,80	10,40	14,58
As	0,61	---	---	---	---	(°)
Sb	0,15	---	---	---	---	(°)
Zn	0,17	---	---	---	---	---
	100,07	99,30	99,00	98,70	100,20	100,82

(°) No analizado

(1) Veta A, Mina Bella Unión (Perú). CABOS (1980,1981)

(2), (3) Vila Apacheta (Bolivia). SPRINGER (1968)

(4) Mina Colquijirca (Perú). SPRINGER (1968)

(5) Mt. Lyell (Tasmania). BARRHAM & LAWRENCE (1965)

(6) Mina Akenobe (Japón). YAMANAKA & KATO (1976)

S.C. 84

Cuadro 7

COMPARACION DE LOS ANALISIS CON MICROSONDA (% en peso) DE KESTERITAS PERUANAS CON OTRA PROCEDENTE DE ZINWALD-BOHEMIA Y CON LOS VALORES TEORICOS

	(1)	(2)	(3)	(4)
S	28,22	29,38	29,40	29,23
Fe	1,69	2,76	4,20	---
Cu	28,06	31,32	28,90	28,76
Sn	28,17	22,84	25,50	27,09
Zn	12,55	12,84	11,20	14,92
As	0,17	(°)	(°)	---
Cd	0,25	(°)	(°)	---
	99,11	99,14	99,30	100,00

(°) Elemento no analizado

(1) Veta San Carlos, Mina Los Negros (Hualgayoc). CABOS (1980, 1982).

(2) Sistema de vetas de la mina San Cristóbal (Junín). KOBE (1984)

(3) Zinwald-Bohemia. SPRINGER (1968)

(4) Valores teóricos.

S.C. 85

Cuadro 8

MUESTRA	POTENCIA (m.)	OZ. Ag/Ton	%Cu
4223	1,40	0,5	0,12
4224	1,46	2,3	0,32
4225	1,00	0,4	0,06
4226	1,00	0,2	0,05
4297	0,50	0,8	0,17
4298	0,60	0,6	0,23
4299	1,40	0,8	0,22
<b>PROMEDIO:</b>	<b>1,12</b>	<b>0,8</b>	<b>0,16</b>

LEYES DE ALGUNAS MUESTRAS DE LA VETA "C" PROCEDENTES DE LA CORTADA BELLA UNION. Según MEDINA (1972).

S.C. 89

Cuadro 9

	M U E S T R A S			
	BU-1	BU-3	BU-4	BU-5
Zn	0,06	0,09	--	--
As	0,82	0,66	0,41	0,59
Ag	0,11	--	--	--
Sb	--	--	--	--
Cd	--	--	--	--

CONTENIDO (en % en peso)  
DE ELEMENTOS TRAZA EN CAL  
COPIRITAS DE LA VETA A  
(Análisis con microsonda).  
Según CABOS (1980, 1981).

S.C. 89

Cuadro 10

CUADRO DE POTENCIAS Y VALORES ANALITICOS DEL MANTO 10-W.  
 Confeccionado con datos de OCOLA (1978)

PROCEDENCIA	MUESTRA	POTENCIA (m)	OZ. Ag/Ton.	%Cu
TAJO 10	057	1,60	1,0	0,74
	058	1,80	2,4	1,35
	059	1,60	4,9	2,02
	060	2,20	2,5	0,86
	061	2,00	7,1	1,28
	062	0,80	2,6	0,51
	063	1,40	3,6	1,40
	064	2,00	8,5	1,98
	065	1,90	11,0	1,20
	066	1,50	2,1	1,41
	067	1,50	12,5	2,31
	068	1,50	1,6	0,37
	069	1,55	2,8	1,40
	070	1,60	6,3	3,07
NIVEL LOURDES	071	1,35	2,1	1,35
	(+)	1,40	(°)	0,68
	(+)	1,40	(°)	0,93
	(+)	1,50	(°)	0,80
	(+)	1,30	(°)	0,97
	Promedio	1,60	4,8	1,44

(+) Muestra sin código

(°) No analizado

Nota.- MEDINA (1972) reporta promedios discrepantes:

Potencia: 2.44 m.

OZ. Ag/Ton. 9.8

%Cu 1.93

# CUADRO DE MEDIAS Y VARIANZAS

## VETA "A"

LABOR	Intervalo de muestreo	Nº de muestras	Potencia (m.)	Acumulación de Ag	Acumulación de Cu		
CORTADRA	2	9	1.16	1.85	1.82	m	
			0.183	9.07	6.75	$\sigma^2$	
			0.136	2.65	2.038	$\sigma^2/m^2$	
JUAN	3	7	1.11	15.87	2.99	m	
			0.377	43.907	13.09	$\sigma^2$	
			0.305	1.74	1.46	$\sigma^2/m^2$	
	4	10	1.15	10.55	1.90	m	
			0.121	113.40	1.76	$\sigma^2$	
			0.091	1.02	0.49	$\sigma^2/m^2$	
	4.5	7	1.91	8.60	1.72	m	
			0.105	64.00	2.33	$\sigma^2$	
			0.102	0.865	0.768	$\sigma^2/m^2$	
	Promedio	24	1.098	11.52	2.16	m	
			0.200	202.00	5.54	$\sigma^2$	
			0.155	1.52	1.19	$\sigma^2/m^2$	
	SUO-NIVELES	2	4	1.72	33.03	7.47	m
				0.475	2,528.2	112.87	$\sigma^2$
				0.160	2.31	1.91	$\sigma^2/m^2$
2		45	2.17	8.22	3.54	m	
			0.891	114.32	14.37	$\sigma^2$	
			0.189	1.69	1.15	$\sigma^2/m^2$	
4		9	2.45	19.73	10.71	m	
			0.162	55.73	35.07	$\sigma^2$	
			0.027	0.143	0.306	$\sigma^2/m^2$	
Promedio		89	2.635	20.493	6.193	m	
			0.556	1,153.254	59.520	$\sigma^2$	
			0.145	1.827	1.492	$\sigma^2/m^2$	

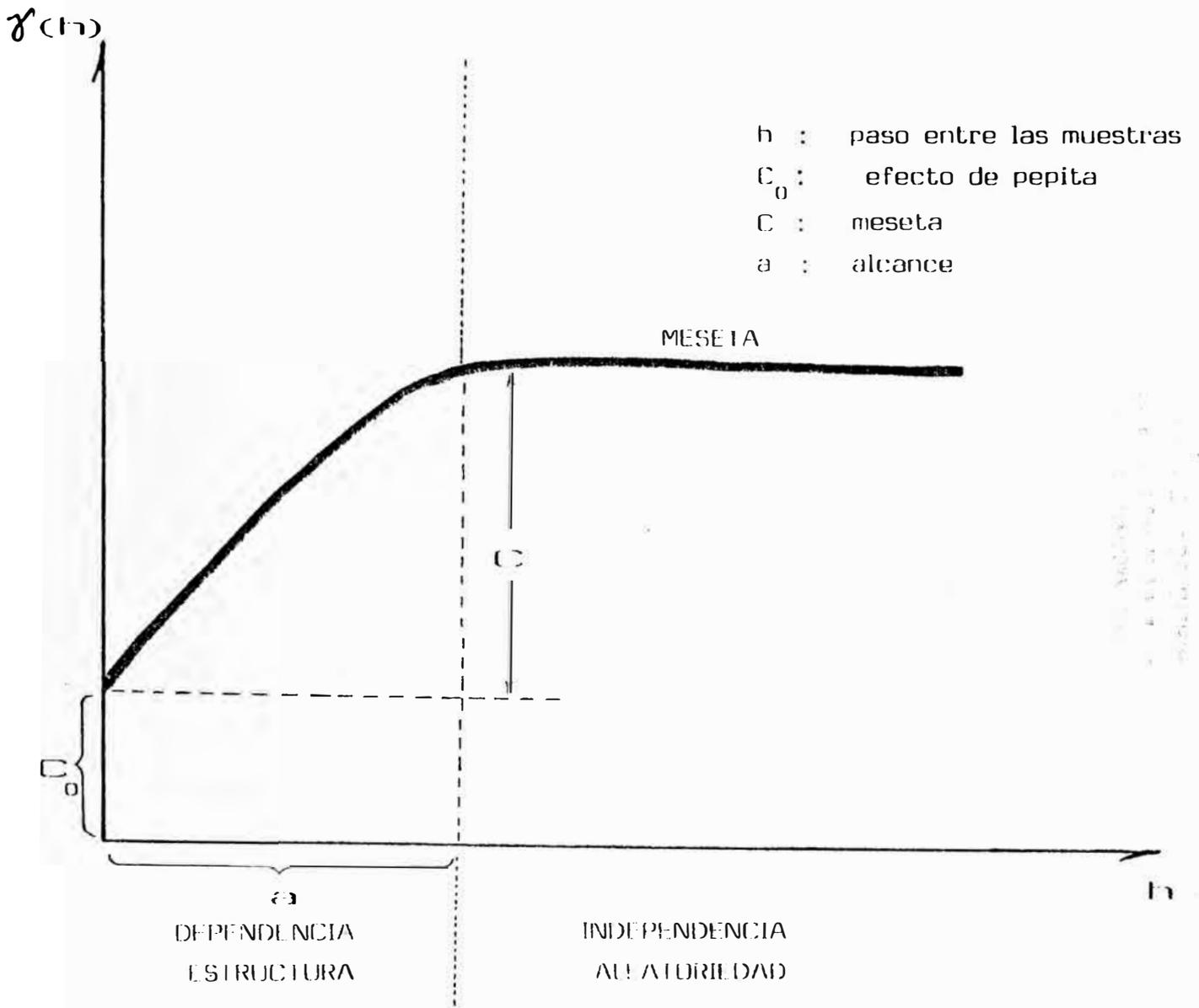
LABOR	Intervalo de muestreo	Nº de muestras	Potencia (m.)	Acumulación de Ag	Acumulación de Cu	
LONDRES	2	59	2.26	18.94	6.31	m
			0.519	1,206.3	66.49	$\sigma^2$
			0.102	3.36	1.67	$\sigma^2/m^2$
	4	60	1.60	11.15	3.04	m
			0.253	104.02	9.35	$\sigma^2$
			0.099	0.837	1.01	$\sigma^2/m^2$
Promedio	119	1.96	15.04	4.81	m	
		0.48	715.0	42.93	$\sigma^2$	
CHIMENEAS	7W	4	1.82	28.97	3.246	m
			0.088	538.63	7.859	$\sigma^2$
			0.027	0.642	0.746	$\sigma^2/m^2$
	8E	4	1.00	6.807	1.432	m
			0.132	0.518	0.693	$\sigma^2$
			0.192	0.011	0.338	$\sigma^2/m^2$
	8	5	0.928	10.832	1.657	m
			0.044	174.92	1.097	$\sigma^2$
			0.077	1.491	0.399	$\sigma^2/m^2$
	9	8	1.056	2.186	0.422	m
			0.033	1.285	0.066	$\sigma^2$
			0.029	0.269	0.371	$\sigma^2/m^2$
10	6	1.00	2.283	0.617	m	
		0.076	5.244	0.223	$\sigma^2$	
		0.076	1.141	0.584	$\sigma^2/m^2$	
Promedio	26	1.13	8.525	1.256	m	
		0.069	118.33	1.572	$\sigma^2$	
		0.061	0.733	0.479	$\sigma^2/m^2$	

## VETA "Z"

LABOR	Intervalo de muestreo	Nº de muestras	Potencia (m.)	Acumulación de Ag	Acumulación de Cu	
FATIMA	2	59	0.559	11.04	1.34	m
			0.112	484.	3.89	$\sigma^2$
			0.358	3.98	2.16	$\sigma^2/m^2$
CHIMENEAS 10	3	17	0.562	19.114	1.531	m
			0.034	365.23	2.269	$\sigma^2$
			0.108	0.999	0.968	$\sigma^2/m^2$

S.C.89

Cuadro 12



Representación gráfica de una función variograma típica (Modelo esférico)

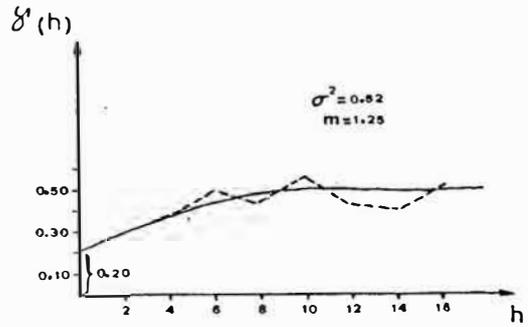
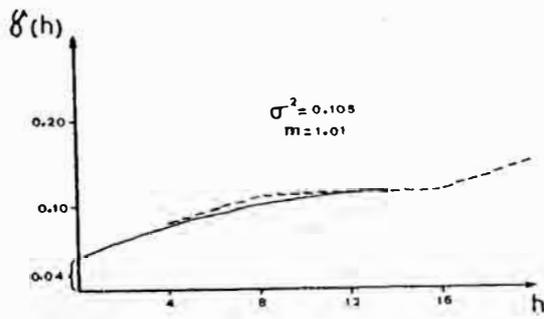
# VETA "A"

## SEMIVARIOGRAMAS EXPERIMENTALES

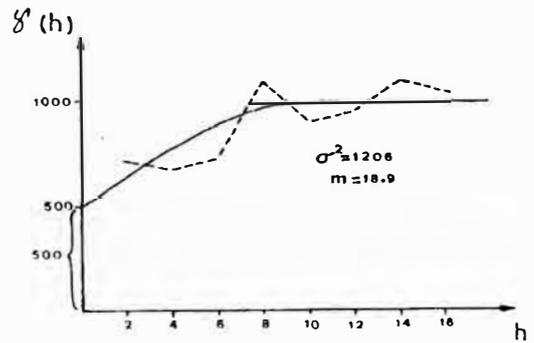
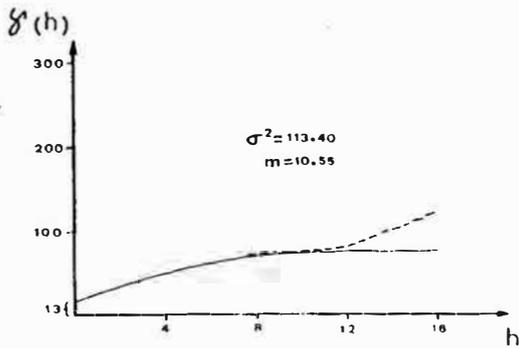
NIVEL JUAN

NIVEL LOURDES

ESPESOR



ACUMULACION PLATA



ACUMULACION COBRE

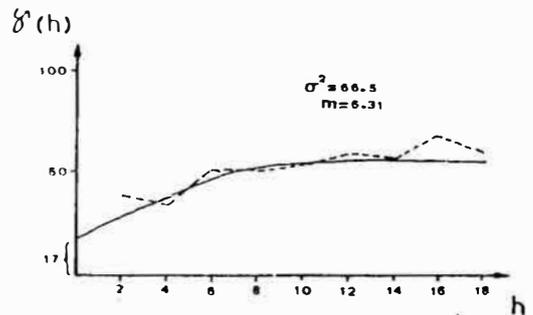
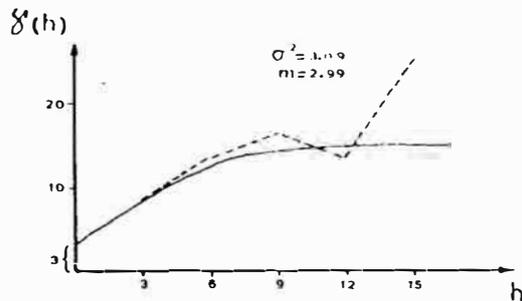


Fig. 20

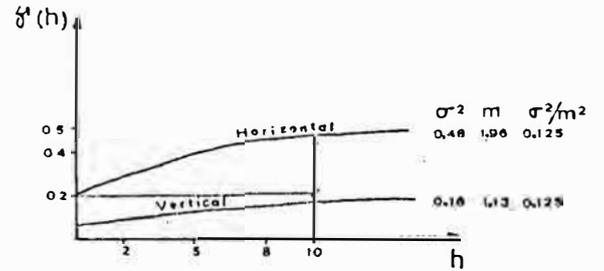
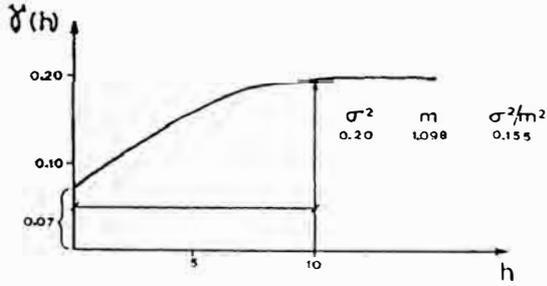
# VETA "A"

## SEMIVARIOGRAMAS TEORICOS

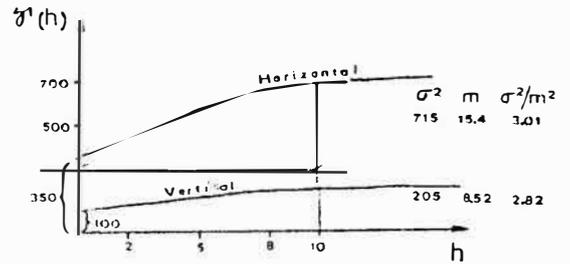
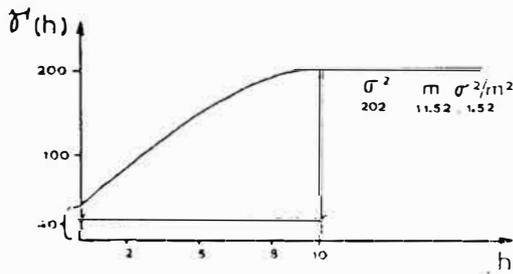
NIVEL JUAN

NIVEL LOURDES

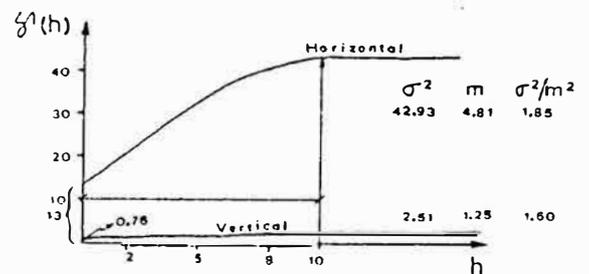
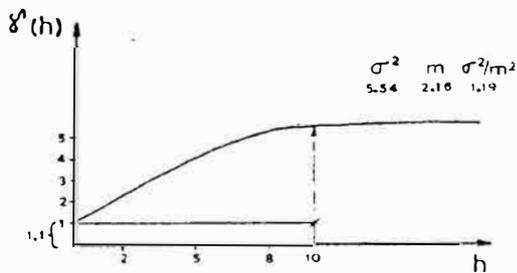
ESPESOR



ACUMULACION PLATA



ACUMULACION COBRE



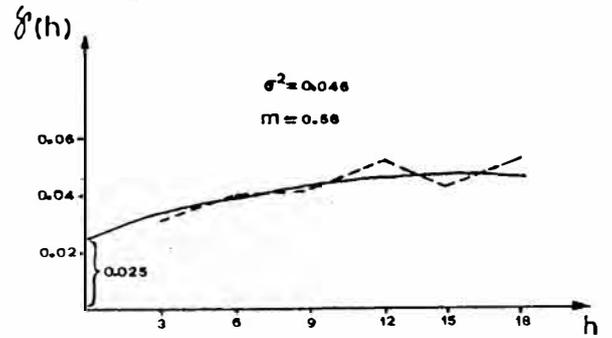
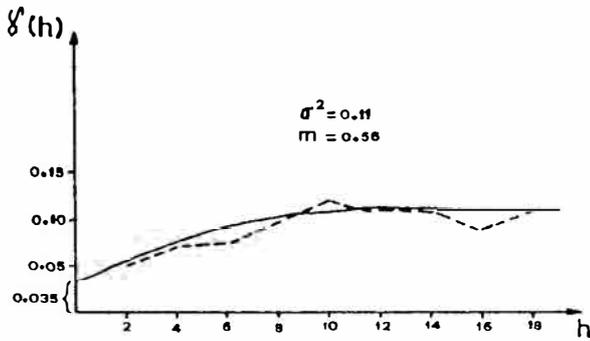
# VETA "Z"

## SEMIVARIOGRAMAS EXPERIMENTALES

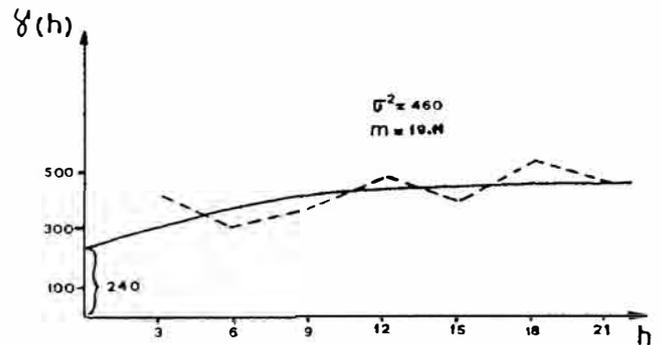
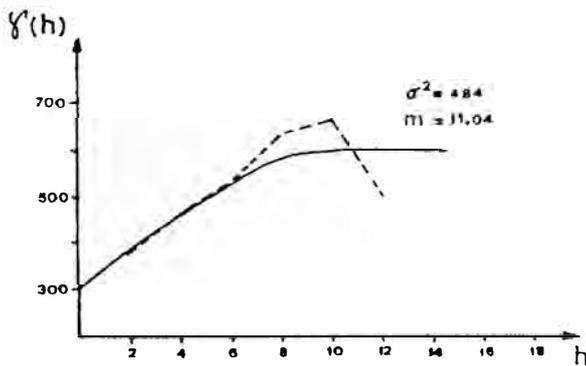
NIVEL FATIMA

CHIMENEA 10

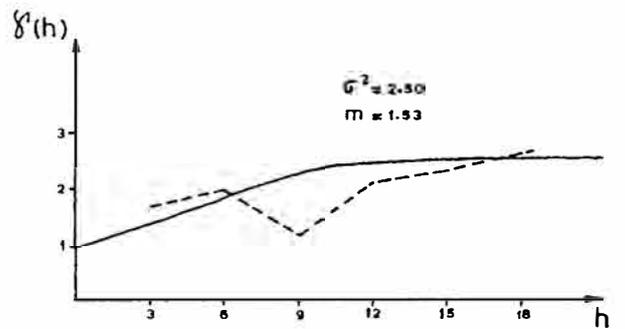
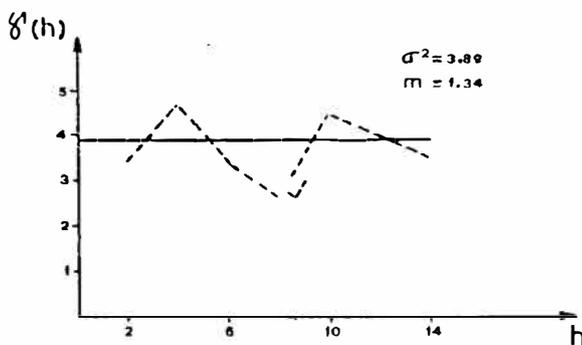
ESPESOR



ACUMULACION DE PLATA



ACUMULACION DE COBRE



# VETA "Z"

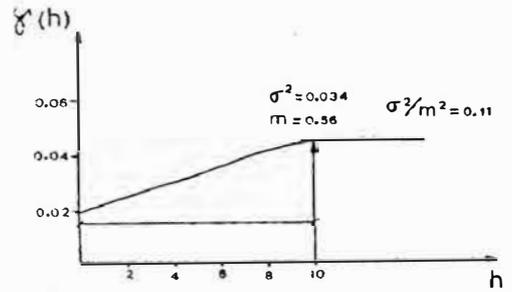
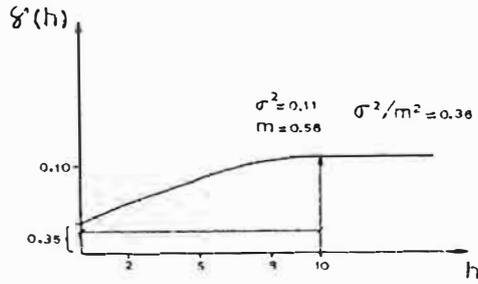
SEMIVARIOGRAMAS

TEORICOS

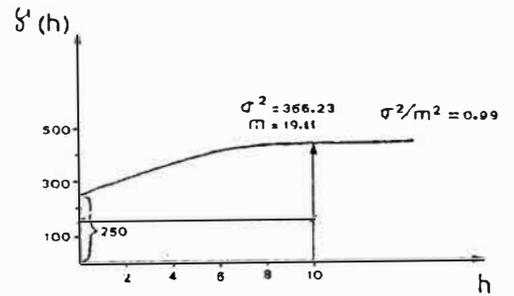
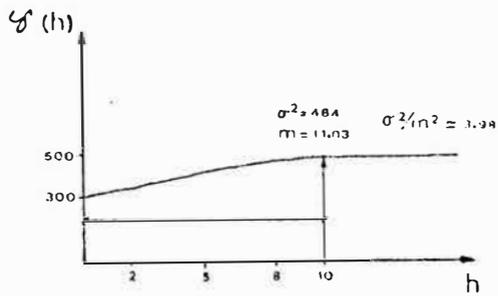
NIVEL FATIMA

CHIMENEA 10

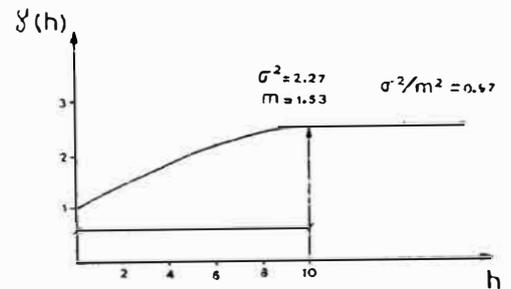
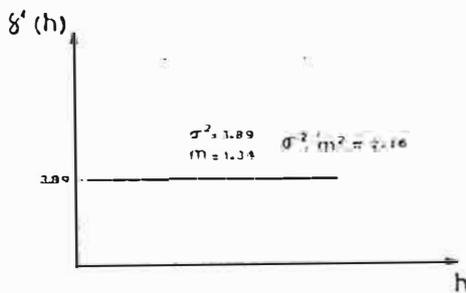
ESPESOR

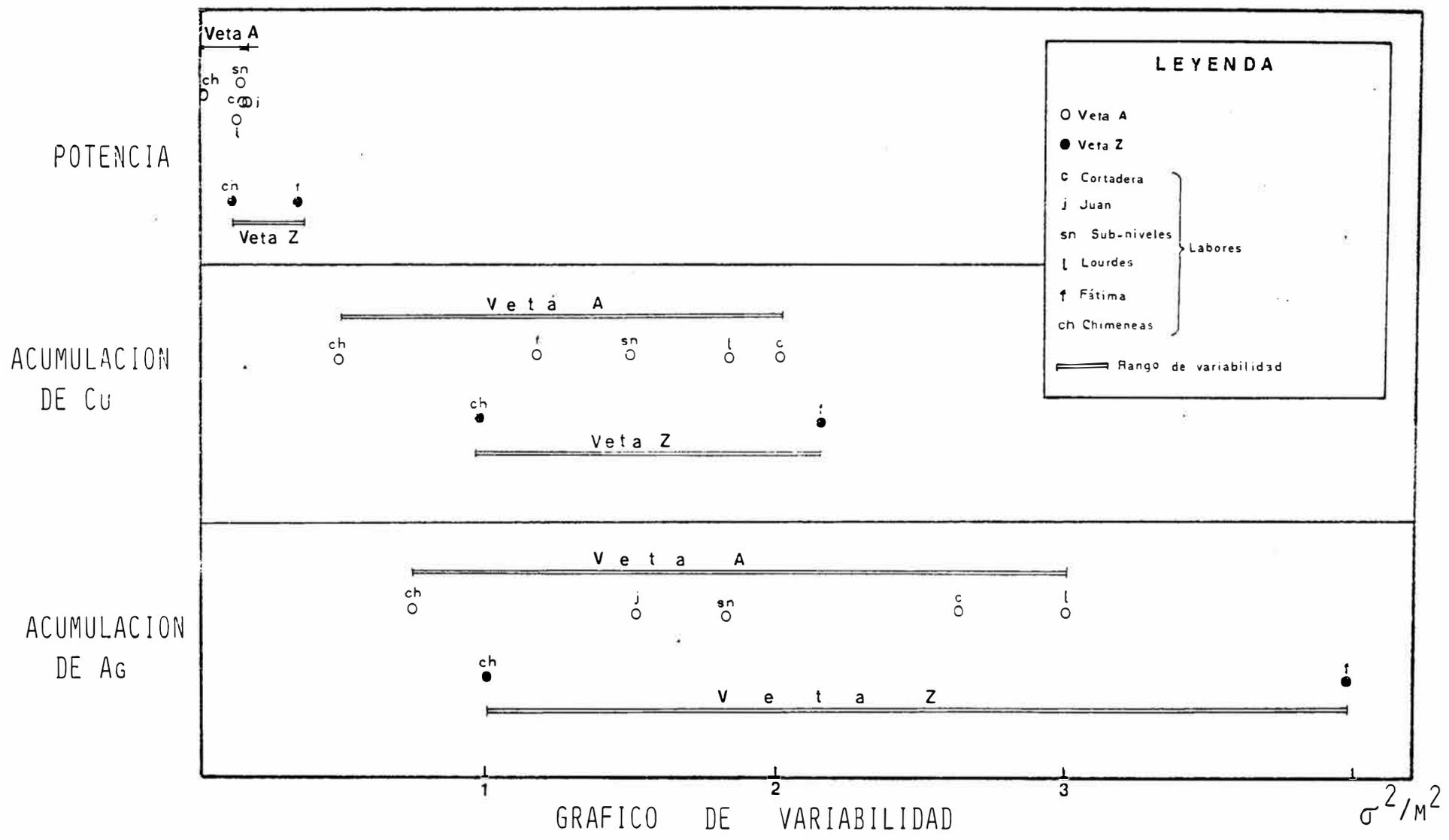


ACUMULACION DE PLATA



ACUMULACION DE COBRE





s.c. 85

SEGÚN CANCHAYA (1980)

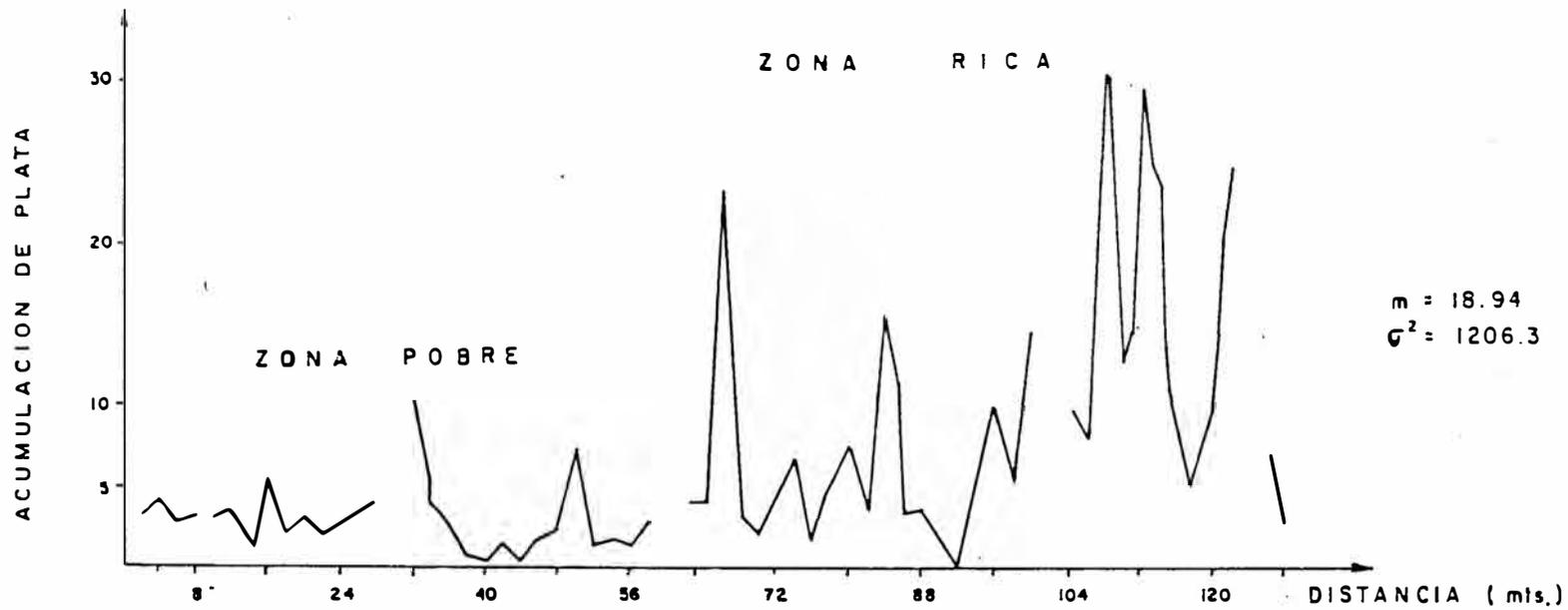
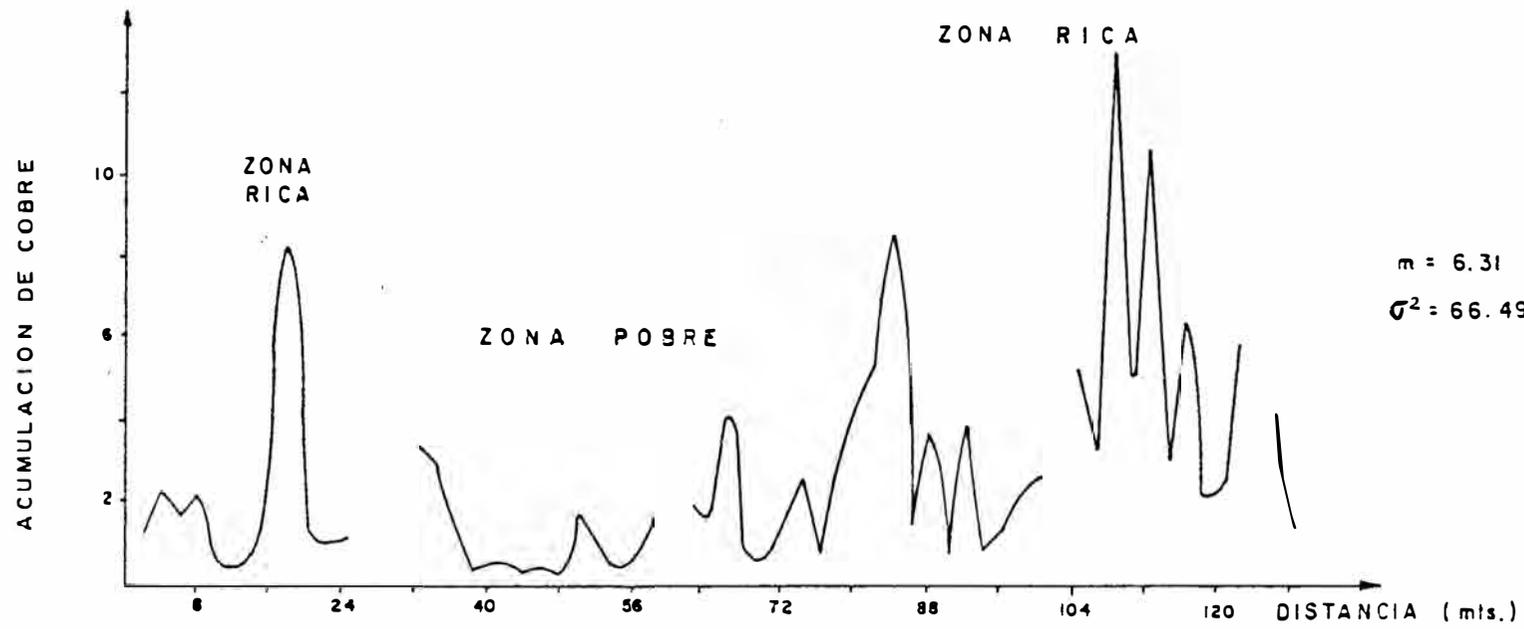
FIG. 24

ESTRUCTURA	LABORES	N	COEFICIENTES DE CORRELACION (r)			
			Pot/Ag	Pot/Cu	Ag/Cu	
VETA "A"	NIVEL CORTADERA	9	0.34	0.46	0.97	
	NIVEL JUAN	24	0.39	0.51	0.90	
	SUBNIVELES	12-E	(o)	-0.81	0.50	0.98
		8-W	8	0.81	0.71	0.72
		12	22	0.09	0.03	-0.53
		9-W	32	0.38	0.33	0.64
		1	14	-0.01	-0.23	0.28
	NIVEL	÷ Ch.13 y 10	59	0.49	0.59	0.84
	LOURDES	÷ Ch.10 y 2	50	0.26	0.27	0.64
	CHIMENEAS	8, 7-2, 7-4	12	0.44	0.16	-0.86
9		8	-0.16	-0.19	0.79	
13		6	0.38	0.55	0.67	
VETA "Z"	CHIMENEA 10	17	0.26	0.58	0.16	
	NIVEL FATIMA	59	0.57	0.63	0.51	

N : Número de pares

(o) N = 9 ; para Pot/Cu  
 N = 4 ; para Pot/Ag y Cu/Ag

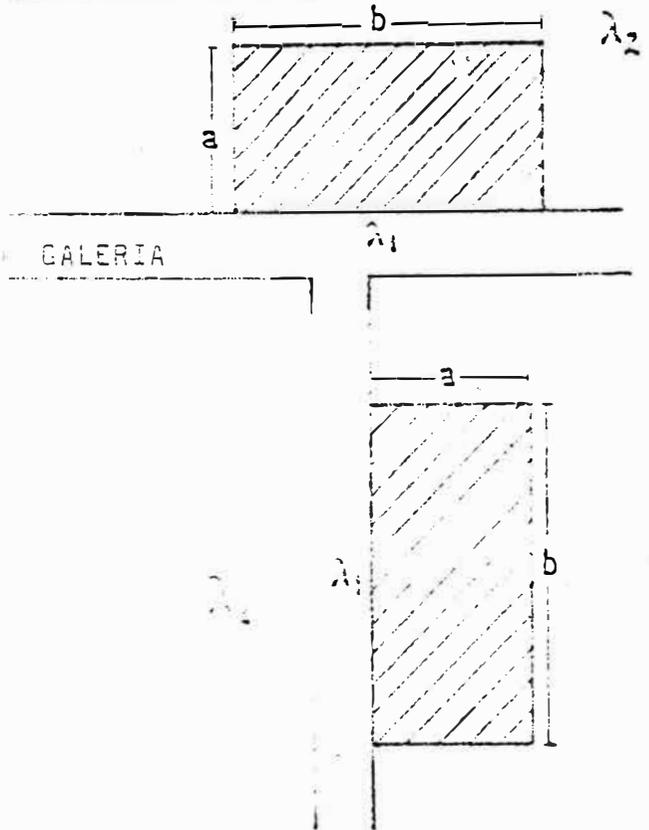
COEFICIENTES DE CORRELACION ENTRE LAS VARIABLES POTENCIA, ACUMULACION DE PLATA Y ACUMULACION DE COBRE PARA LAS VETAS A Y Z



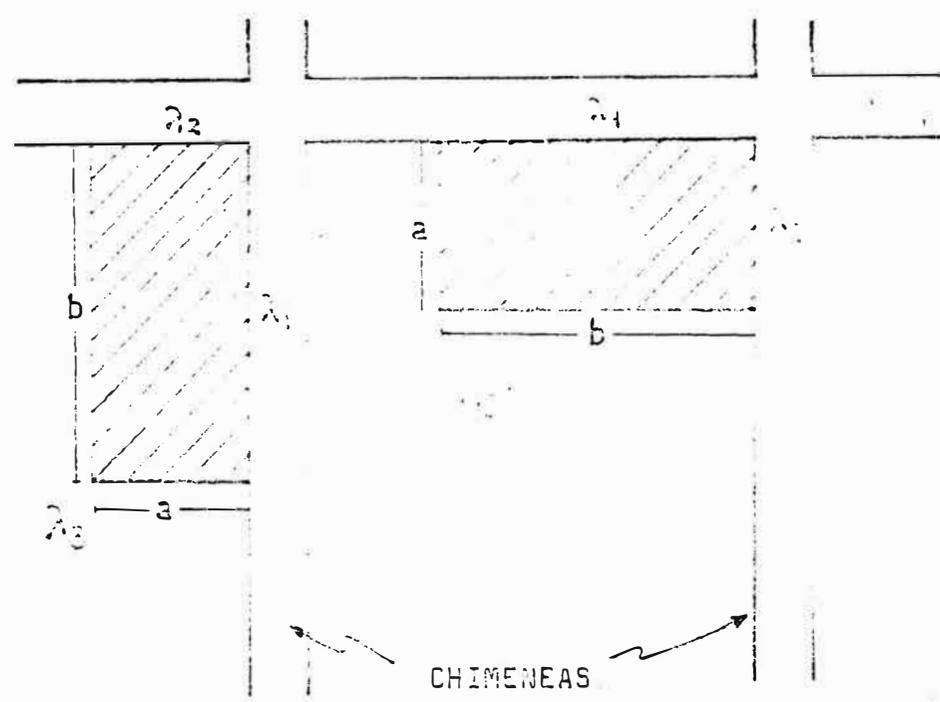
DIAGRAMAS DE VARIACION DE LEYES DEL TRAMO ENTRE LAS CHIMENEAS 10 Y 13 DEL NIVEL LOURDES - MINA BELLA UNION ( TOMADO DE CANCHAYA & BERNUY - 1983 )

Fig.25

CONFIGURACION 1:



CONFIGURACION 2:



PANEL

$\lambda_1$   
 $\lambda_2$   
 $\lambda_3$

PONDERADORES

a)  
b)

Dimensiones del Panel

$b = 2a$

Fig. 26

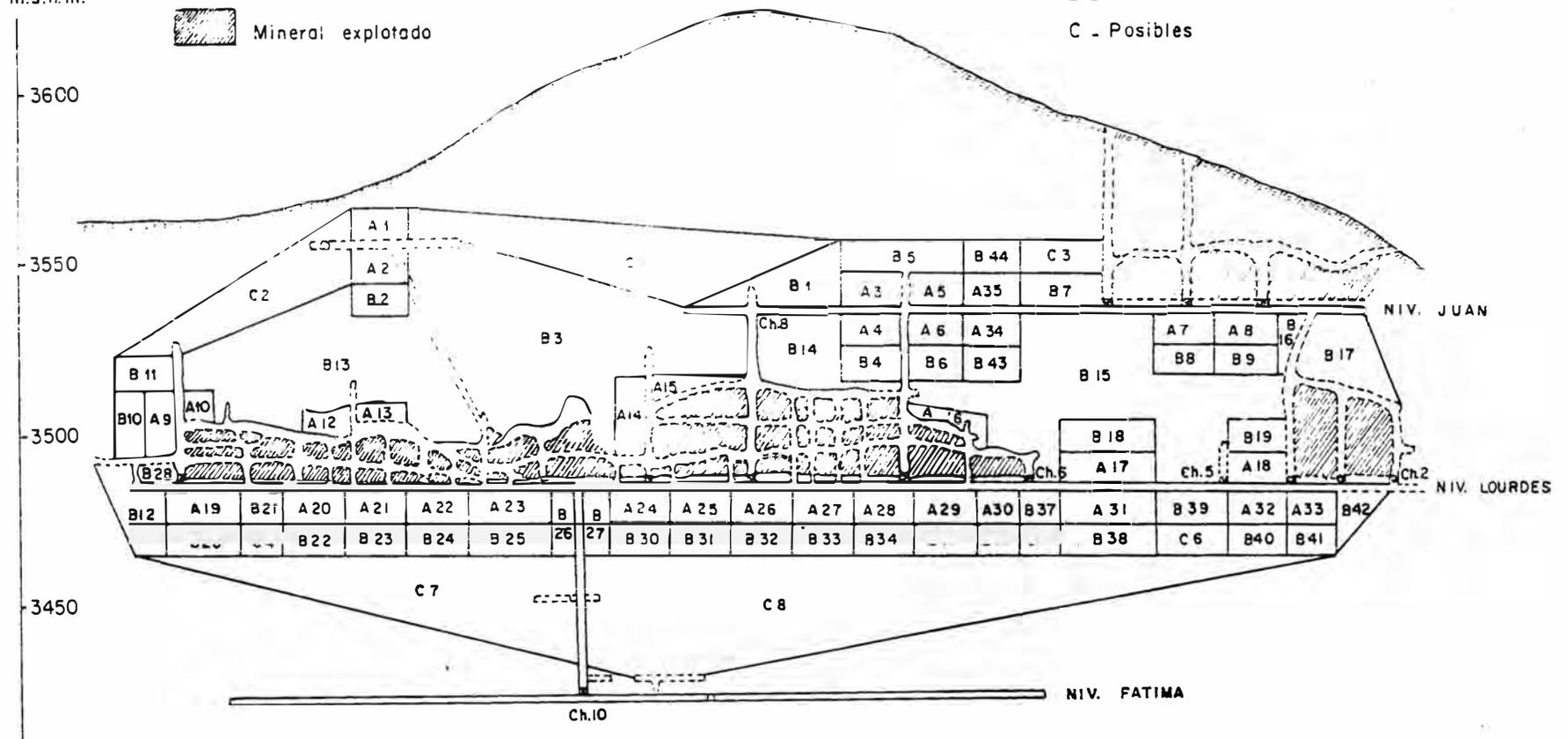
SE

NW

m.s.n.m.

Mineral explotado

PANELES: A - Probados  
 B - Probables  
 C - Posibles



SECCION LONGITUDINAL MOSTRANDO LOS PANELES CUBICADOS DE LA VETA "A"  
 MINA BELLA UNION - CAJAMARCA. CANCHAYA (1984), CANCHAYA & BERNUY (1983)

Fig.27

## C U A D R O 14

LABOR	PANEL	POTENCIA (m.)	LEYES		T.M.	$\sigma$ Promedio	Potencia		Ag		Cu		Configuración	
			oz. Ag/ton.	% Cu			$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_1$	$\lambda_2$		
JUAN	A1	1.07	6.65	2.72	569.2	Pot=0.14 Ag =5.18 Cu =0.94	0.34	0.66	0.36	0.64	0.06	0.94		
	A2	1.07	7.33	2.91	569.2									
	A3	1.03	8.53	2.81	576.8									
	A4	1.03	8.63	2.81	576.8									
	A5	1.02	11.63	2.89	485.5									
	A6	1.02	11.63	2.89	485.5									
	A7	1.11	7.17	2.60	521.6									
	A8	1.01	13.01	2.92	565.6									
	A34	1.04	11.86	2.87	524.2									
	A35	1.04	11.86	2.87	524.2									
PROMED.	1.04	9.86	2.83	5498.6										
LOURDES	A17	1.45	5.03	1.21	1238.4	Pot=0.23 Ag =8.24 Cu =2.34	0.33	0.67	0.32	0.68	0.34	0.66	1	
	A18	1.57	7.59	2.64	835.2									
	A19	2.19	6.73	2.30	1410.4									
	A20	2.28	6.10	1.95	1276.0									
	A21	2.19	7.62	2.49	1226.4									
	A22	2.25	7.53	2.82	1260.0									
	A23	2.46	13.13	3.39	1790.9									
	A24	1.48	5.01	1.30	828.8									
	A25	1.57	6.90	1.54	879.2									
	A26	1.51	7.07	1.87	845.6									
	A27	1.46	5.84	1.59	817.6									
	A28	1.74	7.16	1.52	974.4									
	A29	1.77	5.91	1.88	991.2									
	A30	1.79	5.06	1.13	676.8									
	A31	1.45	5.03	1.21	1238.4									
	A32	1.57	7.59	2.64	835.2									
A33	1.55	8.87	3.50	694.4										
PROMED.	1.78	6.95	2.09	17819.7										
SUB NIVELES	A9	1.34	11.79	3.13	750.4	Pot=0.21 Ag =7.59 Cu =2.17	0.38	0.62	0.38	0.62	0.40	0.60		
	A10	1.37	11.55	2.73	364.6									
	A12	1.39	-	3.08	435.2									
	A13	1.99	22.84	6.50	523.9									
	A16	1.52	6.51	1.34	532.0									
	A15	1.60	9.37	2.47	519.7									
	A14	1.88	7.41	1.80	1253.4									
PROMED.	1.58	11.59	3.04	4389.9										
PROMED.TOTAL	1.52	8.68	2.50	27,708										
P O N D E R A D O R E S														

## RESERVAS Y PONDERADORES DE LOS PANELES PROBADOS DE LA VETA "A"

## Cuadro 15

LABOR	BLOCK	Pot. (m)	Leyes		TON.	$\sigma$ promedio
			Ag oz/Ton.	Cu %		
JUAN	B1	1.03	9.76	2.84	1443.6	Pot = 0.14 Ag = 6.18 Cu = 0.94
	B2	1.07	7.33	2.91	569.2	
	B3	1.29	8.81	2.76	15361.0	
	B4	1.03	8.63	2.81	976.8	
	B5	1.03	10.13	2.85	1157.7	
	B6	1.02	11.63	2.89	485.5	
	B7	1.06	10.69	2.80	772.6	
	B8	1.11	7.17	2.60	621.6	
	B9	1.01	13.01	2.92	565.6	
	B13	1.43	13.36	3.70	10487.8	
	B14	1.16	9.00	2.75	2025.2	
	B15	1.26	8.84	2.34	10535.3	
	B16	1.01	13.01	2.92	510.9	
	B17	1.29	10.30	2.78	1848.7	
	B43	1.04	11.86	2.87	524.2	
	B44	1.04	11.86	2.87	524.2	
	Sub-tot:	1.12	10.34	2.85	48009.9	
LOURDES	B10	1.34	11.79	3.13	750.4	Pot = 0.22 Ag = 7.92 Cu = 2.26
	B11	1.35	11.71	3.06	739.7	
	B12	1.84	8.84	2.65	1959.4	
	B18	1.45	5.03	1.21	1238.4	
	B19	1.57	7.59	2.64	835.2	
	B20	2.19	6.73	2.30	1410.4	
	B21	2.24	6.42	2.13	910.7	
	B22	2.28	6.10	1.95	1276.8	
	B23	2.19	7.62	2.49	1226.4	
	B24	2.25	7.53	2.82	1260.0	
	B25	2.66	13.13	3.89	1790.9	
	B26	2.46	13.13	3.89	981.6	
	B27	1.48	5.01	1.38	669.6	
	B28	1.62	10.10	2.85	310.2	
	B30	1.48	5.01	1.38	828.8	
	B31	1.57	6.90	1.54	879.2	
	B32	1.51	7.07	1.82	845.6	
	B33	1.46	5.84	1.59	817.6	
	B34	1.24	7.16	1.52	974.4	
	B35	1.77	5.91	1.88	991.2	
	B36	1.79	5.06	1.13	676.8	
	B37	1.62	5.04	1.17	591.8	
	B38	1.45	5.03	1.21	1238.4	
B39	1.51	6.31	1.93	997.1		
B40	1.57	7.59	2.64	835.2		
B41	1.55	8.87	3.50	705.6		
B42	1.55	8.87	3.50	694.4		
Sub-tot:	1.71	7.60	2.27	26435.8		
TOTAL :					74445.7	
Promedios:		1.52	8.62	2.48		

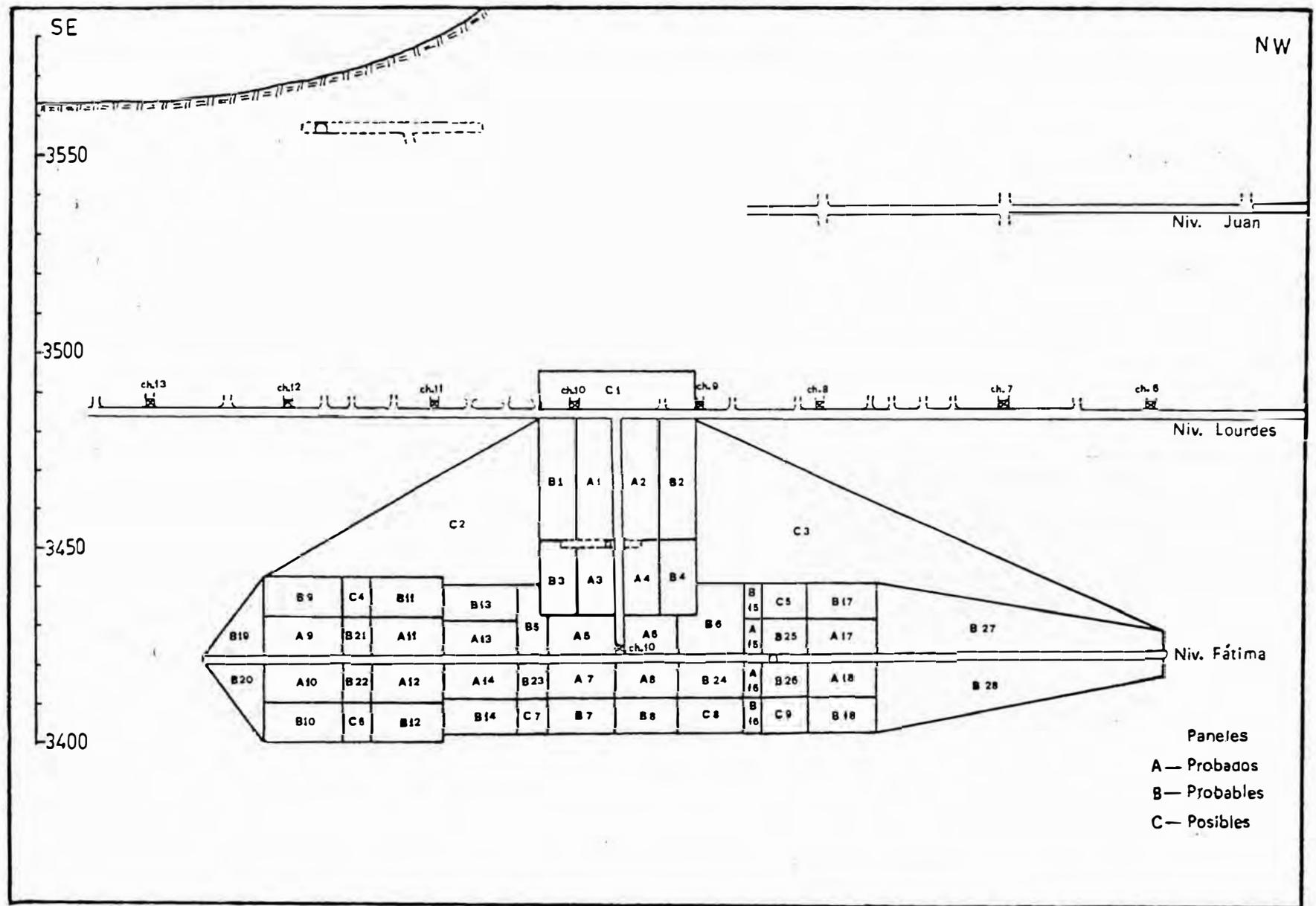
RESERVAS PROBABLES

BLOCK	Pot. (m)	Leyes		TON.
		Ag oz/Ton.	Cu %	
C1	1.13	8.47	2.77	6096.6
C2	1.23	9.81	3.10	3560.0
C3	1.06	10.69	2.80	774.4
C4	2.24	6.42	2.13	912.7
C5	1.62	5.04	1.17	591.8
C6	1.51	6.31	1.93	997.1
C7	2.24	8.69	2.77	14437.6
C8	1.57	6.13	1.71	21948.2
Total:	1.58	7.69	2.30	49318.4

RESERVAS POSIBLES

Reservas probables y posibles de la Veta "A"

S.C.85



SECCION LONGITUDINAL MOSTRANDO LOS PANELES CUBICADOS DE LA VETA "Z"  
 MINA BELLA UNION - CAJAMARCA. CANCHAYA (1987c), CANCHAYA & BERNUY (1983)

Fig.28

Cuadro 16

LABOR	PANEL	POTENCIA (m.)	LEYES		T. M.	$\sigma$ Promedio	Potencia		Ag		Cu		Confi- gura- ción						
			oz.Ag/Ton.	%Cu			$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_1$	$\lambda_2$							
Ch. 10	A1	0.56	29.52	2.79	495.7	Pot=0.04 Ag =3.93 Cu =0.41	0.27	0.73	0.27	0.73	0.28	0.72	1						
	A2	0.56	29.52	2.79	495.7														
	A3	0.57	27.40	2.21	312.3									0.31	0.69	0.31	0.69	0.33	0.67
	A4	0.57	27.40	2.21	312.3														
	Prom.	0.57	28.46	2.50	1616.0														
Galería Fátima	A7	0.63	28.43	2.84	320.4	Pot=0.11 Ag =5.60 Cu =0.47	0.34	0.66	0.29	0.71	0.32	0.68							
	A8	0.53	31.28	2.72	256.2														
	A9	0.60	36.28	2.78	370.9														
	A10	0.60	36.28	2.78	370.9		0.35	0.65	0.30	0.70	0.35	0.65							
	A11	0.61	28.21	2.34	342.8														
	A12	0.61	28.21	2.34	342.8														
	A13	0.49	28.24	2.39	275.4														
	A14	0.49	28.24	2.39	275.4														
	A17	0.52	26.50	2.02	287.9														
	A18	0.52	26.50	2.02	287.9														
	A15	0.45	30.72	2.37	62.8								0.48	0.52	0.38	0.62	0.49	0.51	
	A16	0.43	30.72	2.37	62.8														
	Prom.	0.54	29.71	2.43	3783.4														
	Prom. Total							0.18	0.32	0.50	0.18	0.32	0.50	0.18	0.32	0.50	2		
								0.22	0.33	0.45	0.22	0.33	0.45	0.22	0.33	0.45			
					$\lambda_1$	$\lambda_2$		$\lambda_3$	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$					
Prom. Total							P O N D E R A D O R E S												

S.C. 85

RESERVAS Y PONDERADORES DE LOS PANELES PROBADOS DE LA VETA "Z"

Cuadro 17.- RESERVAS PROBABLES Y POSIBLES DE LA VETA Z

LABOR	BLOCK	Pot. (m)	Leyes		TON.	$\sigma$ Promedio		
			Ag oz/ton.	Cu %				
CH. 10	B1	0.56	29.52	2.79	495.7	Pot = 0.04 Cu = 3.93 Ag = 0.41		
	B2	0.56	29.52	2.79	495.7			
	B3	0.57	27.40	2.21	312.3			
	B4	0.57	27.40	2.21	312.3			
	Sub-tot:	0.57	28.46	2.50	1616.0			
LATINA	B5	0.56	27.67	2.46	180.9	Pot = 0.11 Ag = 5.60 Cu = 0.47		
	B6	0.49	30.10	2.37	388.3			
	B7	0.65	28.43	2.48	320.4			
	B8	0.53	31.28	2.72	256.2			
	B9	0.60	36.28	2.78	370.9			
	B10	0.60	36.28	2.78	370.9			
	B11	0.61	28.21	2.34	342.8			
	B12	0.61	28.21	2.34	342.8			
	B13	0.49	28.24	2.39	275.4			
	B14	0.49	28.24	2.39	275.4			
	B15	0.43	30.72	2.37	62.8			
	B16	0.43	30.72	2.37	62.8			
	B17	0.52	26.50	2.02	287.9			
	B18	0.52	26.50	2.02	287.9			
	B19	0.60	36.28	2.78	274.8			
	B20	0.60	36.28	2.78	274.8			
	B21	0.61	32.25	2.56	137.1			
	B22	0.61	32.25	2.56	137.1			
	B23	0.56	27.98	2.54	132.1			
	B24	0.48	30.65	2.44	233.3			
	B25	0.48	28.61	2.20	175.3			
	B26	0.48	28.61	2.20	175.3			
	B27	0.52	26.50	2.02	1339.2			
	B28	0.52	26.50	2.02	1339.2			
	Sub-tot:	0.54	30.14	2.43	8043.6			
	TOTAL:						9653.6	
	Promedios :		0.54	29.90	2.44			

RESERVAS PROBABLES

RESERVAS POSIBLES

BLOCK	Pot. (m)	Leyes		TON.
		Ag Oz/Ton.	Cu %	
C1	0.56	29.52	2.79	676.6
C2	0.57	29.94	2.50	2388.1
C3	0.51	28.48	2.28	3402.2
C4	0.61	32.25	2.56	137.1
C5	0.48	28.61	2.20	175.3
C6	0.61	32.25	2.56	137.1
C7	0.56	27.98	2.54	132.1
C8	0.48	30.65	2.44	233.3
C9	0.48	28.61	2.20	175.3
Promeds :	0.54	29.81	2.45	
TOTAL :				7.457.1

FOTO 4. Manto 8S, muestra s.n.45M

Alternancia de lentes y "schlierens" de mena y ganga. En el caso de la mena se trata de una mezcla de esfalerita de grano fino (clara a veces hasta incolora) y galena (brillante en algunas posiciones), las cuales ocurren en una matriz de cuarzo-sericita de grano fino (blanca a pa da clara). Ver fotos 17, 22, 23, 24 y 25

FOTO 5. Manto Tornamesa, muestra s/código

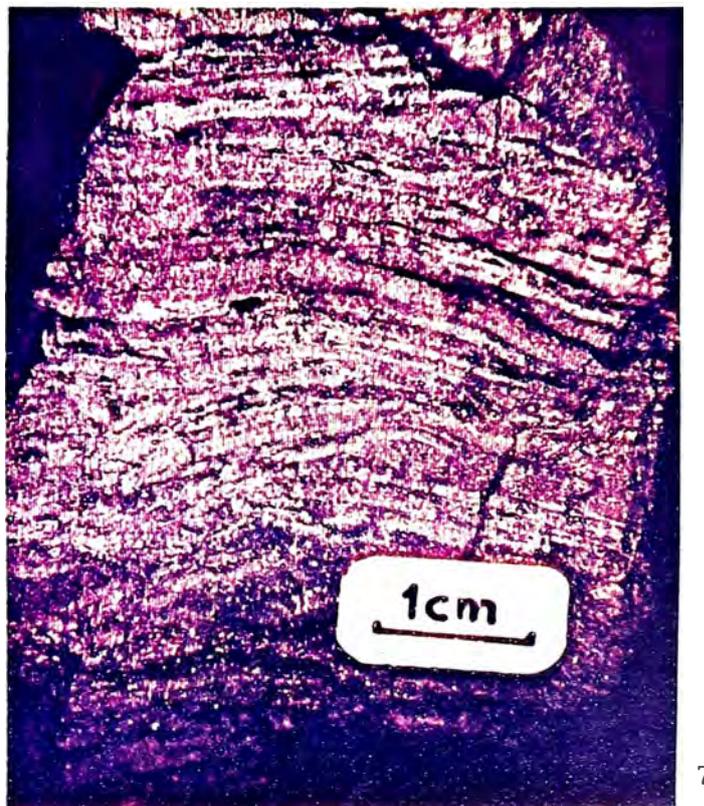
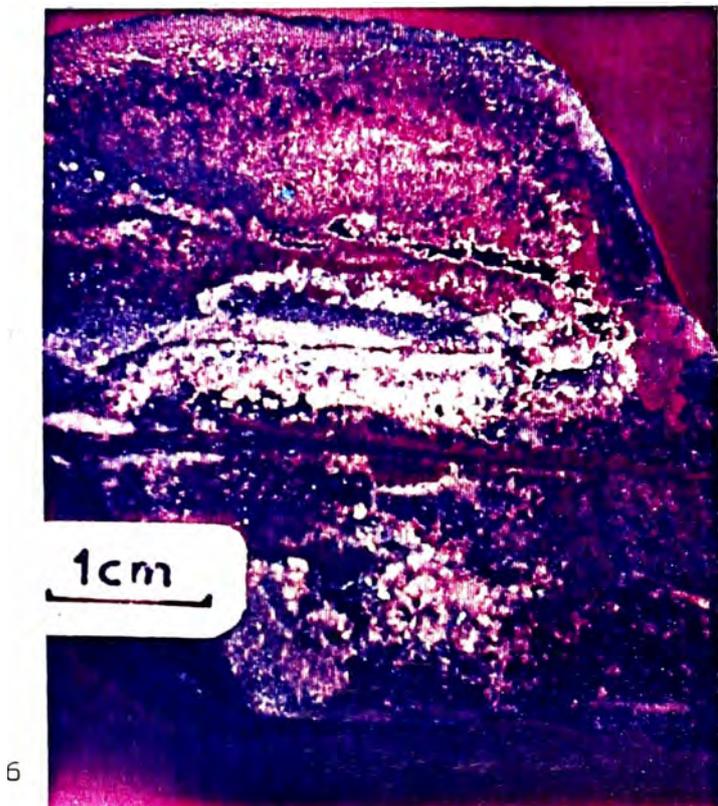
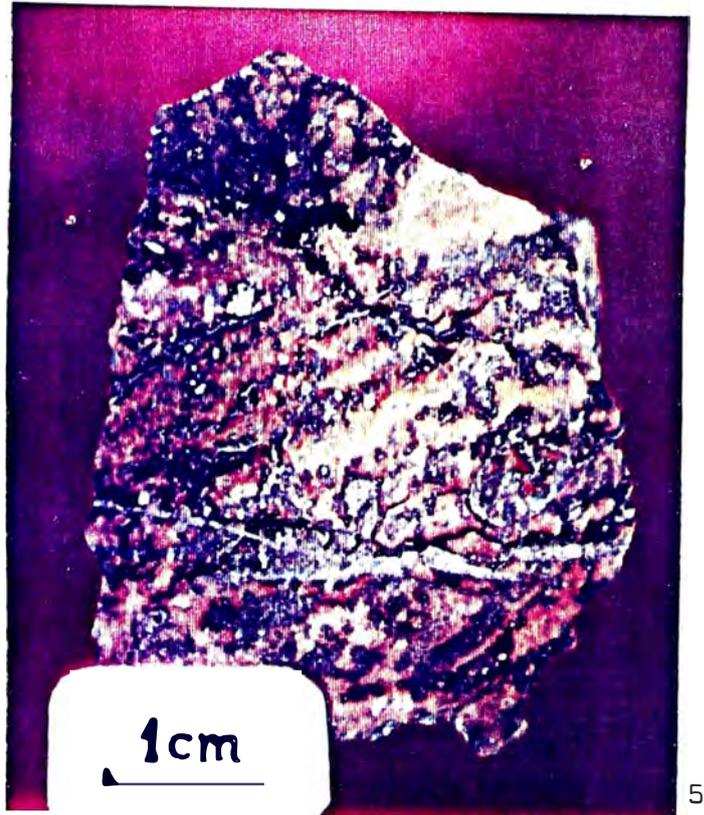
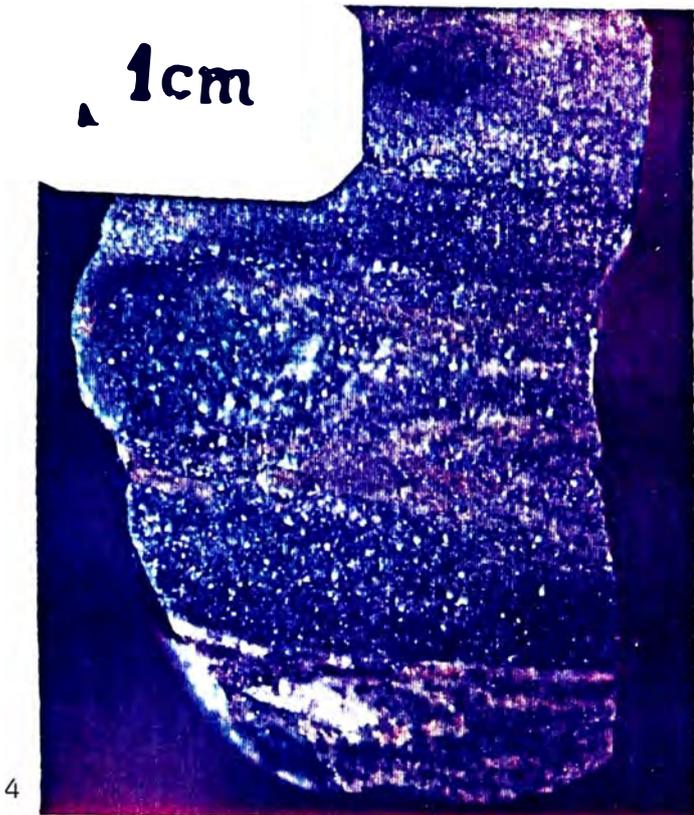
Numerosas venillas de pirita y material orgánico en forma de pequeños lentes y grumos, en una matriz calcárea pardo amarillenta. En menor proporción ocurren diminutas concentraciones y finas venillas de galena, e impregnaciones blancas de un material no identificado.

FOTO 6. Manto Don Paco, muestra s/código

Galena (finamente diseminada y en venillas) en una matriz carbonática de grano fino, la cual además contiene chert rojizo (hematita microdispersa) y materia orgánica (negro). Adicionalmente ocurren zonas con carbonatos de mayor granulometría, con morfología tipo "schlieren" y como nubarrones.

FOTO 7. Manto 10-W, muestra s/n

Bandeamiento fino de un manto de pirita, el cual sobresale gracias a la abundancia de finísimos poros y diminutas cavidades alargadas.



- FOTO 8. Veta A; Nivel Cortadera; muestra P15  
Dos tipos de cobregreses con diferentes tonalidades: gris claro (izquierda), gris verdoso (derecha). Ambos reemplazan enargita y contienen inclusiones de kesterita, mawsonita y calcopirita. Una playa de luzonita ocurre en la parte inferior central, al lado de un grano de pirita. Hacia la izquierda al centro, se observa una sulfosal gris clara, anisótropa, no identificada.
- FOTO 9. Veta A; Nivel Cortadera; muestra P15  
Cobregreses reemplazan enargita. Inclusiones de mawsonita y calcopirita ocurren en cobregreses. Las zonas negras son gangas, probablemente cuarzo.
- FOTO 10. Veta A; Nivel Juan; muestra J5p  
Bornita relíctica fracturada, contenida en cobregreses, los cuales reemplazan enargita y luzonita. También ocurren inclusiones de calcopirita y galena.
- FOTO 11. Veta A; Nivel Juan; muestra J5p  
Cobregreses reemplazan enargita y luzonita. Calcopirita finamente diseminada, ocurre en el frente de reemplazamiento (ver también fotos 8, 9 y 10).
- FOTO 12. Veta Z; Nivel Fátima; muestra P2  
Agregados esferoidales de esfalerita intercrecida con cuarzo (alto relieve y negro); los intersticios están rellenos por carbonatos. Se reconoce cierto zonamiento en la esfalerita, el cual resalta gracias a la disposición de sus microcavidades y poros.
- FOTO 13. Veta Z, nivel Fátima; muestra T3  
Cobregreses y esfalerita fracturados; atravesados por profusas venillas de calcopirita. Una ganga no determinada rellena fracturas producidas en un fracturamiento previo.
- FOTO 14. Veta Z, nivel Fátima; muestra P2  
Esfalerita, con una inclusión aislada de galena, muestra diversas inclusiones (en arreglos subparalelos) de marcasita. También ocurren algunos granos de pirita, la cual se confunde fácilmente con la marcasita
- FOTO 15. Veta Z, nivel Fátima, muestra P2  
Cristales de cuarzo bien formados; con carbonatos y sulfuros (esfalerita y galena) relleno sus amplios espacios intercristalinos.

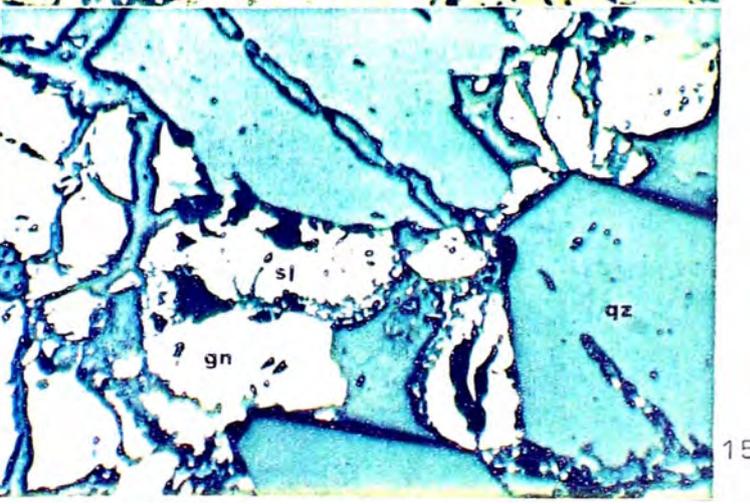
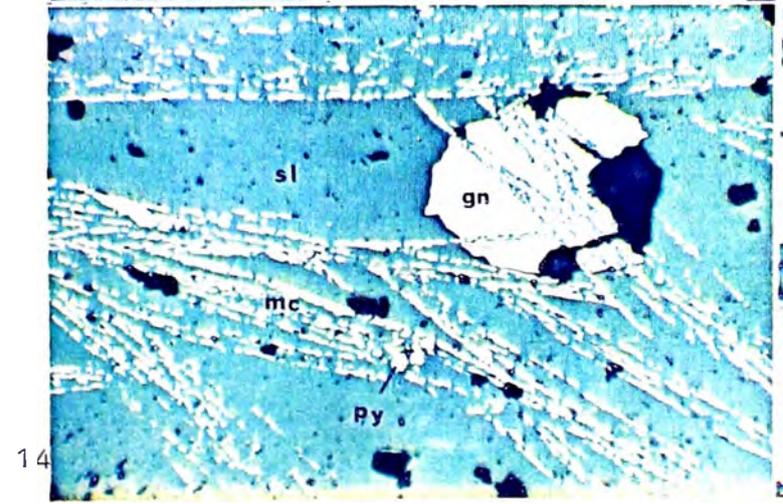
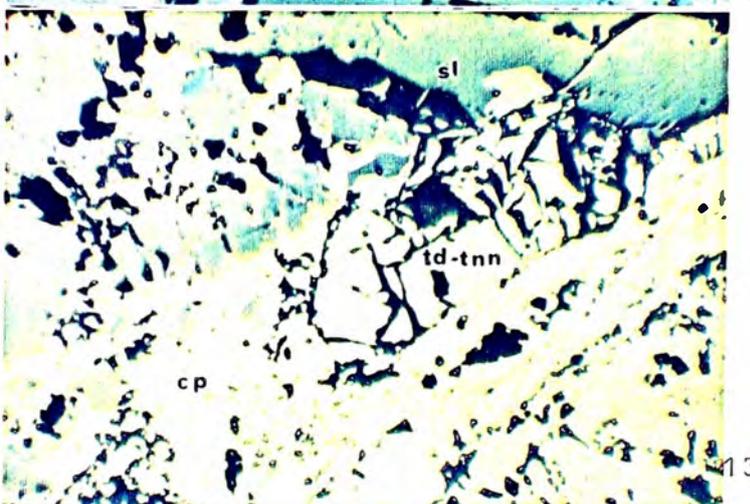
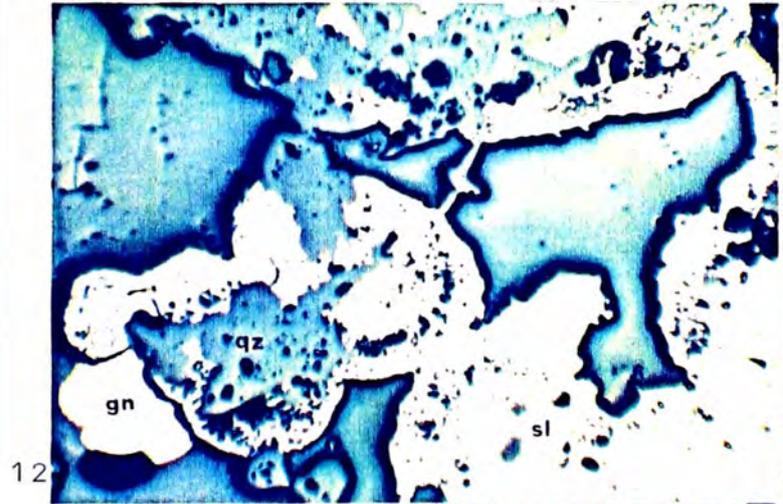
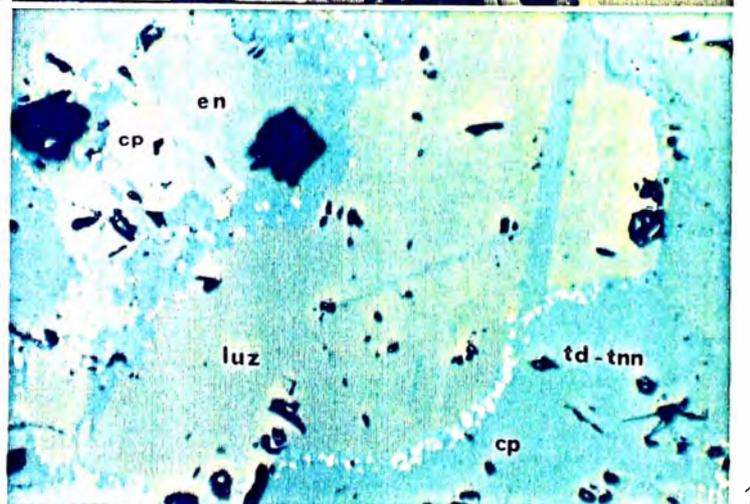
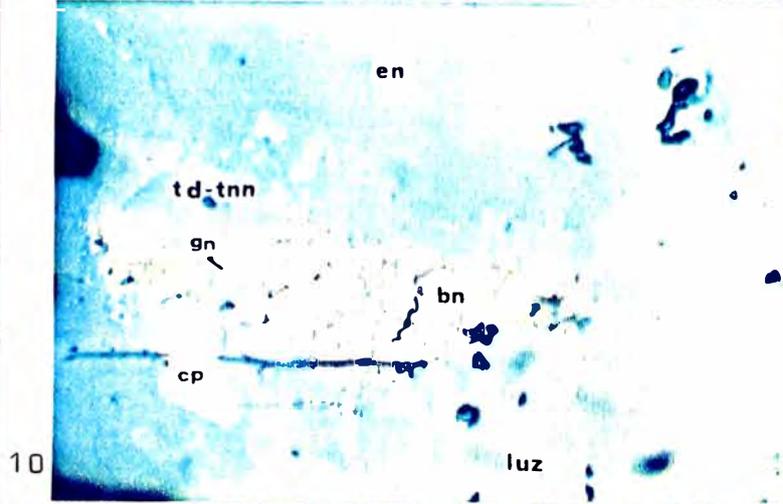
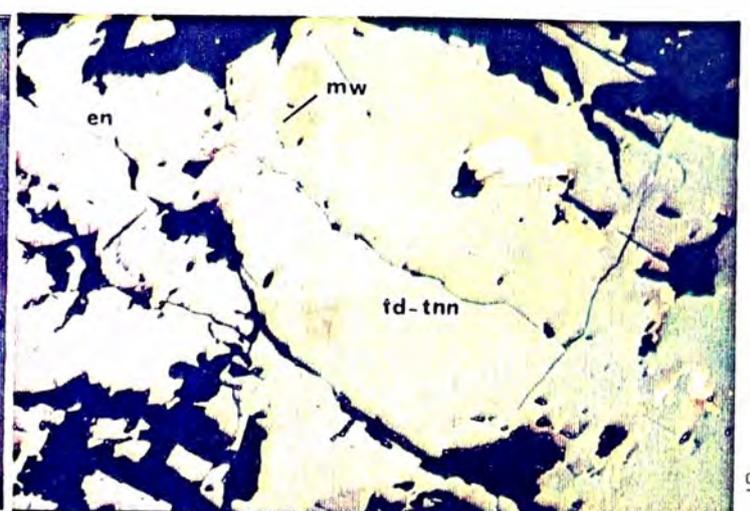
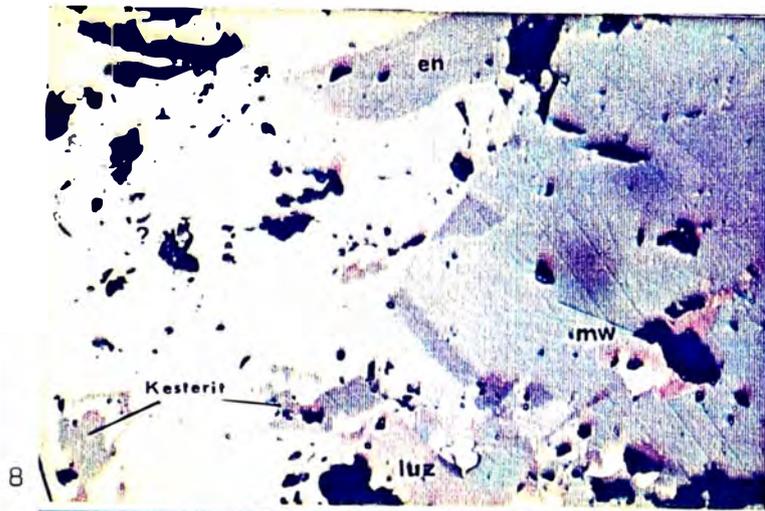


FOTO 16. Manto 10-W; Mina Bella Unión, muestra P10

Inclusion de calcopirita en pirita masiva. El primero contiene a su vez inclusiones subangulosas de cobregri- ses. También se observa una serie de cavidades irregu- lares (negro).

FOTO 17. Manto 8-S; Mina Bella Unión, muestra sn35M

Agregados de sulfuros (esfalerita:gris; galena:gris clara) y gangas (cuarzo: cristales bien desarrollados; y sericita: no se aprecia en esta foto, pero si en las fotos 22, 23 y 24). Pirita finamente diseminada; también se observa dos granos mayores con inclusiones de pirrotita.

FOTO 18. Manto Firenze, muestra MTP

Fines granos esferoidales, conformando nubarrones. La matriz consiste principalmente de cuarzo (negro) de cristalización fina. La venilla es de esfalerita (gris), la cual contiene una inclusión de galena (gris claro). Hay que resaltar la disminución de la pirita en la ve- cindad de la venilla.

FOTO 19. Manto Firenze, muestra MTP

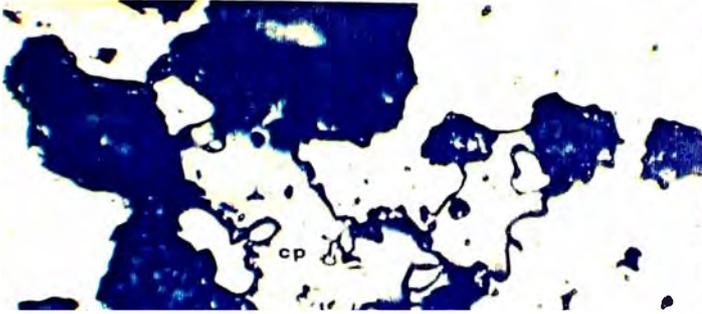
Cristales bien formados de cuarzo (negro), con diferen- tes orientaciones; fuertemente intercrecidos con esfale- rita (gris) y galena (gris claro). Diminutas inclusiones de pirita ocurren ampliamente diseminadas.

FOTO 20. Manto Firenze, muestra MTP

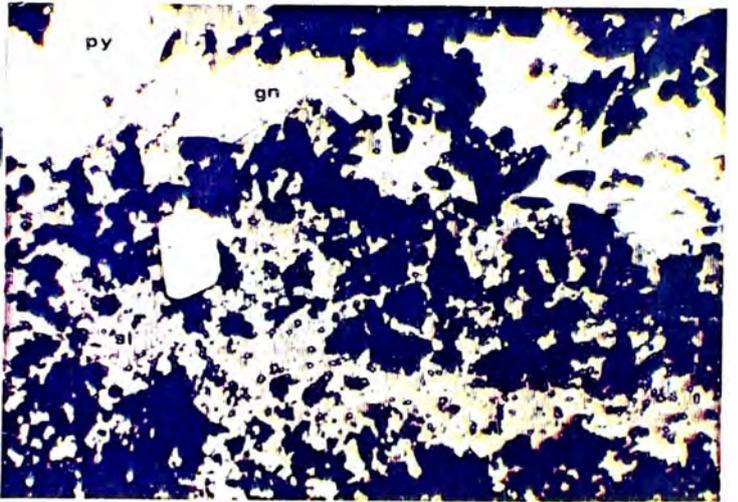
Framboides de pirita ocurren diseminados en materia or- gánica (negro) y gangas (zonas de reflectancia baja). Por un proceso de blastesis los framboides se agregan para formar cristales más grandes (principalmente cubos). Los granos de pirita zonados representan estadios transi- cionales de este proceso.

FOTO 21. Manto Firenze, muestra MTP

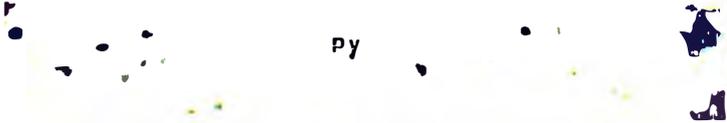
Esta foto es similar a la Foto 20; adicionalmente se re- conoce algunos granos de esfalerita (gris).



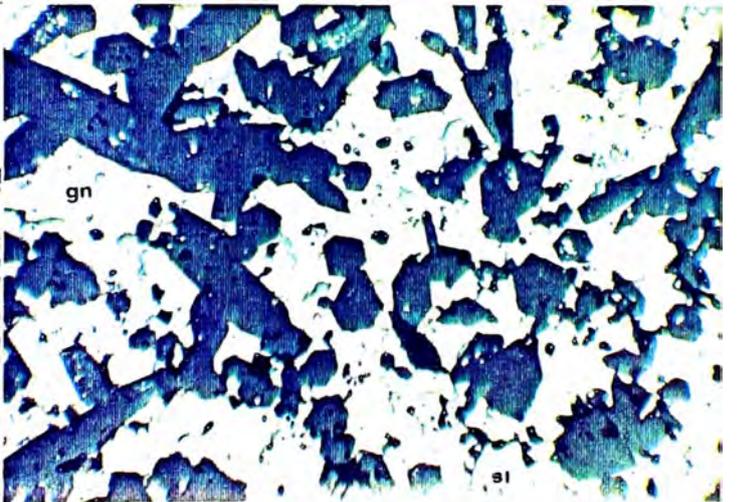
16



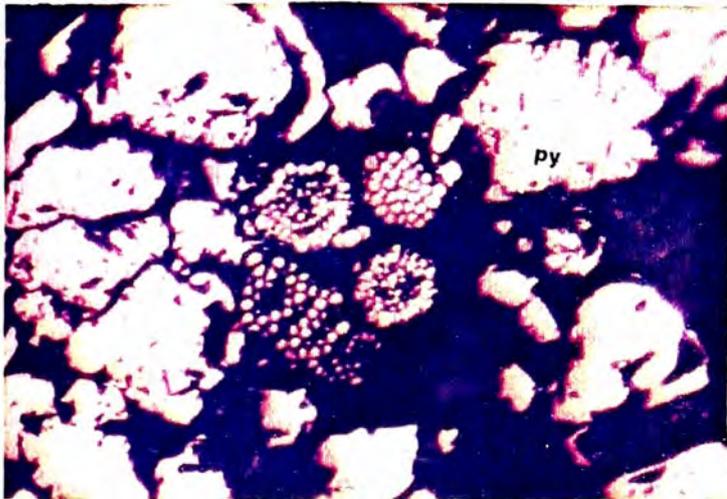
17



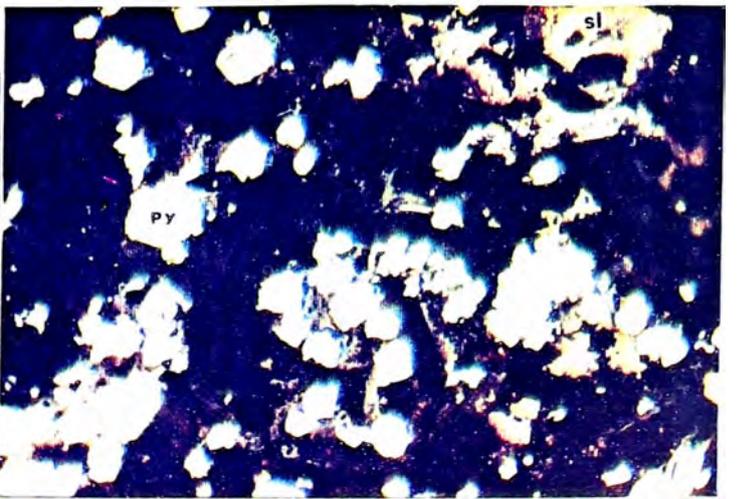
18



19

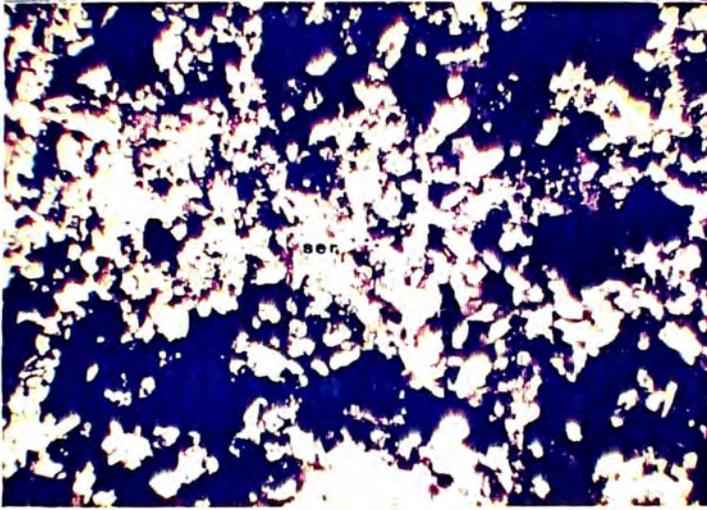


20

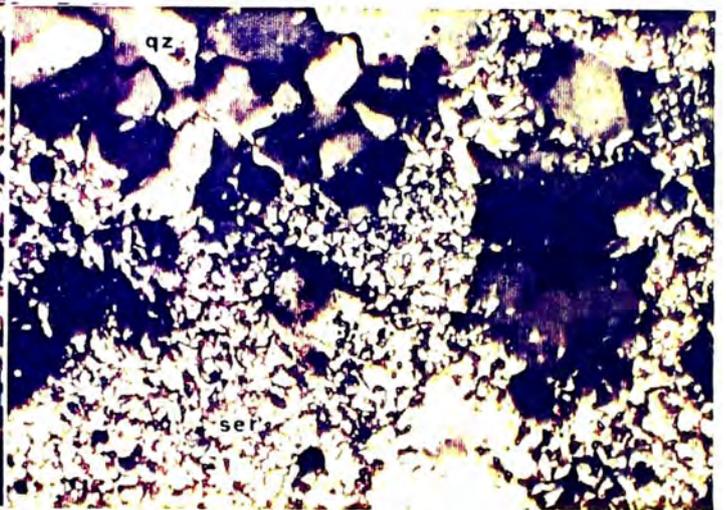


21

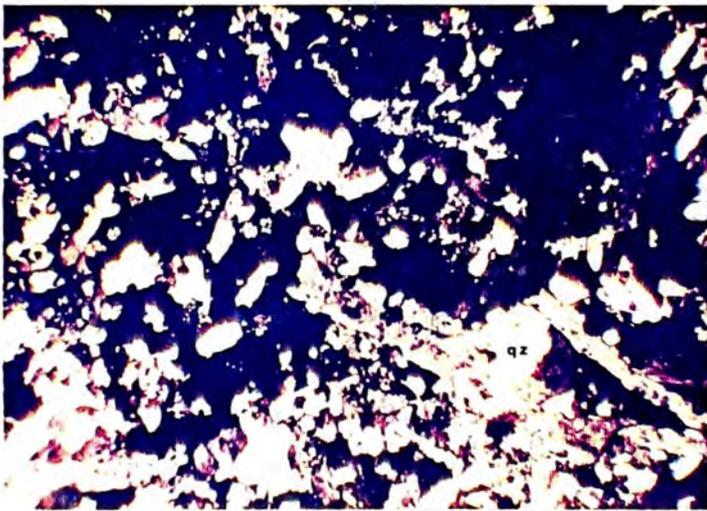
- FOTO 22. Manto 8-S, Mina Bella Unión, muestra sn35M  
Cuarzo granular y sericita fina, íntimamente intercrecidos con sulfuros (en negro) que ocurren conformando agregados subparalelos (en capas); comparar con fotos 4 y 17. La sericita ocurre en nubarrones, acompañada ocasionalmente de algo de arcillas.
- FOTO 23. Ampliación de la foto 22.
- FOTO 24. Muestra de la misma procedencia que la de las fotos 22 y 23; mostrando características similares.  
Además del ensamble descrito, ocurren unos cuantos cristales tabulares de baritina.
- FOTO 25. Manto 8-S; Mina Bella Unión; muestra sn35M  
Sulfuros intercrecidos íntimamente con gangas: pirita (negro, idiomorfa), galena (negro, alotriomorfa), esfalerita (parda), cuarzo (incoloro) y sericita (zonas claras "sucias")
- FOTO 26. Manto 10-W; nivel Lourdes, Mina Bella Unión; muestra P10  
Zeolitas (phillipsita) prismáticas, en arreglo radiado en una matriz criptocristalina a amorfa limonitizada (zonas pardas y oscuras), la cual consiste principalmente de sericita. Al lado izquierdo se observa un agregado de cuarzo con sericita fina.
- FOTO 27. Manto Firenze; muestra MTP  
Estilolitos en una matriz de cuarzo-sericita-esfalerita. Los estilolitos están conformados principalmente por materia orgánica. En la parte inferior derecha se observan algunos minerales opacos.



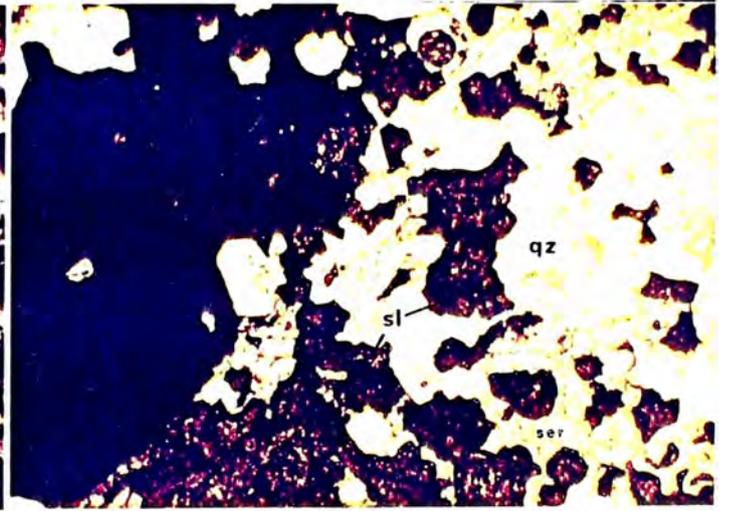
22



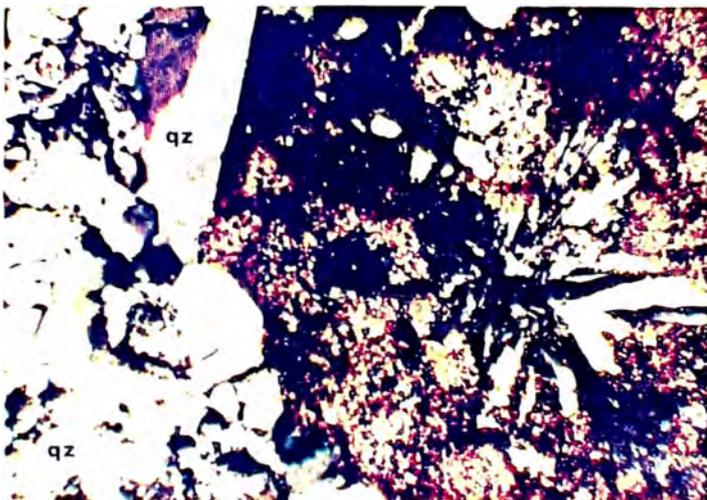
23



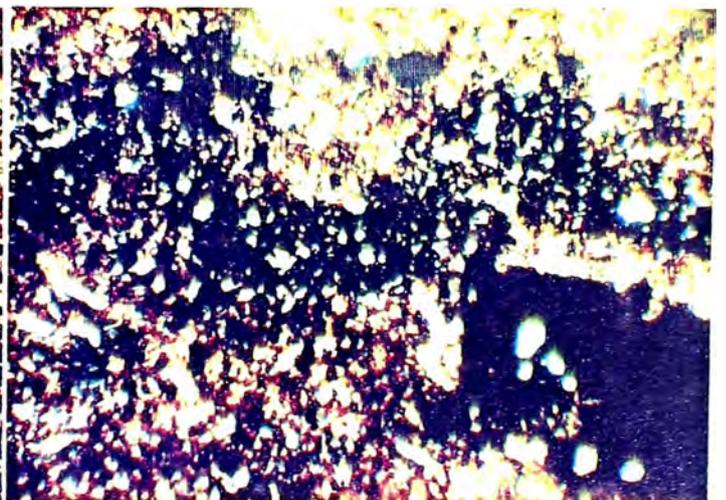
24



25



26



27

## 5. DISCUSION Y CONCLUSIONES

### 5.1. INTRODUCCION

En los Andes peruanos los yacimientos que ocurren en el flanco W se encuentran mayormente asociados a rocas volcánicas y son muy diferentes a los que ocurren en el flanco oriental, fundamentalmente emplazados en rocas calcáreas (BELLIDO & MONTREUIL 1972). Desde los puntos de vista genético y morfológico, en la franja volcánica sólo ocurren algunas vetas simples, fundamentalmente argentíferas, las cuales son mayormente epitermales y están emplazadas en rocas volcánicas de edad terciaria; ejemplos: Huancapeti, Colqui, Casapalca, Puquio-Cailloma, San Genaro, etc.

En contraposición los yacimientos que ocurren en la franja oriental, emplazados fundamentalmente en series calcáreas mesozoicas, en general son más complejos. Aquí tenemos, en un mismo distrito minero, desde pequeñas vetas hasta enormes cuerpos de morfología variable; incluyendo mantos, "stockworks", yacimientos en skarn, intracársticos y hasta pórfidos de cobre.

El Distrito minero de Hualgayoc se puede considerar como uno de estos distritos polimetálicos complejos; otros ejemplos son: Morococha, Antamina, San Cristóbal, Cerro de Pasco, Carhuacayán, etc.

Con frecuencia la relación espacial de algunos yacimientos estratoligados con intrusivos hipabisales es considerada como argumento para postular que soluciones mineralizantes, generadas por diferenciación magmática, fueron las que reemplazaron selectivamente ciertos horizontes calcáreos, generando mantos (BELLIDO & MONTREUIL 1972; MONTREUIL et al. 1977). La posibilidad de un origen singenético, por lo general, suele ser ignorada o poco considerada.

Los trabajos pioneros de AMSTUTZ (1956, 1961) significaron el inicio de las ideas singenéticas en la interpretación de algunos yacimientos estratoligados en el Perú. A la fecha se tiene conocimiento de dos metalotectos en rocas calcáreas: el metalotecto Santa (Cretáceo inferior) y el Pucará (Triásico-Jurásico).

También debemos mencionar la ocurrencia de yacimientos estratoligados en rocas volcánicas albianas de la franja oeste de los andes peruanos; por ejemplo: Tambogrande, Pótrobayo y Totoral (Fe-Cu-Ba), Raúl y Condestable (Fe-Cu), Leonila-Graciela, Balducho y Budekú (Ba-Zn).

La región de Hualgayoc ha sido estudiada por muchos geólogos de prestigio, los cuales mayormente han planteado criterios apigenéticos para interpretar la formación de los diversos tipos de yacimientos. En lo que respecta a los yacimientos estratoligados, los rasgos sedimentarios y diagenéticos han sido poco considerados. A excepción de algunos reportes inéditos (CANCHAYA 1980, 1987; PAREDES 1980), hasta ahora no se conoce ninguna publicación en la cual se haya considerado la hipótesis singenética para la interpretación de estos yacimientos estratoligados.

Todos los yacimientos de Hualgayoc se han formado durante el ciclo mesozoico andino. Se puede diferenciar tres épocas metalogenéticas importantes:

1. En el Albiano, durante el estadio geosinclinal.- Formación sinsedimentaria y sindiagenética de los mantos de Pb-Zn-(Ag), probablemente con cierta filiación con los eventos volcánicos sincrónicos de la franja eugeosinclinal.
2. Del Mioceno al presente.- Formación de cuerpos intracársticos de Pb-Zn-(Ag) asociado a procesos de formación de superficies de erosión de dimensiones regionales.
3. En el Terciario (10 m.a - 7 m.a.).- Formación de vetas polimetálicas y de otros cuerpos discordantes silicificados, a veces con pirita y enargita, asociados al magmatismo orogénico tardío.

El presente trabajo sobre la Mina Bella Unión se refiere principalmente a los mantos y a las vetas hidrotermales. En esta mina no se conocen depósitos intracársticos.

## 5.2. VETAS

### 5.2.1. Conclusiones mineralógicas importantes.

Las características, variedad y forma de ocurrencia de los minerales de las vetas son diferentes a las de los mantos. Por otro lado, la mineralogía de la veta Z es diferente a la de las vetas A, B, y C.

A continuación sólo nos circunscribimos a las vetas A y Z; de ambas, la veta A es la más compleja, pero a la vez la mejor estudiada. Las dos vetas sobresalen por la ocurrencia de minerales de cobre; en la veta A los más importantes son: cp, en-lz y CGRs; mientras que en la veta Z tenemos sólo cp y CGRs.

En la veta A se han indentificado dos minerales del grupo de la enargita: el miembro ortorrómbico, que lleva el nombre del grupo, y el tetragonal (luzonita), que se ha formado por transformación paramórfica de la enargita. Sólo en la muestra BU-4 se ha determinado una especie con alto contenido de Sb, cuya composición concuerda bien con la estibiolumonita. No se detectó estibioenargita.

Aparte de Hualgayoc, en-lz se han reportado en otras minas peruanas: Morococha, Sayapullo, Huarón, Cerro de Pasco, Yauricocha, Colquijirca y Caudalosa (cuadro 5).

Los CGRs reemplazan en-lz; no se puede afirmar si se trata de un reemplazamiento a partir de soluciones posteriores o si se trata de una transformación en estado sólido, ésta última posibilidad parece ser la más probable.

Es particularmente interesante, el reemplazamiento de luzonita por CGRs (fotos 10 y 11), a través del cual, en la frontera entre ambos minerales, se forma cp finamente diseminada, lo cual estaría indicando que el reemplazamiento fue relativamente lento, de tal manera que se formó cp con el Cu excedente.

Esto ocurre con menos frecuencia cuando CGRs reemplazan enargita (fotos 8 y 9).

En la veta A ocurren CGRs de variada composición; algunas veces más arsenicales (los asociados a en-lz), otras más antimoniales (los asociados a calcopirita).

Los CGRs presentan un cuadro geoquímico muy interesante, todas las muestras analizadas arrojaron contenidos de Ag, Zn y Fe (tablas 6a y 6b); la muestra BU-5 sobresale por su alto contenido de Zn (7.68%).

En las vetas A y Z los cobregrises son los portadores de la Ag. En otras minas peruanas se considera también a la gn como mineral argentífero; sin embargo en Bella Unión no existe ningún indicio de ello.

#### 5.2.2. Secuencia paragenética de la formación de los minerales.

En las figuras 29 y 30 se muestra la secuencia de formación de los minerales así como la intensidad de la mineralización para las vetas A y Z. En ambas vetas el relleno de las estructuras se ha

realizado en varias etapas, cada una de ellas caracterizada por cierta asociación mineralógica y separada de la subsiguiente por una fase de fracturamiento.

El proceso de formación de los minerales que rellenan las vetas puede subdividirse en tres fases principales (ver figs. 29 y 30)

- 1.- La inyección de la solución caliente en la roca encajonante fría.- Aquí se forma la mayor cantidad de cuarzo y pirita (czI y pyI). Cuando la roca encajonante es el intrusivo, las soluciones mineralizantes generan silicificación; cuando es caliza, ocurre marmolización, carbonatación y también silicificación.
- 2.- La fase principal de la acción hidrotermal.- Aquí tiene lugar la formación del mayor volumen de los minerales (enI masiva, lz, CGRsI, cpII, czII, pyII y enII(cristales prismáticos)).
- 3.- La declinación de la actividad termal.- caracterizada por la formación de minerales de baja temperatura (por ejemplo: gn en la veta A; mc y CBs en la veta Z).

#### 5.2.2.1. Secuencia de formación de los minerales en la veta A.

En esta veta, cz y py fueron los primeros minerales formados.

Ambos minerales son ampliamente conocidos por su ubicuidad.

Poseen gran energía de cristalización y con ello la tendencia a presentarse como minerales bien formados, con caras numerosas y por lo general idiomorfos; por tal motivo su relación de tiempo con otros minerales que los acompañan es difícil de determinar.

El cuarzo ocurre en varias generaciones. La primera generación es la más importante (czI) y viene a ser la más antigua de todos los minerales de la veta A, a excepción de la py I, la cual en parte debe haberse formado al mismo tiempo que cz I. Luego sigue enI, acompañada de lz como transformación paramórfica. Ambas son reemplazadas por CGRs I, proceso por el cual se forma cpII finamente diseminada.

Resalta la ocurrencia de geodas, pequeñas a medianas, en donde ocurren minerales bien formados: czII

(prismático hexagonal piramidado), pyII (dodecaedro-pentagonal), enII (cristales prismáticos estriados), cpII (cristales maclados), of (blenda rubia maclada) y cac I (dientes de perro).

Las relaciones de tiempo de estos cristales bien formados se pueden establecer macro y microscópicamente sin problemas. Sin embargo en el caso de la esfalerita el problema es más difícil, debido a que este mineral sólo ocurre intercrecido con cuarzo. Por lo tanto su ubicación precisa en la secuencia de formación es tentativa.

Después de la etapa de relleno de geodas siguió una fase de fracturamiento débil (sin llegar a producir brechamiento); las venillas finas originadas fueron rellenadas por los minerales subsiguientes, entre ellos: cz III, cp IV y CGRs II.

El último mineral en formarse fué cac II que ocurre rellenando delgadas venillas.

Cp I, po y estannita ocurren como pequeñas inclusiones en py. Los contornos de estas inclusiones son simples; no se observa reemplazamiento, interdigitación ni ningún indicio que nos ayude a determinar su relación en el tiempo. De igual manera las inclusiones de bn, gn, mc y mawsonita, que ocurren en CGRs y en-luz, no muestran relaciones o características que ayuden a determinar su tiempo de formación.

La pirrotita, que ocurre como inclusiones en pirita, con frecuencia se presenta intercrecida con cp. Es muy probable que ambos minerales se hayan formado al mismo tiempo y quizás después de py. Sólo bajo el microscopio se reconoce covelita y cac, a cuenta de cp, bn, en-luz y CGRs.

#### 5.2.2.2. Evolución geoquímica de la veta A.

Desde el punto de vista geoquímico la formación de la veta A en general corresponde a la evolución normal de una veta mesotermal (ver 5.2.5.1.).

Aparte del Si (como cz) y Ca (como cac), típicos elementos oxífilos, los demás poseen características calcófilas (Cu, Ag, Pb, Zn, Sn y Fe) y con ello la fuerte tendencia a formar SULs. Hay que resaltar que Sn, Zn y Fe (oxicalcófilos), bajo ciertas condiciones fisico-químicas también pueden formar óxidos,

lo cual no es el caso de la veta A. La secuencia de cristalización en esta veta se inicia con el cz y culmina con cac.

Junto con el cz inicial el Fe es el único elemento acompañante de carácter calcófilo, el cual en este caso se presenta exclusivamente como py.

A continuación aparecen inclusiones de po y cp en py, las cuales sin embargo ocurren en mínimas proporciones. El carácter del Fe aquí es definitivamente calcófilo, tanto que a la py se le encuentra usualmente intercrecida con calcopirita. En la depositación subsiguiente predominan los SULs y SFSs de Cu; lo que está en concordancia con el carácter típicamente calcófilo del Cu. La bn es escasa, y en caso que no sea secundaria, podría haberse formado en esta parte de la secuencia. Sn y Zn, en este caso netamente calcófilos, ocurren como ef, esn, mawsonita y kesterita. A pesar de la pobreza en Zn de la veta A, algo de ef se reconoce como inclusiones en enargita, cp, CGRs y mawsonita.

Durante la fase de relleno de geodas, el Fe ocurre como contribuyente estequiométrico, acompañando al Cu en la cp y en la enargita (cuadro 5). El Fe en menor proporción ocurre como pequeños cristales de py. A estas alturas, se forman una esfalerita caramelo o miel, muy pobre en Fe.

En la fase siguiente (formación de venillas) predomina la depositación del Cu, en forma de cp y CGRs; en contraposición al Fe que, aparte de su participación en la cp, sólo ocurre como accesorio en CGRs.

El Pb que es otro elemento calcófilo, ocurre casi exclusivamente como gn. La Ag probablemente viene en los CGRs (cuadros 6a y b), aunque no se descarta la posibilidad de que ocurra como solución sólida en gn. Trazas de Ag también fueron detectadas en cp. Pirita ya no ocurre más en esta etapa.

La ocurrencia de rt no se puede encuadrar dentro de la secuencia hidrotermal planteada. Este mineral se presenta sólo en la zona de contacto entre la veta y la caja diorítica. Probablemente se forma por transformación hidrotermal a partir de los OXs-Fe y Ti primarios que con frecuencia ocurren en el intrusivo San Miguel (ver 3.2.1.1.).

#### 5.2.2.3. Secuencia de formación de los minerales de la veta Z.

La secuencia de formación de minerales en la veta Z, es mucho más simple que la veta A; sobre todo debido a que el número de fases es menor y menos compleja; así como debido a la falencia de algunos SULs y SFSS de Cu y Sn.

La ocurrencia adicional de bar y mc en la veta Z, no varía significativamente este hecho.

Todo el cz de esta veta ocurre en una sólo fase, que viene a ser la más antigua. En contraposición, py ocurre en varias generaciones; py I, que acompaña a parte del cz, junto con ef representan la primera fase de formación de sulfuros. Sólo existe una generación de ef, con barita acompañando las postrimerías de su depositación. Aquí se forma py II y a continuación la etapa de mayor importancia económica de la veta la formación de CGRs, cp I y gn. Tanto py I como py II son reemplazadas por cp I y gn respectivamente.

Cp y gn ocurren por lo general asociadas. CGRs se presentan ocasionalmente en los bordes de gn, pero con más frecuencia en agregados granulares.

Debido a la ocurrencia de una fase de fracturamiento relativamente débil, se generaron fracturas y fisuras, las cuales fueron rellenadas por cp II y CBs, en menor proporción por py. Las venillas así conformadas, cortan gn, CGRs y ef. Por su parte, las venillas de CBs cortan sobre todo cz y ef, en parte a la gn y cp.

El sulfuro más joven de esta secuencia es mc; acompañándola ocurre py III. Ambos se presentan por lo general finamente diseminados.

#### 5.2.2.4. Evolución geoquímica de la veta Z.

La evolución geoquímica de la veta Z es similar a la de la veta A. Son dignas de resaltar las siguientes características particulares de la veta Z:

La mayor proporción de los minerales de elementos típicamente calcófilos, como el Cu (cp y CGRs), Ag (CGRs) y Pb (gn) se han formado en la fase principal de la depositación de la veta.

Como ya se mencionó, faltan los SULs de Sn, la en y luz; por el contrario, gn y ef son abundantes. Ba (elemento oxífilo y litófilo) ocurre exclusivamente como baritina.

En esta veta el Fe es el último elemento, con carácter calcófilo, en depositarse; lo hace en forma de py III y mc.

De manera similar a la veta A, los CBs cierran la secuencia de formación.

### 5.2.3. Distribución y geometría de la mineralización

En este párrafo evaluamos los patrones de distribución de las diferentes variables, tanto en la veta A como en la Z. Para ello nos vamos a valer del estudio estadístico previo, de las características estructurales informadas por el estudio geoestadístico (especialmente por los variogramas) y de la técnica de curvas isovalóricas.

Usualmente el ploteo de las curvas isovalóricas de potencias y acumulaciones se realiza empleando todo el conjunto de muestras analizadas; sin embargo, como en nuestro caso se trata de un estudio general, en lugar de emplear todos los datos, solo vamos a considerar los valores estimados por brigeage, de cada panel cubicado (ver cuadros 14 y 16) a lo largo de ambas vetas; ubicando el valor de cada variable en el centro geométrico de cada panel o paneles, según el caso.

Las secciones longitudinales de contornos (S.L.C.) que se han ploteado son: de potencias (figs.31 y 35), de acumulación de Ag (figs.34 y 38), de acumulación de Cu (figs.33 y 37) y de contornos estructurales (figs.32 y 36). En el caso de la veta A, en todos los gráficos se indica además el tipo de roca encajonante correspondiente.

Las secciones originales fueron ploteadas en forma digital siguiendo la metodología planteada por CANCHAYA (1987 a,b) y empleando un programa denominado GRIBA. En la sección de anexos se adjunta el diagrama de flujo de este programa y un ejemplo de estas secciones digitalizadas, tal como son editadas por la computadora. Las secciones contorneadas de las figuras 31 al 38 han sido redibujadas a partir de sus respectivas secciones digitalizadas.

Todas las secciones \*longitudinales se han trazado sobre un plano vertical que sigue el rumbo promedio de ambas vetas (N68°W); sólo en el caso de las secciones de contornos estructurales se ha empleado un plano de proyección paralelo al anterior y separado unos 50 m. al norte.

#### 5.2.3.1. Distribución y geometría de la mineralización en la veta A

La sección de contornos estructurales nos muestra una gran zona convexa central, algo ensanchada hacia el afloramiento, con su máximo angostamiento a la altura del nivel Juan, para luego ampliarse bruscamente hacia abajo en dos direcciones: una subvertical hacia la chimenea 10 y la otra subhorizontal hacia el E. Esta especie de charnela central coincide más o menos con el contacto caliza-intrusivo. Hacia ambos lados la veta se acerca paulatinamente al plano de proyección, mostrando cierta sinuosidad hacia su lado oriental. Esta característica también se observa en el lado occidental, aunque en este caso la sinuosidad es en sentido transversal a la vertical. No se observa ninguna correspondencia clara entre el patrón de contornos estructurales con los de potencia o acumulaciones; aunque si se nota que la veta se hace algo más sinuosa cuando la roca de caja es intrusivo.

En la S.L.C. de la fig. 31 se observa que la potencia de la veta es mayor cuando la roca de caja es calcárea y en general tiende a aumentar con la profundidad; sin embargo en el subnivel intermedio, entre los niveles Lourdes y Fátima se ha cortado la veta A con una potencia de 0.30 a 0.70 m. Esta variación de potencia, en dirección vertical, también es notoria, aunque con menos claridad en dirección horizontal. Tales cambios de potencia caracterizan a las estructuras de cizalla. Justamente en el párrafo 3.3., según el análisis estructural respectivo, se sindicó a la veta A como una estructura de cizalla con movimiento dextral. Aunque no se ha encontrado evidencias que nos indiquen cómo fue el movimiento vertical, analizando el diagrama tectónico de la fig. 10 y considerando el buzamiento promedio de la estructura, podemos suponer con seguridad que la veta A está rellenando una falla inversa.

En la fig.39 se esquematiza la relación entre las características estructurales de la veta A y sus variaciones de potencia. Del análisis de estos esquemas se concluye que en general, la veta se hará más potente, tanto en las zonas con menor buzamiento como en aquellas donde el rumbo se aproxima a la dirección N85°E. Como existe una cierta correlación positiva entre la potencia y la acumulación de Cu y Ag (ver cuadro 13) se espera que en la mayor parte de los casos, estas zonas más potentes correspondan a su vez con zonas ricas en Cu y Ag.

Por otro lado, en las dos S.L.C. de acumulación de Cu y Ag, se observa hacia el W una zona de altos valores (figs.33 y 34) la cual hacia el E pasa transicionalmente a una amplia zona intermedia de bajos valores que se incrementan paulatinamente hacia el flanco oriental con clara tendencia a seguir aumentando.

La gran similitud entre las dos S.L.C. de acumulación responde a la alta correlación positiva entre la Ag y el Cu, expresada por los respectivos coeficientes de correlación (cuadro 13). Hay que resaltar la presencia, en ambas secciones, de una zona muy rica ubicada entre el nivel Cortadera y el último tercio del nivel Lourdes.

También existe correlación positiva entre la potencia y las acumulaciones de Ag y Cu, aunque éstas no son tan marcadas como las que hay entre la Ag y el Cu (cuadro 13). Ello se refleja en cierta similitud entre la S.L.C. de potencias y las de acumulación. Las principales diferencias son: la ausencia de la zona de altos valores hacia el flanco oriental y el desplazamiento hacia abajo (hasta el nivel Lourdes) de la zona de valores altos en el flanco occidental. Además se observa una tendencia al incremento de los valores de potencia hacia abajo del nivel Lourdes, lo cual, si recordamos que existe una cierta correlación positiva entre la potencia y acumulaciones, implica que hay posibilidad de que las leyes se incrementen, o por lo menos se mantengan sus buenos valores entre los niveles Lourdes y Fátima en el flanco oeste de la veta.

No se ha planteado las S.L.C. de cocientes metálicos (Ag/Cu), ya que ambas variables presentan una fuerte correlación positiva (ver cuadro 13) por lo cual no tiene sentido la aplicación del método de cocientes metálicos (CANCHAYA 1987 a,b) que como se sabe, principalmente nos informa de las direcciones de flujo de la mineralización.

CANCHAYA & TUMIALAN (1976) publicaron, entre otras, una S.L.C. de cocientes metálicos Ag/Cu, en la cual obviamente no resulta ningún patrón coherente de flujos de mineralización.

Estos autores realizaron el ploteo de ocho S.L.C., sobre la base de los valores medios de los bloques, cubicados por el método tradicional del promedio aritmético simple. A pesar de ello se nota cierta similitud entre las S.L.C. de Potencias y acumulaciones (contenido metálico) presentadas por dichos autores, con las que se adjuntan a este trabajo; teniendo estas últimas mayor soporte ya que se basan en valores estimados por "Kriging". Adicionalmente CANCHAYA & TUMIALAN (op. cit.) incluyen S.L.C. de leyes (Ag y Cu), las cuales no se han considerado en este trabajo, por carecer las leyes aisladas de un soporte físico (ver párrafo 4.3.2.2. ).

#### 5.2.3.2. Distribución y geometría de la mineralización en la veta Z

La veta Z sólo ha sido reconocida por el nivel Fátima y la Chimenea 10, aparte de los subniveles F-10 e Intermedio donde se le ha cortado con pequeños cruceros. Debería aflorar muy cerca de la veta A; sin embargo no ha sido posible individualizar su afloramiento. En la zona Este de la mina, se observa una estructura con características similares a la veta Z (figura 9); la oxidación y la cubierta de suelo y vegetación impiden una correlación más definitiva.

El estudio de curvas isovalóricas se circunscribe a la galería Fátima y a la Chimenea 10, que lamentablemente sólo nos permiten una visión parcial de esta estructura, por lo que las conclusiones y observaciones siguientes sólo son referenciales.

La S.L.C. estructurales (fig.36) nos muestra una estructura con suaves plegamientos transversales y en general ligeramente inclinada hacia el sur. No se observa ninguna relación entre los contornos estructurales y los patrones de distribución de acumulaciones y potencia.

Tal como lo muestra la S.L.C. respectiva, la potencia de la veta tiende a aumentar hacia el oeste; por otro lado, en el flanco occidental de la Chimenea 10, también aumenta en profundidad.

En el cuadro 13 se observa que los coeficientes de correlación entre la potencia y las leyes de Cu y Ag son positivos, aunque no muy altos. A eso se debe la similitud entre los patrones de distribución de potencias y acumulaciones. Las secciones de contornos de acumulaciones son aún más semejantes, debido al refuerzo de la ya moderada correlación entre Ag y el Cu (Cuadro 13) por la acción de la potencia que funciona como ponderador común en ambos casos.

Los patrones de acumulación de ambos elementos nos muestran una tendencia de incremento de las acumulaciones, tanto hacia el oeste como en profundidad. Se nota también una franja subhorizontal y cóncava, pobre, que separa la zona de enriquecimiento occidental de la zona central, que se ubica por debajo de la chimenea 10.

En el caso de veta Z tampoco es pertinente plotear la S.L.C de cocientes Ag/Cu, debido a que estos elementos presentan correlación positiva y baja.

### 5.2.3.3 Interpretación de las covarianzas cruzadas

La covarianza cruzada nos permite evaluar la correlación entre dos variables cuando se comparan sus valores desplazados un cierto vector h, el cual se hace variar iterativamente.

Matemáticamente se define como:

$$C_{xy}(h) = E(x.y) - E(x) E(y)$$

Donde:  $C_{xy}$  es la covarianza entre la variables x desplazadas un vector h:

h cuando el desplazamiento es de E a W o debajo hacia arriba .

-h cuando el desplazamiento es en sentido contrario.

E( es el operador esperanza matemática, aplicado sobre las variables indicadas

En el caso de Bella Unión, sólo ha sido posible aplicar esta herramienta en cuatro labores, ya que las demás no tienen el soporte suficiente; éstas son

Veta A: el tramo de la galería Lourdes W, entre las chimeneas 10 y 12

- el Subnivel 1

Veta Z - Galería Fátima W  
- Chimenea 10

En el caso de la Veta A, las covarianzas cruzadas entre Pot.- Cu y Pot.-Ag, son análogas; ambas muestran un incremento paulatino

de correlación cuando se compara valores de potencia con los respectivos de Cu y Ag desplazados hacia el este (desplazamiento  $-h$ ), presentando un máximo cuando  $-h=36$ , es decir cuando se compara valores de potencia con los de Ag y Cu separados una distancia de 72 m hacia el Este.

Estos resultados no se pueden interpretar con facilidad ya que falta la información en dirección vertical. Probablemente tengan relación con el ensanchamiento y consecuente aumento de la ley que ocurre en las zonas de menor buzamiento y/o en los tramos sub-paralelos a la dirección de compresión tectónica (ver Fig.39).

La covarianza cruzada Ag-Cu nos muestra una clara independencia entre estas dos variables en toda la distancia de comparación planteadas, con excepción de la correspondiente a  $h=0$ , donde  $\rho=0.84$

los datos del subnivel 1, también de la Veta A, nos muestran covarianza cruzadas Pot.-Cu y Pot.-Ag sin ninguna tendencia de correlación, salvo el pequeño pico del gráfico Pot.-Ag, que resulta para una separación de 60 m ( $-h=30$ ).

Por el contrario, el gráfico Cu-Ag si nos muestra hasta tres tendencias de correlación marcadas:

- a. Cuando se compara valores de Cu con los respectivos de Ag ubicados a 24 m hacia el W
- b. Cuando la comparación se efectúa entre valores de Cu y los Ag separados unos 16 m al E
- c. Para pares Cu-Ag separados unos 60 m; en este último caso la correlación es más definida y algo mayor que la de los casos anteriores.

En el caso de la veta Z, a excepción del gráfico Cu-Ag de la Chimenea 10, ninguna de las covarianzas cruzadas muestran una tendencia de correlación definida.

En el gráfico de la COV(Cu-Ag) mencionado se observa dos tendencias de correlación:

- a. una en torno a un máximo ubicado a  $-h=11$ ; es decir cuando se compara valores de Ag con valores de Cu desplazados 22 m hacia arriba
- b. Otra en torno a un máximo ubicado a  $+h=13$ ; es decir cuando se compara valores de Ag con valores de Cu desplazados 26 m hacia abajo.

Según esto tenemos la presencia de un "retardo" entre el Cu y la Ag, con un nivel de depositación de Ag ubicado a unos 25 m hacia arriba del nivel de depositación del Cu. Como los gráficos de la galería no muestran correlación para ningún  $h$ , podemos suponer que este retardo es esencialmente vertical.

#### 5.2.4. Interpretación genética

En los Andes peruanos, las vetas hidrotermales por lo general se correlacionan con eventos tectónicos terciarios y con la fase magnética tardía de la orogenia andina; en especial con stocks hipoabisales.

Se sabe de la ocurrencia de varias fases de intrusión (ver p.ejem. SOLER & BONIOMME 1988). La región de Hualgayoc no es una excepción, ya que, ha sido intruída por stocks, sills y diques de composición básica a intermedia. Según los estudios geoquímicos, estos productos magnéticos presentan un carácter calcoalcalino (BORREDON 1982). Además CANCHAYA (1990); da cuenta de una buena correlación entre los valores de  $K_2O$  y  $SiO_2$  y baja correlación entre los de  $Na_2O$  y  $SiO_2$ , lo cual caracteriza a las series calcoalcalinas de áreas insulares, por otro lado, se señala una tendencia de diferenciación magnética en dirección de un enriquecimiento en  $K_2O$ , donde los productos finales son volcánicos de composición riolítica.

BORREDON (1982) reporta edades radiométricas K-Ar de algunas rocas ígneas del distrito. Una muestra del Intrusivo Hualgayoc resultó con  $14.5 \pm 0.7$  m.a., mientras que otra del Intrusivo Coymolache resultó con  $11.8 \pm 0.6$  m.a. En base a características estructurales y litológicas, podemos asignar estas edades al Intrusivo San Miguel, que juntamente con el Tanta Huatay afloran en las cercanías de la Mina Bella Unión; las observaciones de campo indican que el último de los mencionados es el más reciente y probablemente se trate de un producto diferenciación ulterior al emplazamiento del Intrusivo San Miguel. A favor de ello habla no solo la composición más ácida del Intrusivo Tanta Huatay, sino también la fuerte alteración hidrotermal de su roca encajonante, así como la ocurrencia, en su techo, de varios casquetes cuárcicos de dimensiones decamétricas (fig.4).

##### 5.2.4.1. Origen de las soluciones hidrotermales y de su contenido metálico

Con relación al origen de las soluciones mineralizantes, se plantean las siguientes posibilidades:

1. A partir de fluidos preexistentes o de yacimientos remobilizados
2. Producto de diferenciación de plutones profundos

En contra de la primera interpretación se tienen las siguientes observaciones:

En los casos en que las vetas cortan yacimientos estratoligados, no se observa ningún rasgo geométrico ni estructural que insinúe una remobilización del material implicado.

- Los sedimentos de la mina, consisten principalmente de calizas. Por lo tanto las vetas deberían ser ricas en carbonatos, lo cual sólo se da en el caso de la veta Z.

Por removilización o regeneración, sería difícil de explicar el contenido en S, As, Sb, etc. de las soluciones.

Por tales motivos, es difícil concebir que las soluciones hidrotermales se hayan producido por removilización o regeneración.

La segunda hipótesis implica una relación directa entre el magma original, los intrusivos generados y los yacimientos implicados (en nuestro caso las vetas).

La afinidad geoquímica entre el intrusivo y vetas se apoya en los siguientes criterios:

Luego de la fase de cristalización magmática siguió una etapa de alteración, que afectó a los minerales de los intrusivos. Los silicatos primarios: PGLs, y hor, se alteraron a ser, cac, CIOs, ep, ARCS, ZEs, etc. Se trata de minerales comunes y frecuentes en la etapa hidrotermal magmática.

La sulfidización de los óxidos primarios de Fe-Ti también es típica de fases de alteración magmático-hidrotermales. La pirita ocurre pseudomorfisando granos mixtos de il-rt, donde ésta se presenta ocupando selectivamente el lugar de il, embebiendo así las lamelas relícticas de rt. En general el rutilo se transforma en esfena y a veces en leucoxeno. Py y rt se forman a partir de anfíboles primarios, con frecuencia siguiendo sus direcciones de clivaje; los anfíboles también suelen transformarse algunas veces en leucoxeno. En muchos casos se observa sólo los moldes relícticos de los anfíboles primarios.

Los criterios que acabamos de mencionar no son concluyentes para demostrar la probable afinidad entre intrusivos y vetas, siendo necesarias investigaciones adicionales.

Durante la diferenciación magmática no se descarta la influencia externa a través de procesos como la resorción y asimilación. De esta manera es de esperar que haya habido asimilación de agua por el magma, ya que algunas rocas encajonantes contienen minerales hidratados, con agua de formación o de cristalización, especialmente las lutitas.

La ocurrencia de hornblenda en el Intrusivo San Miguel se podría explicar de esta manera.

Durante el proceso magmático, las soluciones originadas en el transcurso de su migración ascendente o descendente, debieron experimentar cierto intercambio de masa con las rocas encajonantes; ya que es lógico suponer que los sedimentos han tenido que reaccionar, de alguna forma, al paso de las soluciones de origen magmático. Por lo tanto, el origen puramente magmático de las vetas es cuestionable; de esta manera ciertos elementos que éstas contienen deben considerarse diplogénicos (LOVERING 1963) e incluso poligénicos (BAUMANN et.al 1968). Es necesario mayores estudios para dilucidar mejor el origen de los elementos presentes en las vetas.

#### 5.2.4.2. Relación con otras ocurrencias magmáticas

Las vetas de Bella Unión presentan una clara asociación espacial con el Intrusivo San Miguel. Sin embargo, en base sólo a dicha asociación espacial, no se puede afirmar que las vetas son producto de fases hidrotermales tardías emparentadas con tal intrusivo.

Las vetas cortan al Intrusivo San Miguel y lo alteran fuertemente en la vecindad del contacto, donde también, en muchos casos, se observa fragmentos de intrusivo englobados por la veta, conformando a veces una especie de brecha. Ello implica que los intrusivos ya estaban solidificados cuando se formaron las vetas. Por lo tanto, las soluciones hidrotermales no pudieron haberse generado de dichos intrusivos.

Debido a que las soluciones residuales no se han generado directamente de las intrusiones ahora aflorantes, entonces deben haberse generado de alguna fuente más profunda, de la cual inclusive se habrían generado las intrusiones de niveles de emplazamiento más someros (San Miguel, Tanta Huatay, Coymolache, etc.), sin descartar la posibilidad de que estos intrusivos se hayan formado por procesos de diferenciación distintos.

Queda por aclarar aún con cual de las intrusiones se asocian más estrechamente las vetas hidrotermales. Se plantean dos posibilidades:

1. Con el pórfido cuarzodiorítico San Miguel.
2. Con el pórfido granodiorítico Tanta Huatay.

La primera posibilidad es la menos probable. Desde el punto de vista de su distribución espacial las vetas hidrotermales estudiadas se circunscriben sólo a la parte Sur del Intrusivo San Miguel (figura 9). Por otro lado, no se observan vetas asociadas a las otras intrusiones de similar composición (Intrusivo Coymolache, Sill Yanacancha). Además, en el contacto de las calizas con el Intrusivo San Miguel, sólo se observa una débil alteración hidrotermal. Por lo tanto es difícil aceptar una aso--

ciación directa entre las soluciones hidrotermales y el proceso de diferenciación que originó el pórfido diorítico San Miguel. Es más factible una filiación entre las soluciones mineralizantes y la diferenciación del Intrusivo Tanta Huatay, el cual es de composición más ácida que el Intrusivo San Miguel. Son evidencias a favor: la ocurrencia de numerosos filones de cuarzo y vetas cortando a dichos intrusivos; la mayor parte de estas estructuras se ubican en los contactos del intrusivo con el paquete sedimentario y también en el techo del stock. En algunos casos también ocurren dentro del intrusivo, afloramientos decamétricos cuarzo-limoníticos porosos (figura 4), los cuales igualmente podrían ser productos de diferenciación, más o menos coetáneos con los filones cuárcicos. Todas estas manifestaciones dan cuenta de un carácter ácido del Intrusivo Tanta Huatay; carácter que también se refleja en la fuerte silificación de la roca encajonante. Por otro lado debemos indicar que los llamados "cuerpos irregulares de cz-py-en" (cuadro 1) solamente ocurren en el lado noroeste de la intrusión Tanta Huatay. Todavía falta aclarar la génesis de este tipo de yacimientos.

Los pequeños diques ácidos encontrados en la mina Bella Unión también podrían estar asociados al Intrusivo Tanta Huatay.

#### 5.2.4.3. Las vías de ascensión de las soluciones mineralizantes.

La textura porfirítica de todos los intrusivos de Hualgayoc evidencia un nivel de emplazamiento subvolcánico. Por lo tanto las vetas asociadas espacialmente, y en algunos casos genéticamente, a dichos intrusivos se pueden considerar como depósitos subvolcánicos.

Según la clasificación de SCHNEIDERHOHN (1962), las vetas de Bella Unión, en relación con la distancia al magma original, se pueden clasificar como apomagmáticas. En este caso, las mismas estructuras premineralizadas han podido servir de canales de alimentación de las soluciones hidrotermales.

En el caso de que las soluciones no hayan tenido una relación directa con el Intrusivo Tanta Huatay, sino con fuentes más lejanas o profundas, se hace necesario considerar canales de alimentación de mayor alcance ("Zuführkanäle", según SMIRNOV 1970), como las fallas regionales que pertenecen al "sistema andino" (ver párrafo 2.4.). Esta posibilidad es factible en el marco de la fuerte actividad tectónica que afectó el distrito durante la orogenia andina. Las fallas regionales profundas pueden alcanzar fuentes magmáticas profundas y de esa manera pudieron haber servido de canales de alimentación de las soluciones mineralizantes. Esto se contradice con el hecho de que sólo algunas vetas de este sistema son portadoras de minerales; por

ejemplo : las vetas Firenze, San Carlos y Murciélago. Los estudios realizados hasta la fecha aún no son suficientes para aclarar este problema.

#### 5.2.5. Condiciones de formación

Una determinación objetiva de las condiciones de formación de las vetas es muy difícil, cuando no imposible, debido a la falta de evidencias apropiadas; sin embargo vamos a intentar una estimación aproximada de la temperatura y presión. Otras condiciones físico-químicas sólo serán tratadas en forma tangencial.

##### 5.2.5.1. Temperatura de formación

La ocurrencia de cobres grises, bornita, cuarzo- $\alpha$  y galena en la veta "A", indica condiciones mesotermales, es decir entre 250°C y 500°C (EDWARDS 1965) En la veta "Z" ocurren también cobres grises, galena y cuarzo- $\alpha$ , pero además marcasita, la cual se forma por debajo de 300°C (EDWARDS 1965).

En ocasiones se observa diminutas inclusiones de pirrotita y estannita en pirita (fig.16b,f), minerales que estarían representando fases primigenias de alta temperatura. También se identificó luzonita, la cual se ha formado por transformación paramórfica a partir de enargita. Según GAINES (195 ) dicha transformación ocurre a 275°C; mientras que SKINNER (1960) la determinó en 320<sup>±</sup> 20°C; por su lado MASKE & SKINNER (1971) establecen un rango más amplio : 275 a 300°C.

La luzonita estaría representando una fase de baja temperatura, acompañándola ocurre con frecuencia mawsonita, la cual representa la fase estannífera de baja temperatura, la alta está representada por la estannita.

Siendo la mineralización principalmente de alcance mesotermal, se entiende el porqué de la escasa presencia de estos dos minerales en la mina y de su ocurrencia circunscrita a las labores superiores.

Entre las gangas, en la veta "A" predomina el cuarzo sobre la calcita; lo cual, según SHARP (1965), indica una temperatura de formación sobre los 300°C; mientras que en la veta "Z", en la cual predomina la calcita, se estima una temperatura por debajo de los 150°C.

Ocasionalmente se observan lamelas de macla en calcopirita, lo cual según CABOS (1980,1981) indica la transformación de calcopirita cúbica en tetragonal. Sin embargo dichas maclas son distintas a las "hojas de laurel", textura tipomórfica de

dicha transformación (RAMDOHR 1975), la cual se produce a los 500°C. Las lamelas observadas en las calcopiritas de ambas vetas tienen el mismo ancho y se forman en condiciones de baja temperatura.

Los yacimientos magmátogenos fueron clasificados por SCHNEIDERHÖHN (1962), en función del nivel de intrusión del foco magmático ("Magmenherdes") y de la composición de las menas. A continuación los subclasifica según asociaciones isogénicas de minerales, más o menos formadas bajo condiciones físico-químicas similares. De esta manera SCHNEIDERHÖHN (1962) plantea una clasificación en función de la temperatura de formación de determinados ensambles mineralógicos. Siguiendo su clasificación, el ensamble calcopirita-enargita-cobres grises, que ocurre en la veta "A", tipifica condiciones mesotermales. Por otro lado la ocurrencia de esfalerita, galena marcasita, calcita y baritina en la veta "Z" indica condiciones de formación epitermales.

Siguiendo la clasificación de Schneiderhöhn podemos concluir que la fase principal de la veta "A" tuvo un alcance mesotermal, es decir dentro del rango de 200°C a 300°C. Por su lado la veta "Z" se formó en condiciones epitermales, por debajo de los 200°C.

Si bien la veta "Z" es de alcance epitermal, en forma más precisa la debemos ubicar en las facies de mayor temperatura, en parte transgrediendo al rango mesotermal. La relativa abundancia de cobre grises en esta veta estaría en concordancia con esta asunción.

En la Fig.42 se muestra los principales puntos de inversión, texturas y ensambles tipomórficos que han servido para la estimación de las temperaturas de formación de las vetas "A" y "Z". Como referencia se incluye la clasificación de LINDGREN (1933).

Esta estimación se ha realizado considerando una presión estándar, por lo tanto debe ser corregida para las condiciones reales de presión que actuaron durante la formación de las vetas (ver párrafo 5.2.5.2).

Algunas particularidades de la evolución térmica de la veta A y la consecuente variación de la fugacidad de azufre, se muestra en la figura 43. Partiendo del ensamble mesotermal pirita-enargita, de alta fugacidad de azufre, la disminución de temperatura ocasiona primeramente la transformación paramórfica de enargita en luzonita (ver párrafo 5.2.2.1), al seguir disminuyendo la temperatura, ocurre un fuerte decremento de la fugacidad del azufre que desestabiliza el ensamble original, propiciando la formación de  $tnn + cp$ , y más adelante, a menores temperaturas, la aparición de la mawsonita. Siguiendo la tendencia debería aparecer bornita, sin embargo, las escasas ocurrencias de este mineral en la veta no son determinantes respecto a si su origen es primario o secundario. Por otro lado, en base a este diagrama sería factible suponer que la  $po$ , que ocurre (a veces asociada a  $cp$ ) como minúsculas inclusiones en  $py$ , se habría formado a bajas temperaturas, cuando los niveles

de fugacidad de azufre transgreden la línea de equilibrio py-po, cerca del rango límite con las facies epitermales.

#### 5.2.5.2. Presión de formación

En un párrafo anterior (5.2.4.2.) se hizo referencia a la asociación espacial de las vetas con intrusivos de emplazamiento hipabisal, por lo tanto podemos suponer que, tanto intrusivo como vetas se deben haber formado a profundidades similares. Por otro lado, la ocurrencia de "roof pendants" en la zona indica que el nivel de erosión ha alcanzado la cúpula de los intrusivos.

Durante en terciario las rocas volcánicas deben haber cubierto toda la región, siendo total o parcialmente removidas por procesos de erosión subsecuentes, de alcance regional. La zona Oeste del distrito todavía se encuentra cubierta por este material volcánico, el cual en parte sobreyace a la superficie Puna relictica. En la zona estudiada los afloramientos actuales de las vetas, en general se ubican al nivel de erosión de dicha superficie.

Para determinar la profundidad de emplazamiento de las vetas es necesario estimar la potencia de la cubierta litostática en el momento de su formación. Por ejemplo, en la veta Finlandia (mina Colqui) KAMILLI & OHMOTO (1977) estiman una profundidad de formación de 920 m. A partir de ello y con ayuda de ciertas mediciones con inclusiones fluidas, determinaron para la solución de origen 290°C y 74 bar de presión hidrostática; a la cual se debe adicionar la respectiva fugacidad del CO<sub>2</sub>. Con ello se obtuvo una total de 96<sup>±</sup>7 bar la cual corresponde a una profundidad de 100 m.

Los mencionados autores ubican el nivel más profundo de ebullición ("boiling level") a unos 240 metros debajo de la superficie actual. Por lo tanto se puede suponer que fueron erosionados cerca de 760 m (1000 - 240 m.), como la mineralización fue datada en 10.3 m.a., se puede deducir una velocidad de erosión de 7.4 cm/1000 años (KAMILLI & OHMOTO 1977).

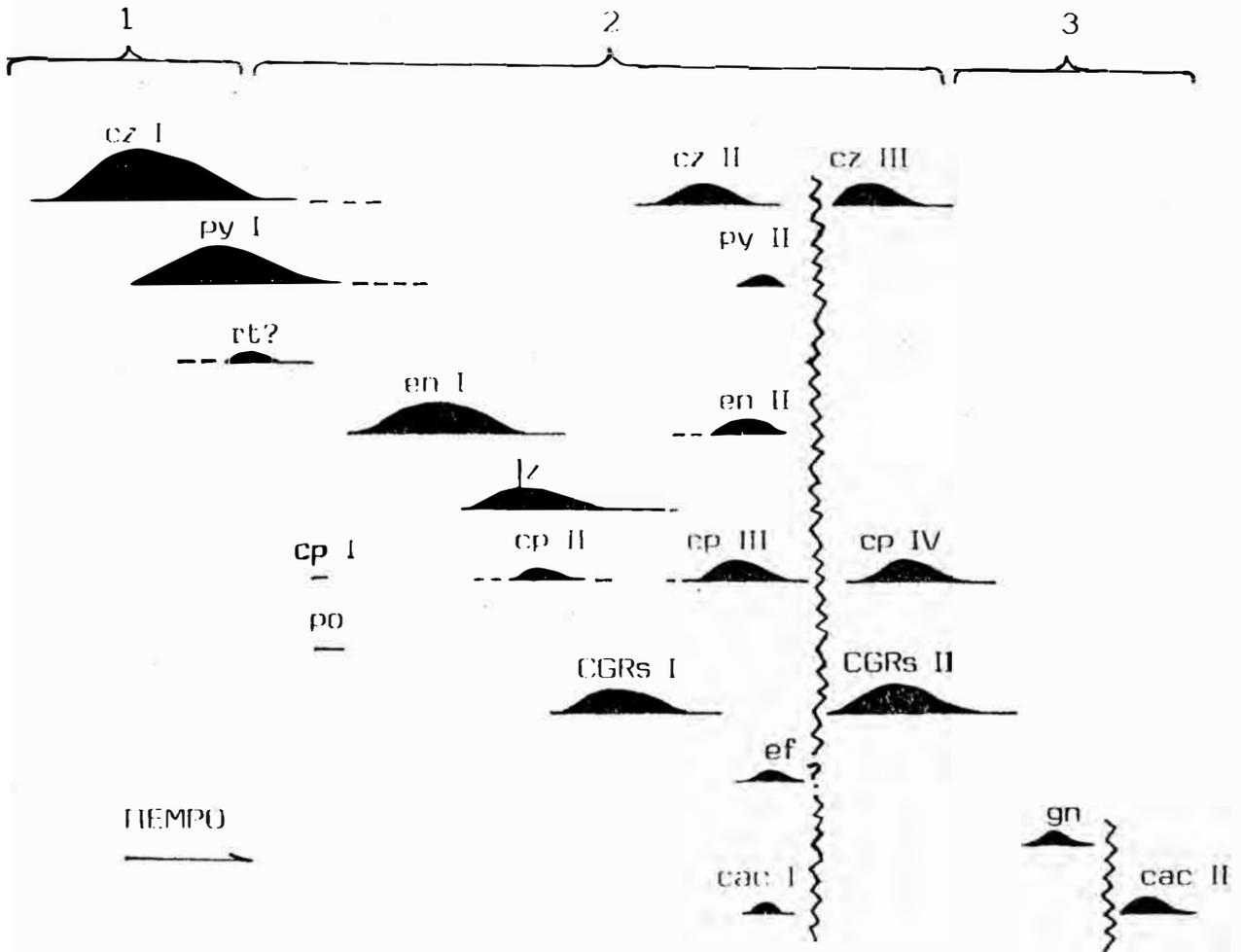
Según BORREDON (1982) el Domo volcánico del Cerro Hualgayoc se encuentra cubriendo una superficie erosionada que incluye afloramientos de vetas, con lo cual podemos fijar el tope de la mineralización hidrotermal en 7.5 m.a., que es la edad de la riolita en cuestión. Por otro lado, la ocurrencia de las vetas cortando al intrusivo Hualgayoc, nos fija el límite más antiguo en 10.4 m.a., que es la edad del mencionado intrusivo.

Suponiendo que la región de hualgayoc fue sometida a una velocidad de erosión similar a la estimada por KAMILLI Y OHMOTO (1977) para la zona de la Mina Colqui, se puede deducir que fueron

erosionados un máximo de 750 m de cobertura rocosa (para una mineralización ocurrida hace unos 10 m.a.) y un mínimo de 550 m, considerando la edad de 7.6 m.a. como límite más reciente. Con ello podemos estimar una profundidad de formación entre 1050 m y 450 m, lo cual corresponde a una presión hidrostática de 45 a 105 bar y una litostática de 150 a 270 bar, ver fig. 44.

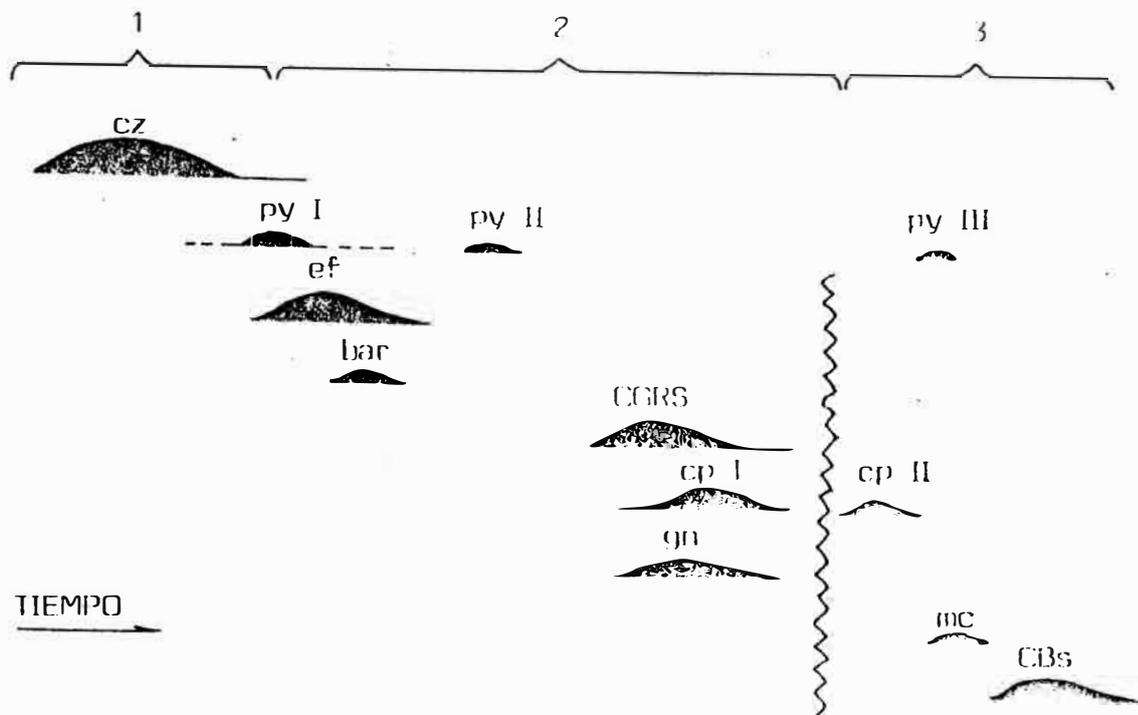
Para que la gradiente sea puramente hidrostática, las vetas deben estar conectadas sin obstrucciones con la superficie. En este caso es necesario considerar la inexistencia de burbujas de gas, para que dicha gradiente corresponda a una columna de 100% de agua. Sin embargo las soluciones mineralizantes parecen ser más livianas: LANDIS & RYE (1974) determinaron en Pasto Bueno una solución hidrotermal ("brine solution") de aproximadamente  $0.8 \text{ gr/cm}^3$  (fig. 44).

Hay que considerar además que, según MARLER & WHITE (1975), durante la mineralización puede aumentar la presión hidrostática debido a una disminución de la porosidad y también al sellamiento paulatino de las fracturas.



Secuencia de formación de los principales minerales de la Veta A  
Tomado de CANCHAYA (1987c)

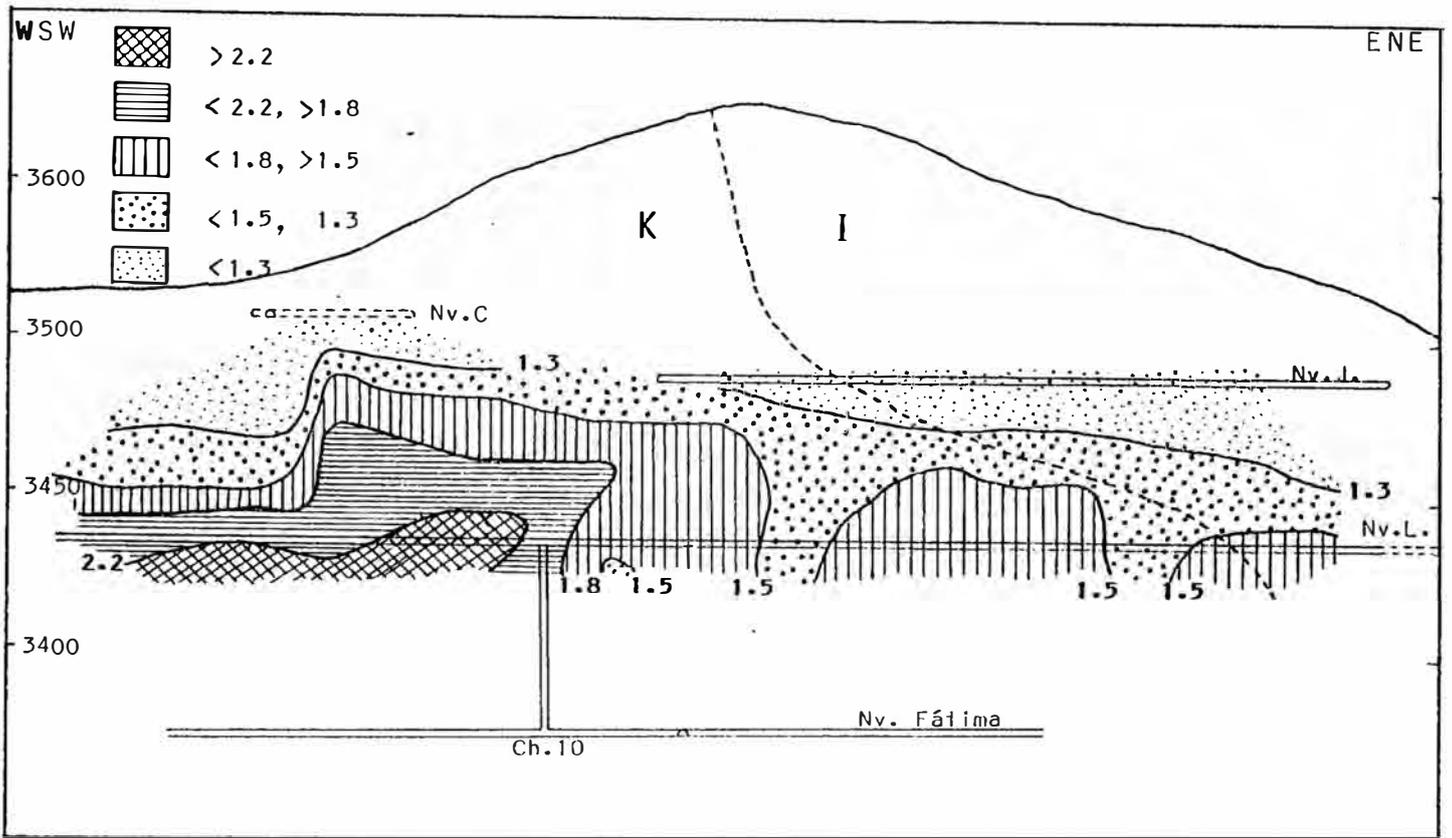
Fig. 29



Secuencia de formación de los principales minerales de la Veta Z  
tomado de CANCHAYA (1987c)

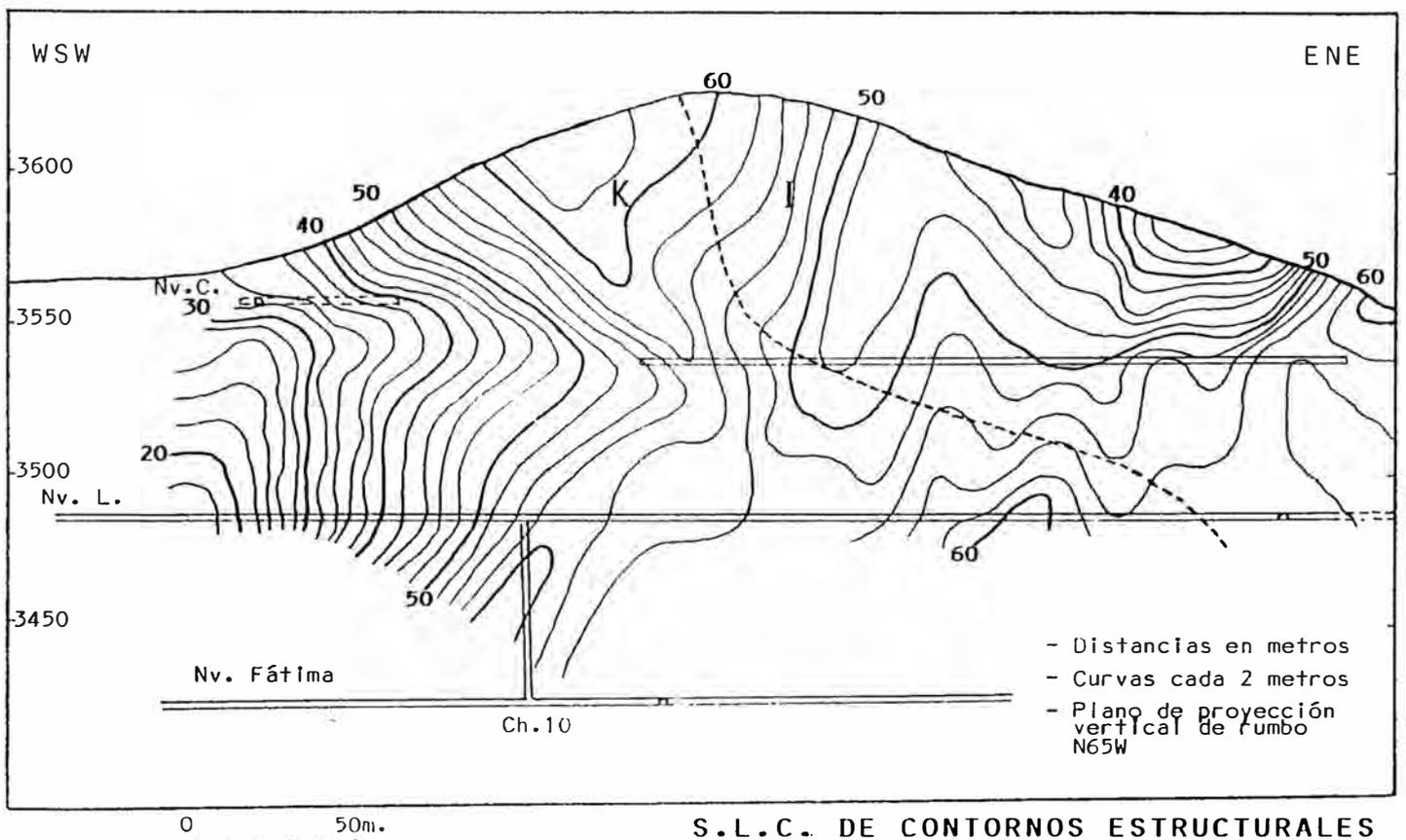
Fig. 30

Mineralogía y Petrología  
Instituto de Geología y Minería  
Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa



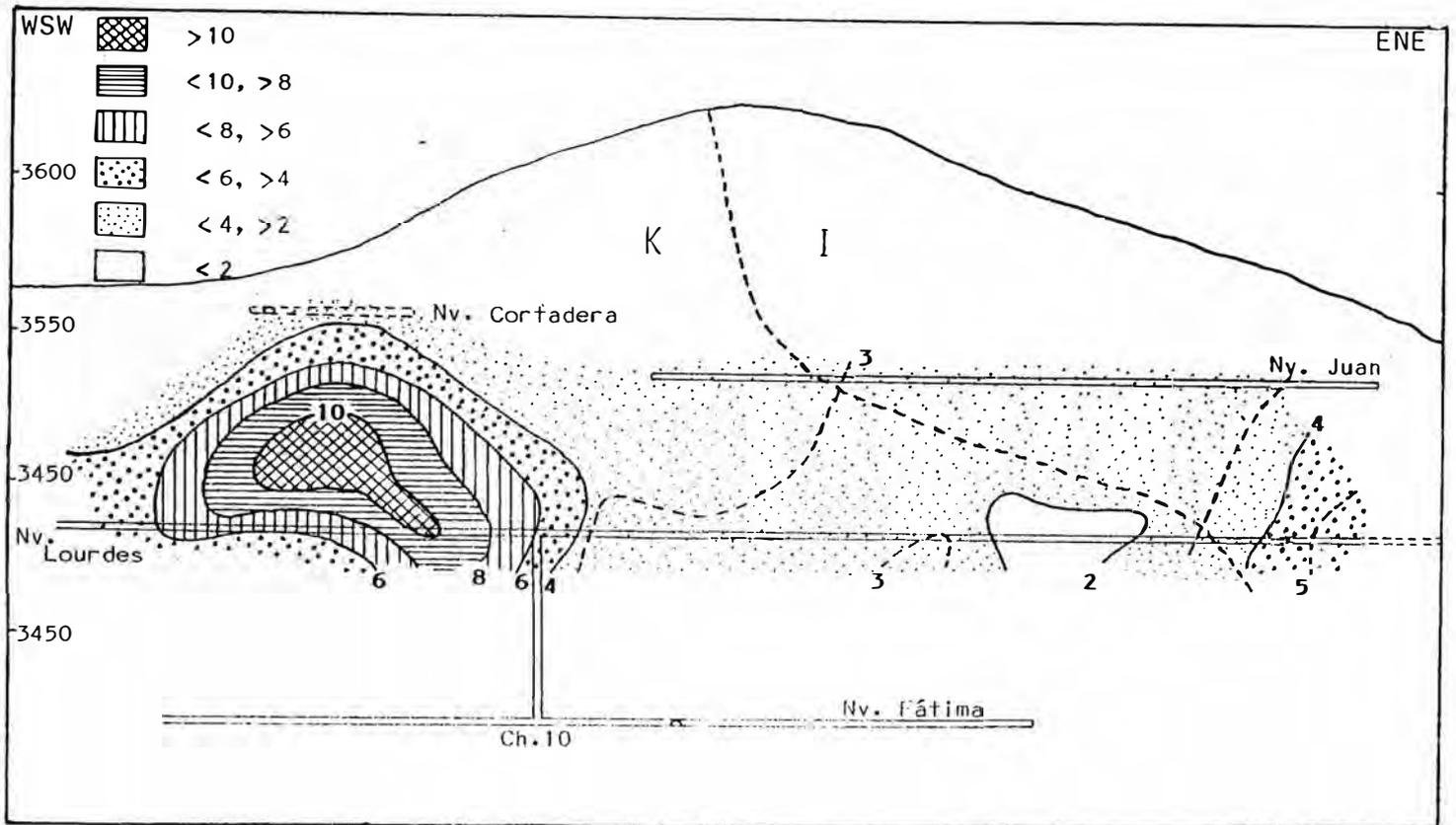
S.L.C. DE POTENCIAS - VETA "A"

FIG. 31



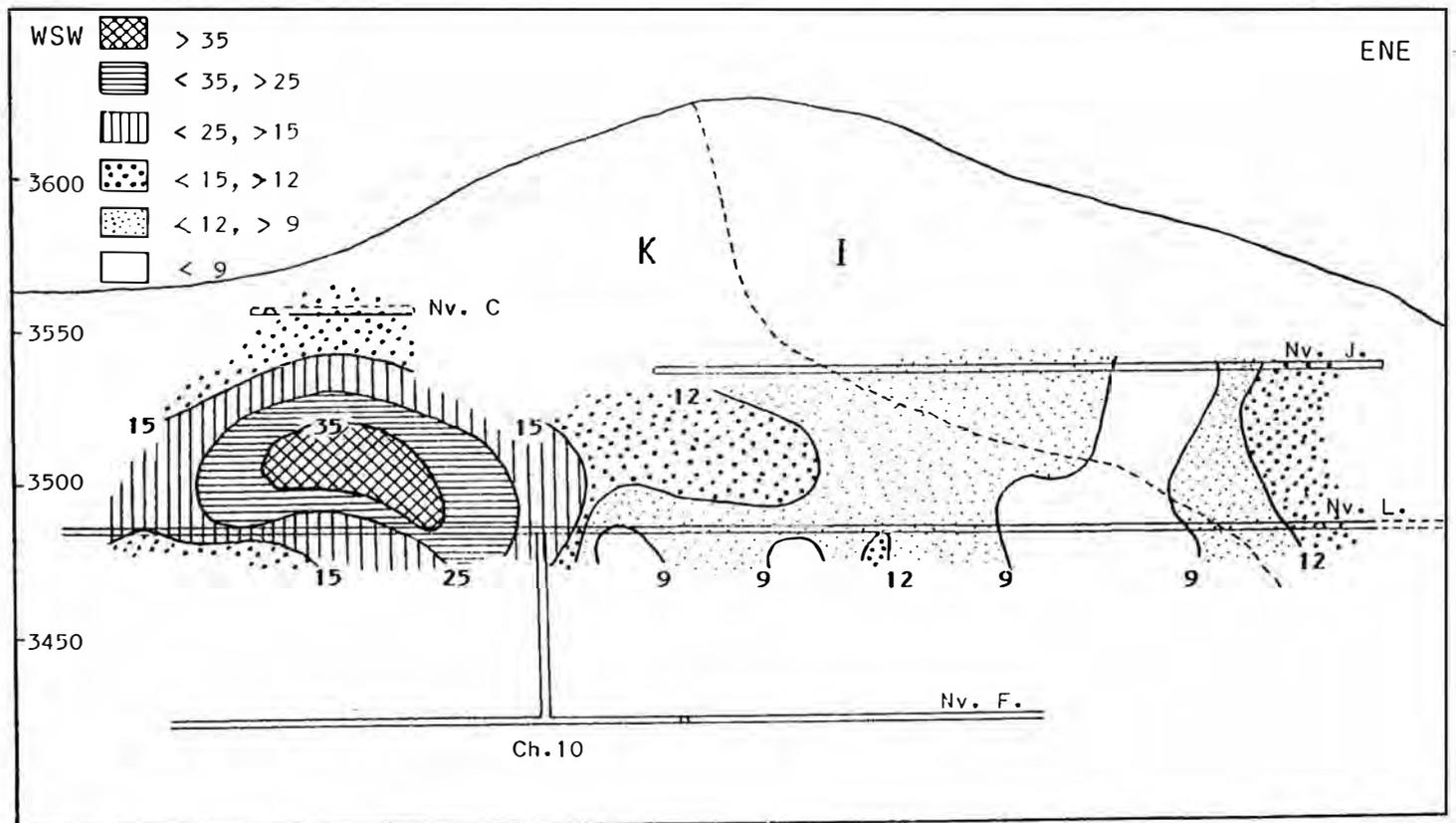
S.L.C. DE CONTORNOS ESTRUCTURALES VETA "A"

FIG. 32



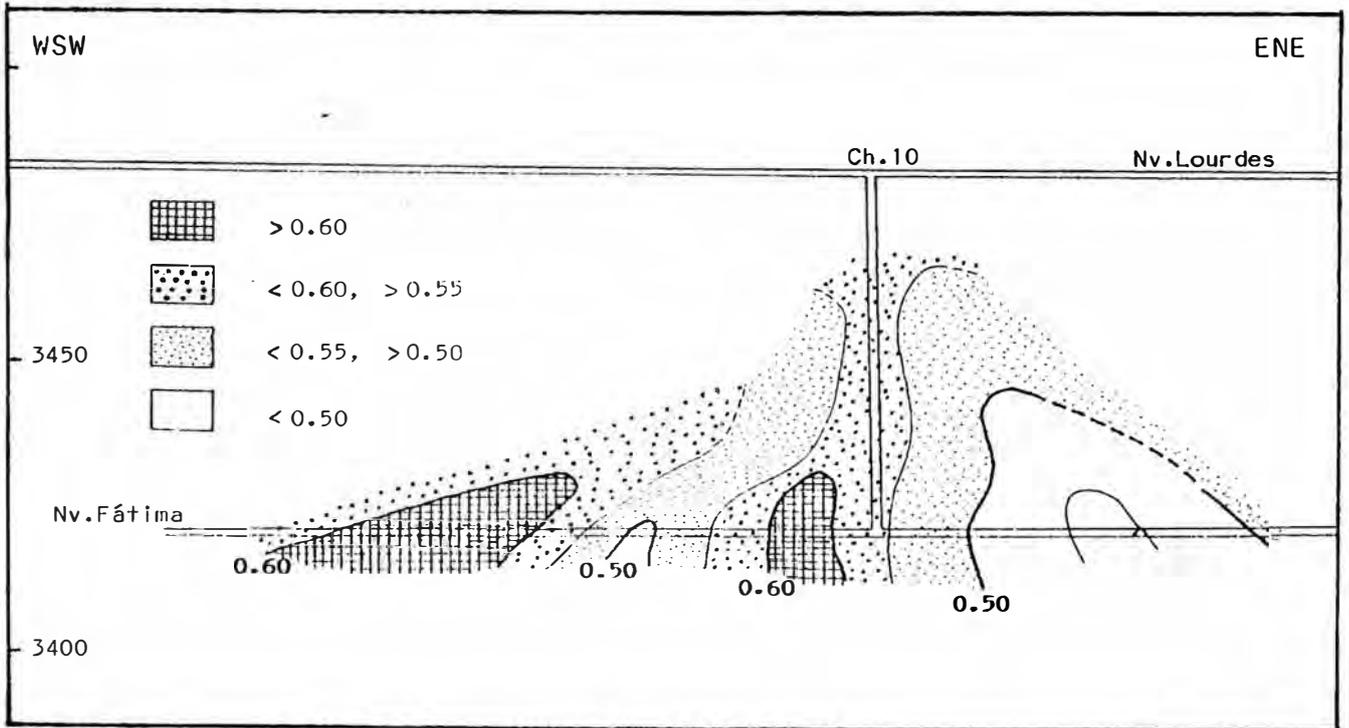
S.L.C. DE ACUMULACION DE CU  
VETA "A"

FIG.33



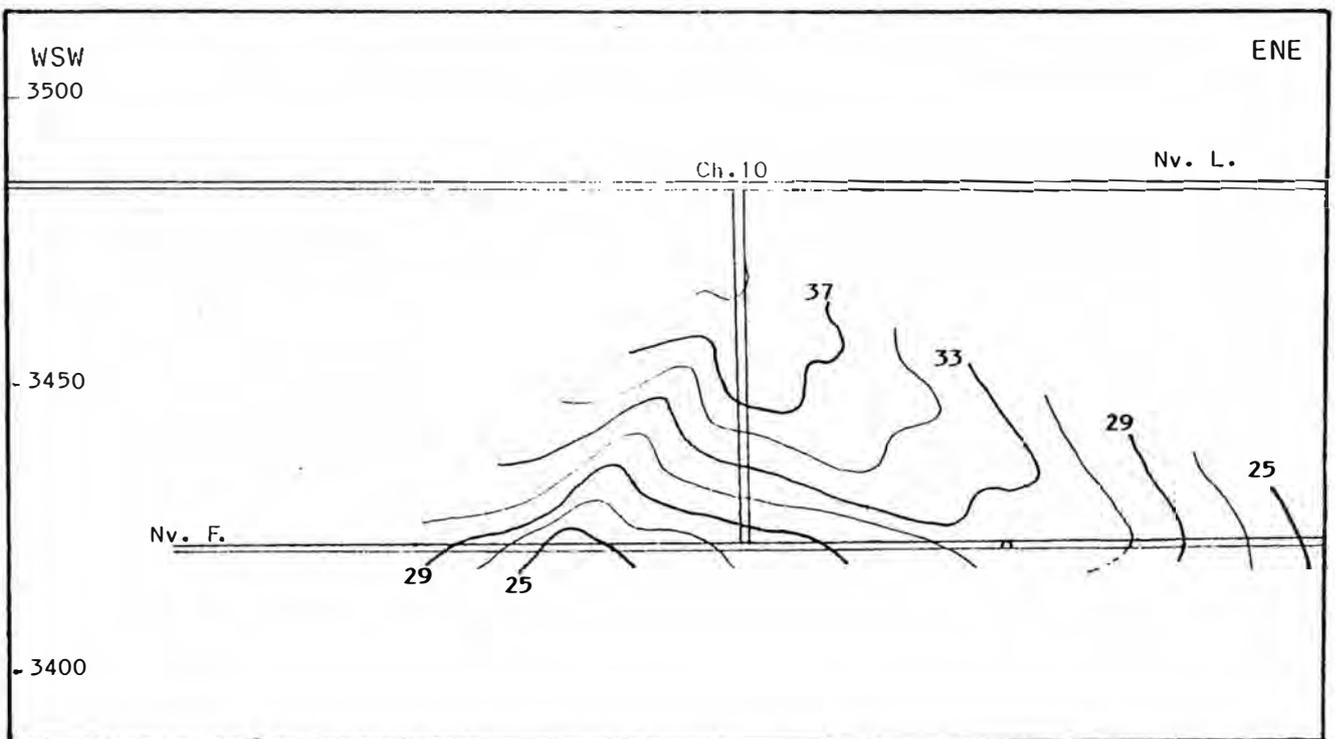
S.L.C. DE ACUMULACION DE AG  
VETA "A"

FIG.34



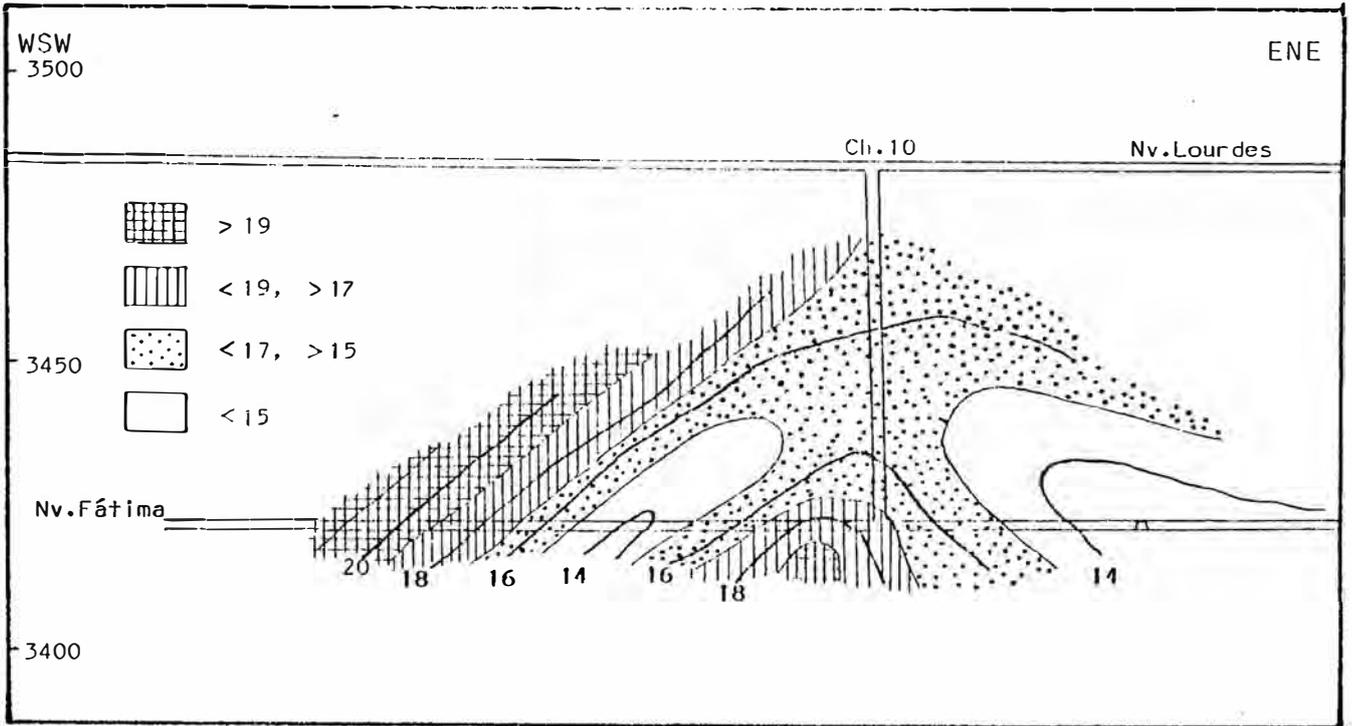
S.L.C. DE POTENCIAS  
VETA "Z"

FIG. 35



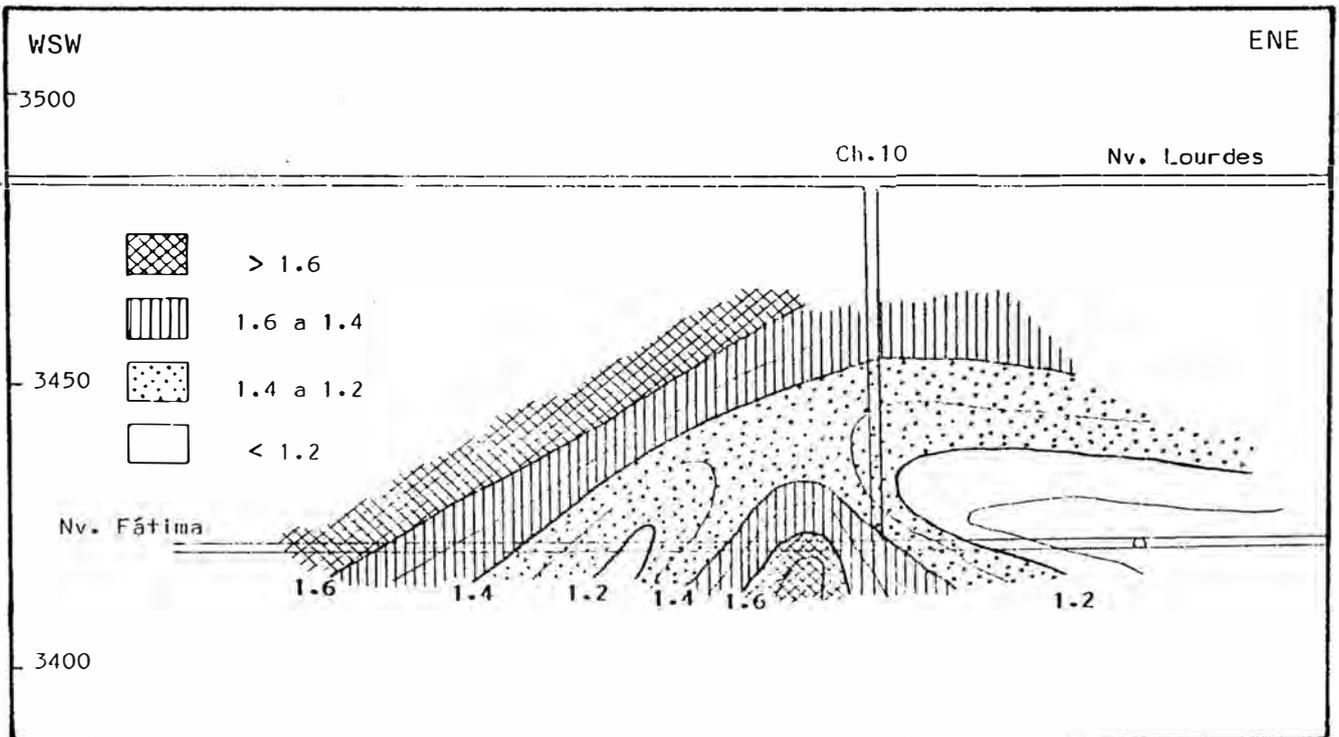
S.L.C. CONTORNOS ESTRUCTURALES  
VETA "Z"

FIG. 36



S.L.C. DE ACUMULACION DE Cu  
VETA "Z"

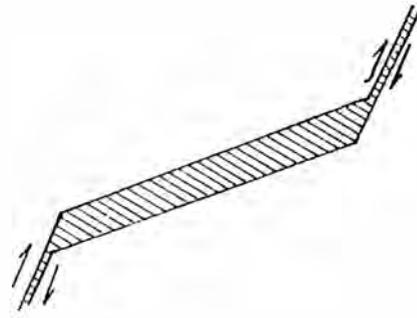
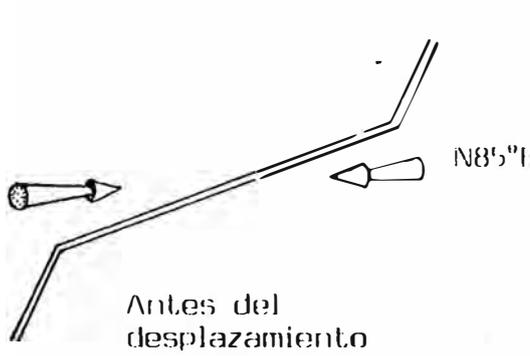
FIG. 37



S.L.C. DE ACUMULACION DE Ag  
VETA "Z"

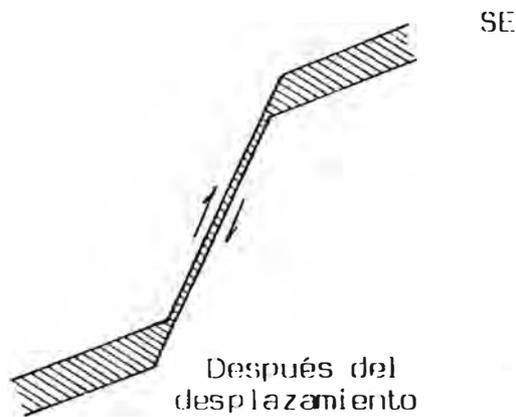
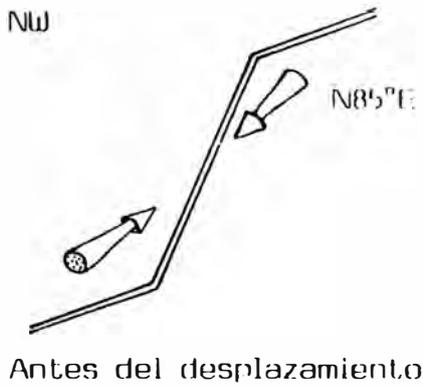
FIG. 38

VISTA EN PLANTA



Ensanchamiento en zonas de rumbo (sub-)paralelo a la dirección de compresión.

SECCION VERTICAL TRANSVERSAL



Ensanchamiento en zonas de menor buzamiento



Dirección de compresión tectónica

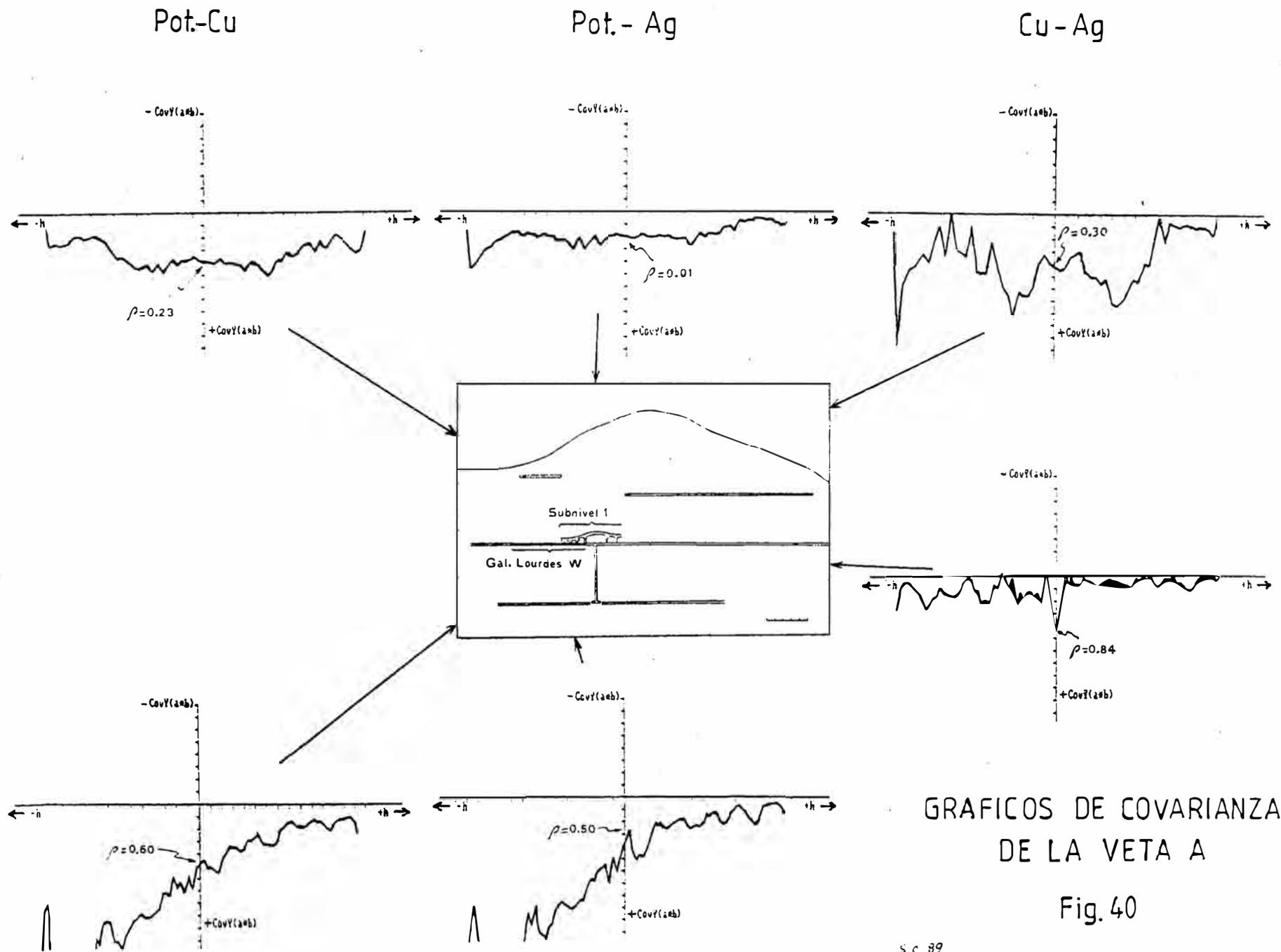


Desplazamiento relativo de las cajas de la falla



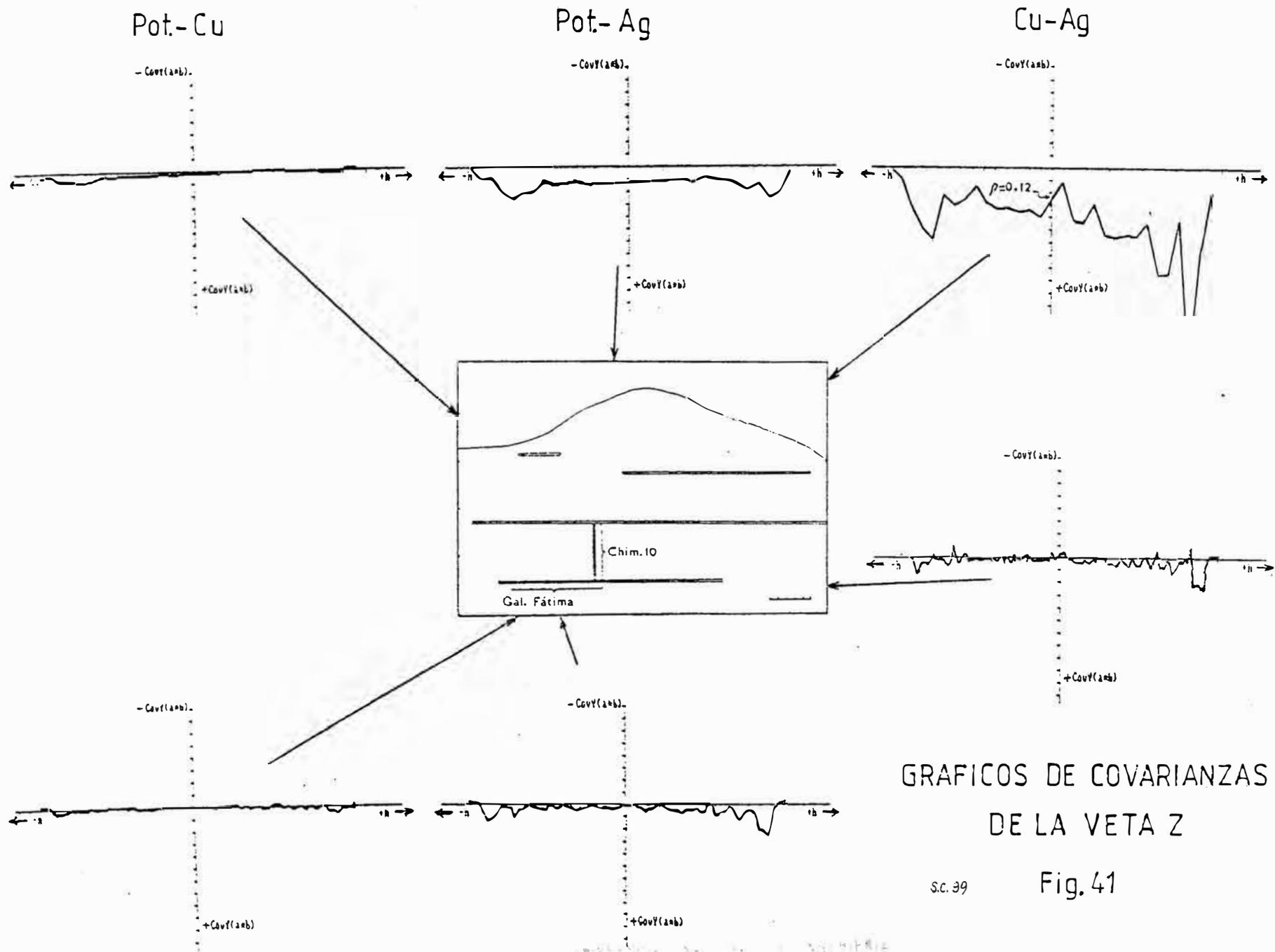
Relleno de la veta

**Fig.39:** Representación esquemática de la relación entre el rumbo-buzamiento y el ensanchamiento o adelgazamiento de una estructura de cizalla dextral. (ESQUEMA ADAPTADO A LAS CARACTERÍSTICAS DE LA VETA A)



GRAFICOS DE COVARIANZAS DE LA VETA A

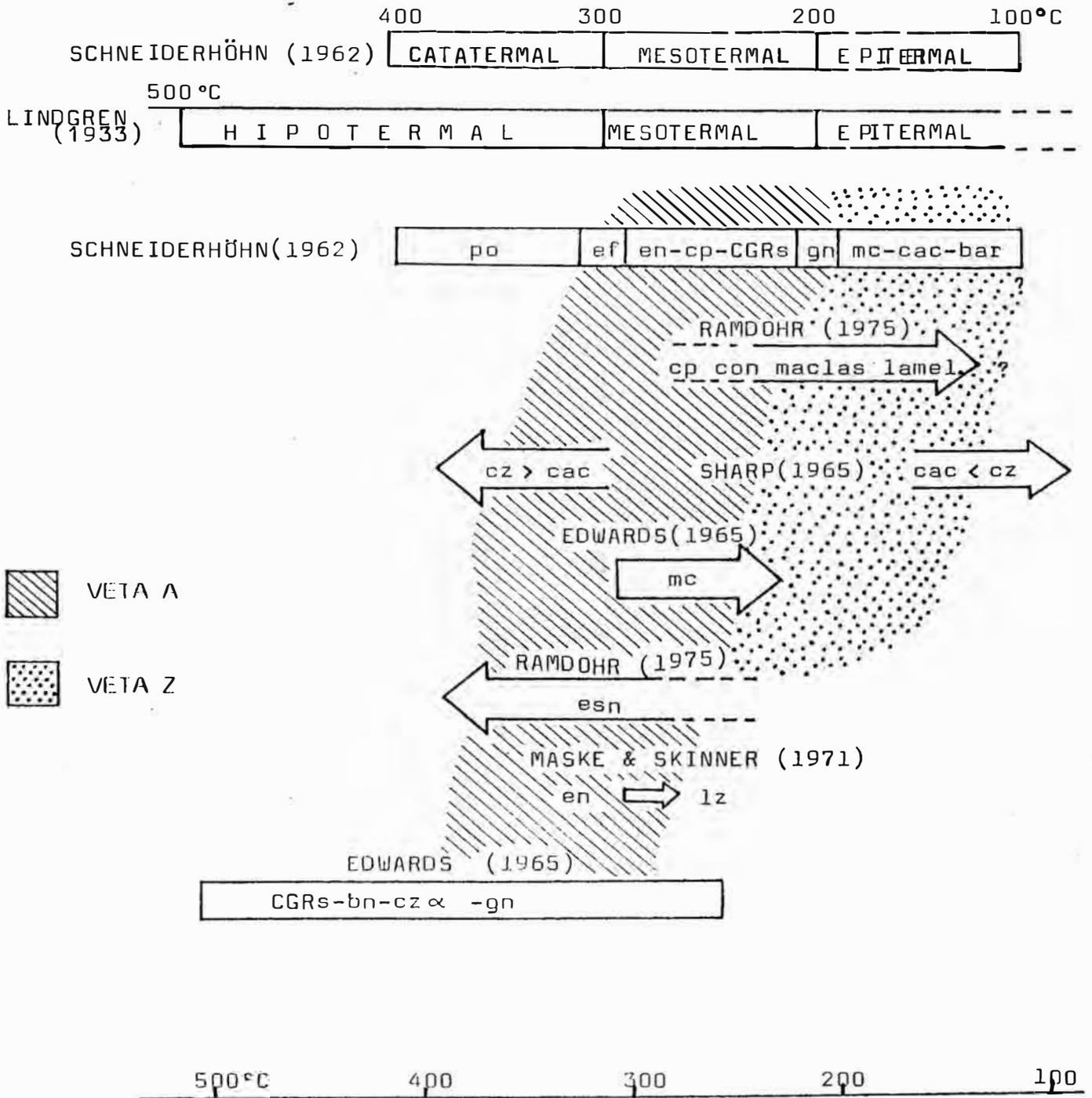
Fig.40



GRAFICOS DE COVARIANZAS  
DE LA VETA Z

S.C. 39

Fig. 41



ESTIMACION DEL RANGO DE TEMPERATURA DE LAS VETAS "A" Y "Z"  
MINA BELLA UNION

Según CANCHAYA (1987c)

Fig.42

CURVAS DE ESTABILIDAD DE VARIOS SULFUROS EN EL DIAGRAMA  
 -Log  $f_{S_2}$  vs. T. Mostrando la posible evolución de la mineralización (↖) en la Veta A, mina Bella Unión

Según CANCHAYA (1985)

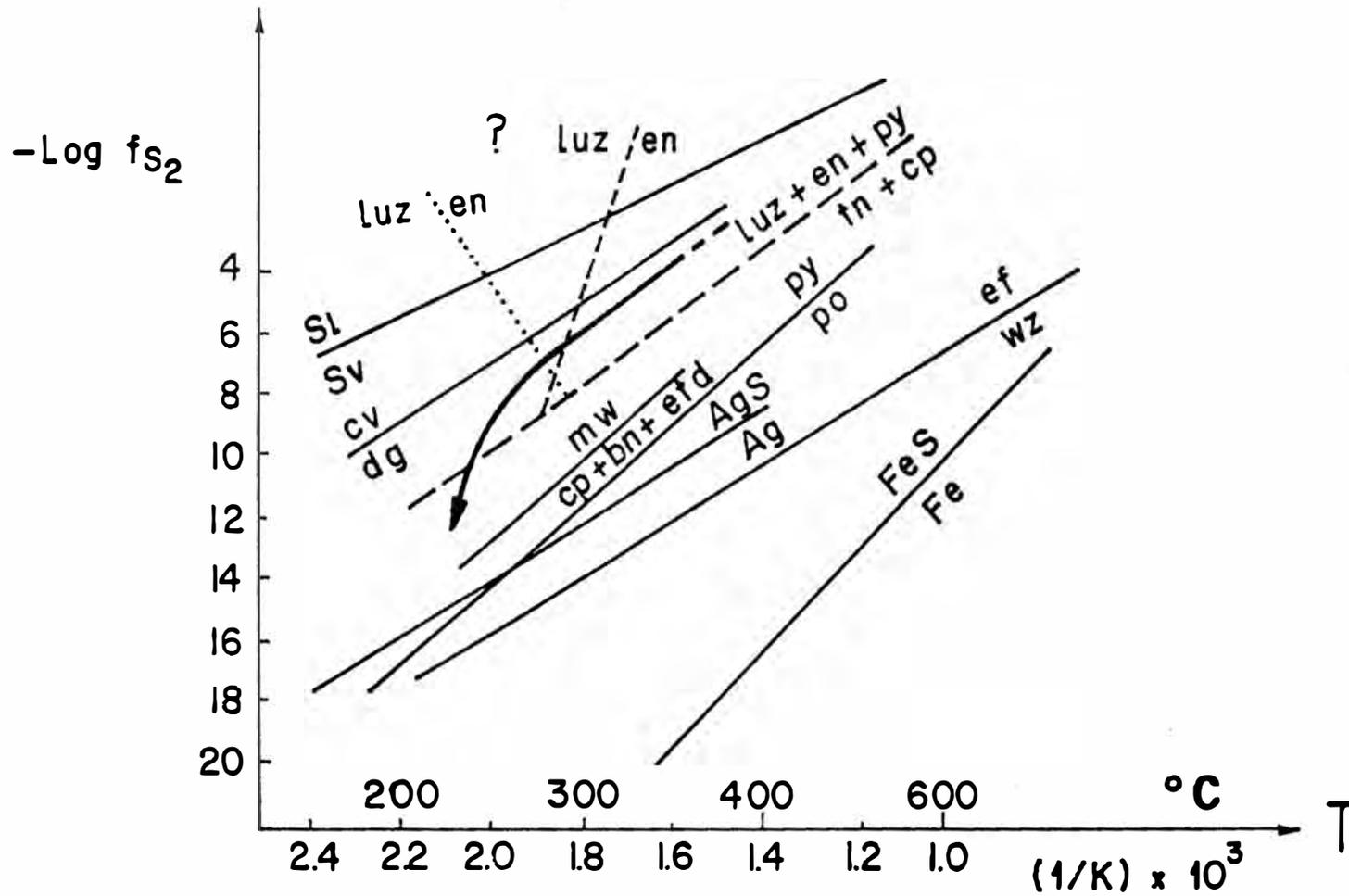
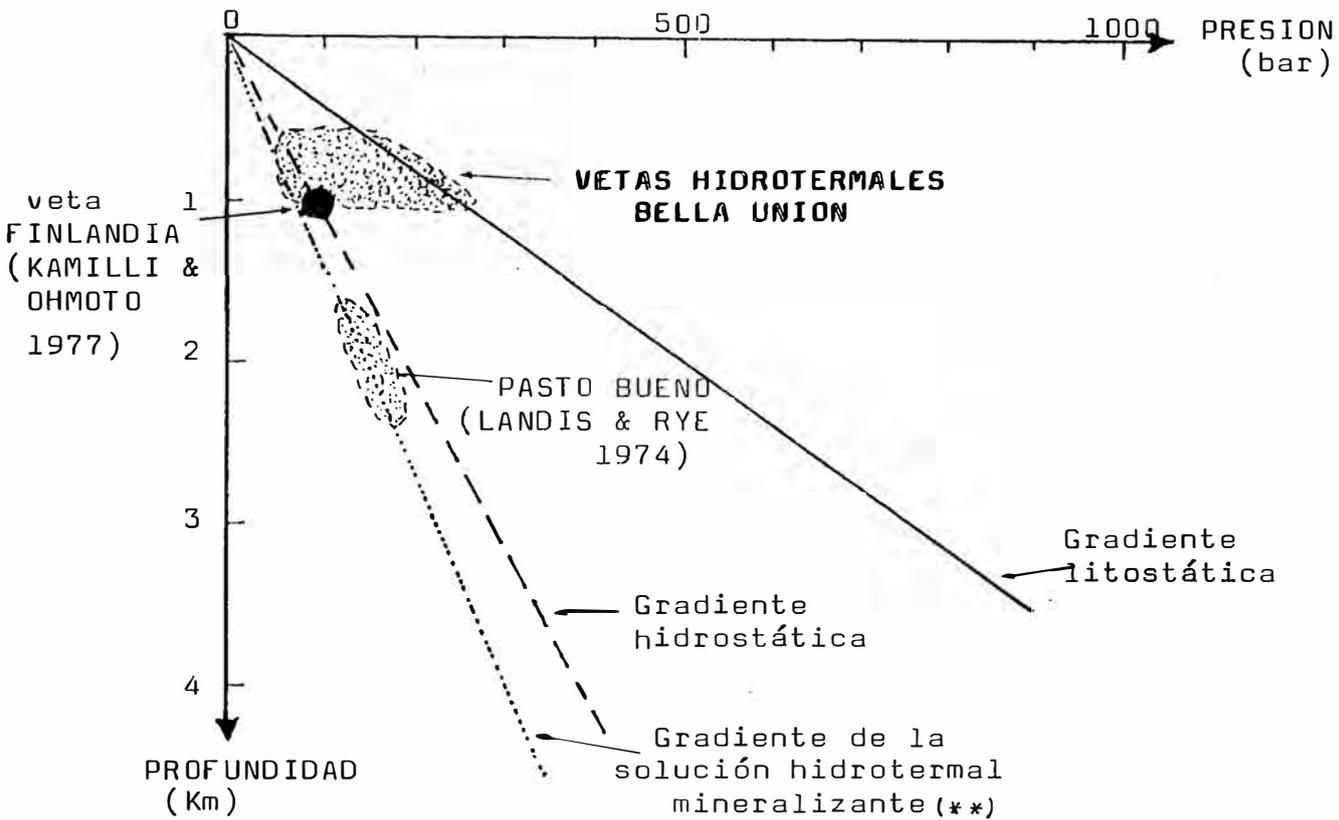


Fig. 43



	<u>PRESION DE FORMACION</u>	
	<u>MINIMA</u>	<u>MAXIMA</u>
-SUPERFICIE DE EROSION "PUNA"	3800 m	
-Más pila sedimentaria y volcánica	Mínima +200m Máxima +700m	4000 m 4500 m
-Cota actual promedio de las vetas hidrotermales	3500m	
-Profundidad de formación	500m	1000m
-PRESION LITOSTATICA (*)	140bar	280bar
-PRESION HIDROSTATICA (***)	50bar	100bar

(\*) Para una roca con densidad  $2.6 \text{ g/cm}^3$

(\*\*) Para una solución mineralizante con  $0.8 \text{ g/cm}^3$

(\*\*\*) Presión de agua

**ESTIMACION DE LA PROFUNDIDAD DE FORMACION DE LAS VETAS "A" Y "Z" DE LA MINA BELLA UNION**

Según CANCHAYA (1987c)

Fig.44

### 5.3. MANTOS

Con la información estratigráfica y geoquímica con que se cuenta actualmente, aún no es posible establecer una interpretación genética definitiva de los yacimientos estratoligados de Hualgayoc; sin embargo los estudios de campo, mineralógicos y geoquímicos, realizados en el último lustro, permiten descartar interpretaciones anteriores, fundamentalmente las epigenéticas.

#### 5.3.1. Significado de los rasgos sedimentarios de los horizontes con mineral

Ya fue descrita la petrología de las rocas sedimentarias (3.2.3.) que ocurren en la mina, en especial la roca de caja de los mantos (4.2.2.) Esta consiste predominantemente de sedimentos calcáreos con contenidos menores de arcilla. Ocasionalmente ocurren también componentes psammíticos. Predominan las calizas margosas y lutáceas; sedimentos puramente calcáreos son escasos. La existencia de horizontes dolomíticos no ha sido comprobada. En el caso de las rocas calcáreas se trata por lo general de calizas nerítico-biogénicas, inorgánicas, principalmente micríticas, en menor proporción biomicríticas y bioclásticas.

Se reconocen pequeños lentos bituminosos e impregnaciones de materia orgánica, así como chert asociado con sulfuros, especialmente en los mantos de Pb-Zn. Estas características se repiten en general en toda la secuencia sedimentaria albiana de Hualgayoc.

Las variaciones de facies, desde clásticos finos hasta carbonatos, indican que los sedimentos se han formado en un ambiente de aguas someras (zona de transgresión del mar albiano). Además es muy probable que la formación de dichos sedimentos haya ocurrido en un mar relativamente caliente, lo que propició la formación de calcarenitas.

La ocurrencia de material bituminoso, especialmente en la formación Pariatambo, nos lleva a pensar en un mar relativamente cerrado, con condiciones principalmente reductoras; en esta formación predomina una facies sapropel-chertosa: sedimentos calcoarcillosos+material orgánico+FeS<sub>2</sub>+chert.

Una característica digna de resaltar es la granulometría fina de los minerales que ocurren en los mantos. Esta textura se pudo originar como resultado de una proliferación de núcleos de cristalización al momento de la solidificación; lo cual inhibió el desarrollo de grandes cristales, ya que en tales condiciones la disputa del espacio disponible es intensa. Algunos nidos de cristales de granulometría mayor, que ocurren local o excepcionalmente, pueden haberse desarrollado en zonas con menos núcleos de cristalización o en fracturas, diaclasas, etc., bajo el efecto de la tensión superficial de la solución confinada.

Las texturas sedimentarias afectan tanto a las menas como a las gangas, lo cual es un indicio de que ambos componentes se han formado durante el mismo proceso sedimentario. El ordenamiento subparalelo entre agregados de sulfuros y gangas (v.gr. Manto 8-W) se pudo originar por cristalización fraccionada ("Sammelkristallisation").

En algunos casos (Mantos Don Paco, Tornamesa) se observa una estrecha asociación entre sulfuros, el material orgánico y el chert. En el caso del chert, se trata de cuarzo microcristalino, el cual con frecuencia presenta finas diseminaciones de hematita. No se ha encontrado indicios de radiolarios ni diatomeas, de tal manera que la posibilidad de un origen orgánico del chert puede ser descartada; es más probable que el chert sea de formación inorgánica y sinsedimentaria, originándose a partir de geles silíceos de filiación volcánica exhalativa. La presencia de algunas capas tufáceas interestratificadas en la pila sedimentaria de la zona, respaldan esta hipótesis. En Colquijirca LEHNE & AMSTUTZ (1978 a) también reportaron chert de origen inorgánico sinsedimentario.

La estrecha relación de los sulfuros con el material orgánico indica un enriquecimiento organogenico de los elementos en un medio anaeróbico, en el cual, tanto la concentración como la precipitación de dichos elementos debe haber sido propiciada por microorganismos. Dicho material orgánico tiene una importancia adicional. Bajo el microscopio estos organismos son isótropos y de reflectancia extremadamente baja, lo cual indica que se trata sólo de un material bituminoso consolidado que no ha sufrido influencias de alta temperatura ya que de haber sido así, el grado de coalificación se habría incrementado y con ello también la reflectancia del material bituminoso; así como, debido a su cristalización, la anisotropía óptica. Esto descarta cualquier interpretación que involucre temperatura y presión altas, como es el caso del reemplazamiento metasomático.

### 5.3.2. Ubicación estratigráfica de los mantos

Los yacimientos estratoligados de Hualgayoc se ubican en una potente serie de edad albiana, que comprende las formaciones Inca, Chulec y Pariatambo y la base del Yumagual (Grupo Pulluicana). La ubicación estratigráfica de los mantos en Bella Unión es aún controversial. No se ha encontrado ningún fósil guía y las comparaciones litológicas no son suficientes. Al parecer podría tratarse de secuencias del Chulec o en todo caso de la base del Yumagual (Ver fig.5). Al otro flanco del Río Pílancones, al frente de la mina, afloran estratos de la formación Chulec, sin embargo, se postula que por el Río Pílancones estaría pasando una gran falla que podría haber desplazado los paquetes sedimentarios complicando su correlación.

En la figura 5, los mantos de Bella Unión se ubican tentativamente en la base de la formación Yumagual y al techo de la formación Pariatambo. Regionalmente se correlacionarían con los mantos de las minas las Coloradas y Arpón.

Se hace necesario un estudio estratigráfico más detallado a fin de establecer la ubicación estratigráfica de estos mantos.

### 5.3.3. Formación de los mantos

La asociación espacial de algunos mantos con los intrusivos, condujo a ERICKSEN et al. (1956), CANCHAYA & TUMIALAN (1976), TUMIALAN & MARTINEZ (1978), PAREDES (1979), HUDSON et al. (1980) y CABOS (1981, 1982) a postular que estos yacimientos se formaron por reemplazamiento metasomático de horizontes calcáreos favorables

COBBING et al. (1981) también postula un origen metasomático, aunque no descarta la posibilidad de un origen singenético. GABELMAN (1976) es de la opinión que los mantos de Hualgayoc se debieron haber formado en condiciones mesotermales.

Todas estas interpretaciones epigenéticas están en contradicción con la mineralogía, estructura y texturas que se observan en los mantos (ver cuadros 2 y 3). Además no existe ninguna asociación genética directa entre estos yacimientos y las vetas hidrotermal-magmáticas.

Las observaciones de campo, así como las investigaciones mineralógicas y petrográficas sustentan un origen sinsedimentario, con cierta filiación volcánica, de los mantos de Bella Unión. Investigaciones similares a nivel de todo el distrito minero llegan a las mismas conclusiones (CANCHAYA 1990; CANCHAYA et al. 1989).

Con relación a la actividad volcánica asociada, hay algunas observaciones que anotar. En el presente trabajo estamos señalando la ubicación del foco en la franja eugeosinclinal (ver figura 45). PAREDES (1980) postula la existencia de una franja volcánica, cuyos dos focos más importantes los ubica en el emplazamiento actual de los Intrusivos Hualgayoc (facies proximal) y Tanta Huatay (facies distal); pretende explicar con ello, no sólo la formación de los yacimientos circundantes, sino también el desarrollo de una cuenca albiana especial, en la cual predominaron las condiciones volcánicas. Además presenta una nueva columna estratigráfica con tres nuevas formaciones.

Según PAREDES (op cit.) durante el proceso volcánico ocurrieron fallas, deformaciones y la intrusión de domos volcánicos en los centros volcánicos. Sin embargo, en la zona estudiada,

sólo en el cerro Hualgayoc, 2.5 Kms al noreste del poblado del mismo nombre (y por lo tanto muy lejos de la ocurrencia de los mantos) se reconoce la única estructura domática, la cual se encuentra recubriendo en parte una superficie de erosión terciaria. Además el modelo de PAREDES (op cit.) fué planteado sobre la base de un estudio de campo circunscrito a la parte sur del distrito por lo que su extrapolación a la zona norte tropieza con una serie de contradicciones.

Es pertinente señalar que muchos colegas suelen confundir los horizontes tufáceos con sedimentos pelíticos o panizo. El problema es aún más difícil cuando se trata de sedimentos híbridos, de origen volvánico-sedimentario. Investigaciones microscópicas y difractométricas de este tipo de rocas conflictivas (CANCHAYA 1990, CANCHAYA et al. 1989) indican que en Hualgayoc la ocurrencia de sedimentos volcánicos y lavas es subordinada; así mismo, hasta la fecha no se ha reportado chimeneas ni otros canales de alimentación.

Las características geológicas de los sedimentos albianos en Hualgayoc indican con más propiedad, una formación sedimentaria calco-detrítica normal, en condiciones de relativa tranquilidad en la cual manifestaciones volcánicas fueron subordinadas.

Con relación a los yacimientos discordantes en Hualgayoc, PAREDES (op cit.) opina que éstos se habrían formado durante el mismo proceso volcánico en forma de mineralización tipo "stockwork", relleno de fracturas o fallas; ubicándose principalmente en el techo de los domos volcánicos. En este trabajo tal como se discutió en el párrafo 5.2.4. , la formación de estos yacimientos se plantea en el marco del magmatismo post-orogénico del ciclo andino, es decir en el Terciario.

Los sedimentos albianos de Hualgayoc son correlacionables con las vulcanitas del grupo Lomas y con las de la parte inferior del grupo Lancones (ver 2.6.). La figura 45 nos muestra la interdigitación de los sedimentos calcáreos albianos con las facies tufáceas más occidentales; mientras que la fig. 46 esquematiza la relación paleográfica entre la franja eugeosinclinal y la mioeugeosinclinal durante el Albiano medio e inferior.

La ocurrencia de chert hematítico es de gran significado. Según CARPENTER (1976) lodos con óxidos de Fe y chert pueden encontrarse a una distancia de hasta 200 Kms de los centros volcánicos (en este caso la zona eugeosinclinal).

Como ya se mencionó en el párrafo 4.2.2., en los mantos de Pb-Zn se observa una serie de estructuras sedimentarias, las cuales indican claramente su origen sinsedimentario. Tales características

son menos frecuentes en los mantos de py-cz, en los cuales las texturas y estructuras estarían insinuando una filiación volcánica más estrecha. Con respecto a estos mantos se puede suponer una formación submarina en condiciones de baja temperatura, con aporte de geles de sulfuros metálicos (incluyendo geles de SiO<sub>2</sub>) provenientes de exhalaciones volcánicas.

Hay que resaltar la ocurrencia de phillipsita en las capas tufáceas que por lo general ocurren al techo de los mantos de py-cz (ver 4.2.2.2.). Normalmente las zeolitas de origen submarino se forman a bajas presiones (0.7 kb) y temperaturas, por lo general como producto de devitrificación de vidrio volcánico (BOLES 1981).

En conclusión, a la luz del presente estudio, un origen sedimentario exhalativo de los mantos de Bella Unión parece ser el más probable. Según la clasificación de PLIMER (1978) los mantos de Bella Unión se pueden clasificar como "distales", mientras que siguiendo el esquema de AMSTUIZ (1976), como cripto o televolcánicos.

La figura 47 muestra un perfil esquemático de la cuenca occidental para el norte y centro del Perú durante el Albiano, el cual muestra las diversas condiciones paleogeográficas durante la formación de los mantos y su distribución y clasificación en relación a su ubicación en la cuenca.

#### 5.3.4. Correlación con otras ocurrencias similares

En el país son numerosos los yacimientos estratoligados que han sido interpretados como singenéticos: Metalotectos Santa, Pucará, Copará, etc. (ver párrafo 5.1). Ocurrencias similares se han reportado, especialmente en los últimos lustros, en la serie calcárea albiana del norte de país.

CANCHAYA (1990) y CANCHAYA et al.(1989) describen varios yacimientos estratoligados en la secuencia albiana de Hualgayoc. El cuadro 2 resume las principales características de estos importantes yacimientos, así como los ejemplos más representativos. En dicho cuadro se subdividen a los mantos en tres tipos: a. Mantos de ef-gn, b. Mantos de cz-py y c. Mantos complejos. El ejemplo más típico del primer tipo es el Manto 8-W de la Mina Bella Unión; también el manto Pilacones, 1 Km al este de la zona de estudio, en este manto se observan brechas intraformacionales, así como diminutos framboides de pirita (foto 20) diseminados en materia orgánica, especialmente cuando ésta rellena estilolitos (foto 27), relativamente frecuentes en dicho manto.

Procesos ulteriores de blastesis han afectado dicha pirita, transformando los agregados framboidales primigenios en cristales mayores, por lo general cuboides; se observa también intercrecimientos zonados entre pirita y ganga, los cuales representan etapas transicionales del mencionado proceso de blastesis (fotos 20 y 21).

También es importante señalar, la difundida ocurrencia de una esfalerita fluorescente, circunscrita sólo a los yacimientos estratoligados y quizás también a algunos intracársticos. Se trata de una esfalerita de grano fino, que se caracteriza por su fluorescencia amarillo naranja, bajo el efecto de la radiación ultravioleta de onda larga; esta esfalerita, reconocida por primera vez en los mantos 8-W y 10-W de la Mina Bella Unión también se le encuentra en el Manto Fátima de la mina El Dorado (ver 4.2.2.1.).

Muy próximos a la mina Bella Unión, entre y 2 Kms., ocurren los importantes mantos de las minas Carolina y Las Coloradas, los cuales ya fueron mencionados en el párrafo 5.3.2. El manto Arpón de la Mina Carolina, es el mejor ejemplo del tipo Mantos Complejos, lamentablemente su geología y características han sido poco difundidas, a pesar de ser el manto con el mayor potencial del distrito y también con el más extenso reconocimiento subterráneo. por otro lado, en las Coloradas, el manto principal es un típico manto de cz-py, que viene siendo explotado por Au en su zona de oxidación, en la cual los valores del Au primario han sido incrementados gracias al proceso de alteración supergénica.

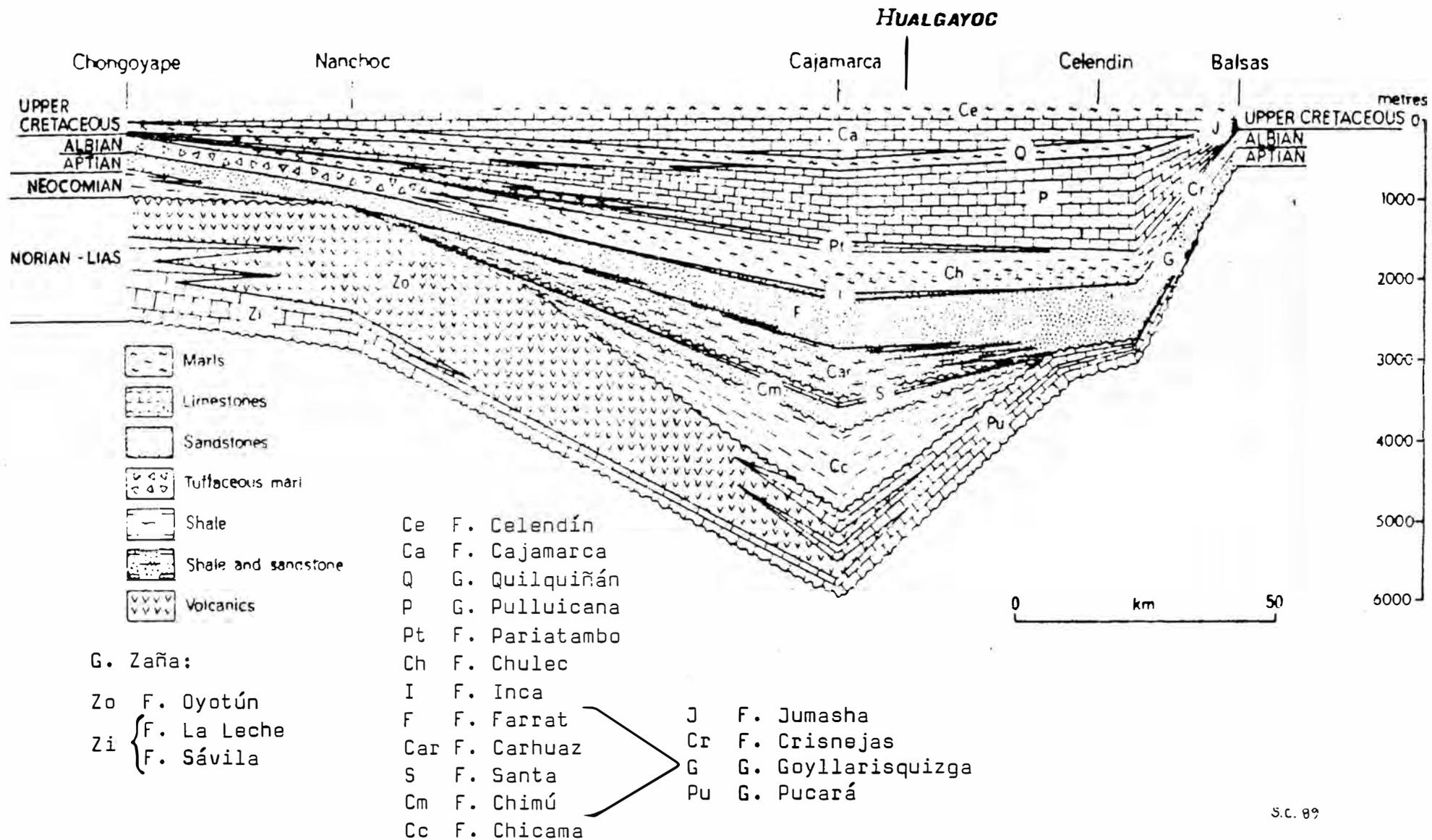
Al sur del distrito también ocurren una serie de mantos, especialmente los ubicados en los flancos del Cañón del río Hualgayoc. Allí tenemos los Mantos Lourdes, Fátima, Lola (todos ellos clasificados como complejos) y también los mantos de las minas Mansita y Morocha, en las cuales principalmente ocurren mantos de cz-py, los que también ocurren en algunos horizontes de la Mina Lola.

Finalmente, hacia el norte del Intrusivo Hualgayoc se tienen los mantos la Argolla (del tipo ef-gn) que se reconocen en las Minas Los Negros y Santa Marta.

En todas estas ocurrencias hay claras muestras de la estrecha relación entre los sulfuros y los demás componentes de la roca; tan es así que los rasgos sedimentarios y diagenéticos los afectan y comprometen por igual. Además presentan características comunes (ver cuadro 2) así como una cierta filiación volcánica distal, manifestada principalmente por la ocurrencia de delgados horizontes tufáceos asociados a la mayor parte de éstos mantos.

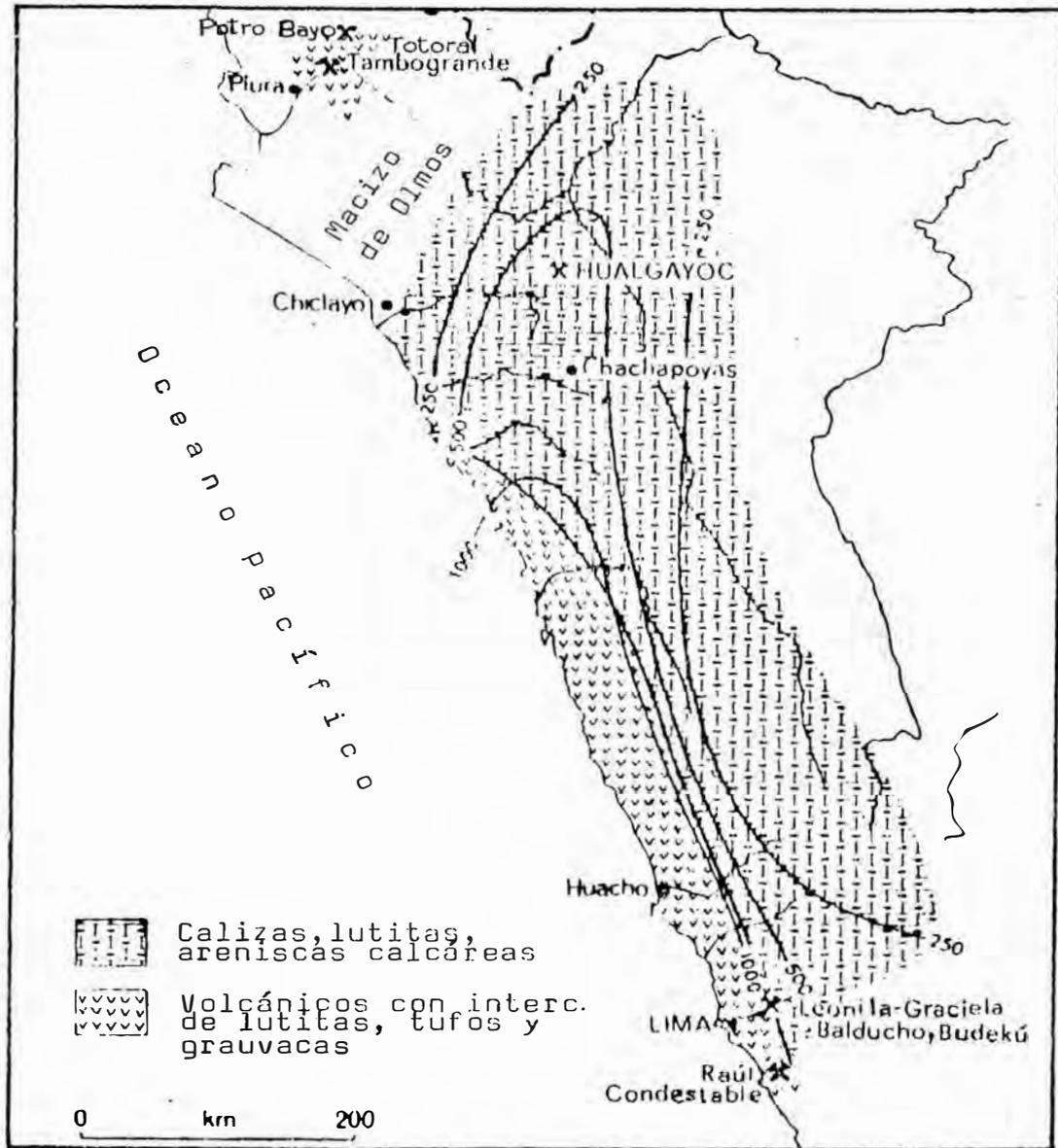
A escala más regional también se sabe de la ocurrencia de yacimientos similares, lo cual plantea enormes posibilidades potenciales de encontrar nuevos yacimientos estratoligados albianos. Lamentablemente tales ocurrencias no han sido estudiadas lo suficiente como para intentar una correlación estratigráfica; sin embargo a continuación mencionaremos algunas localidades: Muqui, Guardián Diana, San Miguel, Hilarión, Santa Clara, Santander, Contonga y Manto Delicias, Carhuacayán, Flor de Habas, Magistral (Ancash); Cordillera de Huallanca: Pravda, Omega, Excelsior, Danubio, Carlos; Pucarrajo, Sinchi Roca, Riqueza, Atalaya, etc.

Al final de una exposición que el autor realizó sobre el tema, en el Instituto Petrográfico y Mineralógico de la Universidad de Heidelberg, por el año 1981, su Director el Profesor Doctor Amstutz señaló que la ocurrencia de estos mantos en Hualgayoc significaba un nuevo "eslabón de la cadena" de yacimientos estratoligados en el Perú. Investigaciones más detalladas nos permitirán establecer las características geológicas de este nuevo metalotecto de yacimientos estratoligados en la franja calcárea andina, el cual se sumaría a los ya conocidos: Pucará (Triásico-Jurásico) y Santa (cretáceo inferior).



**CORRELACION ESTRATIGRAFICA DE LAS UNIDADES MESOZOICAS EN LA ZONA NORTE DEL PERU**  
Según COBBING et al. (1981)

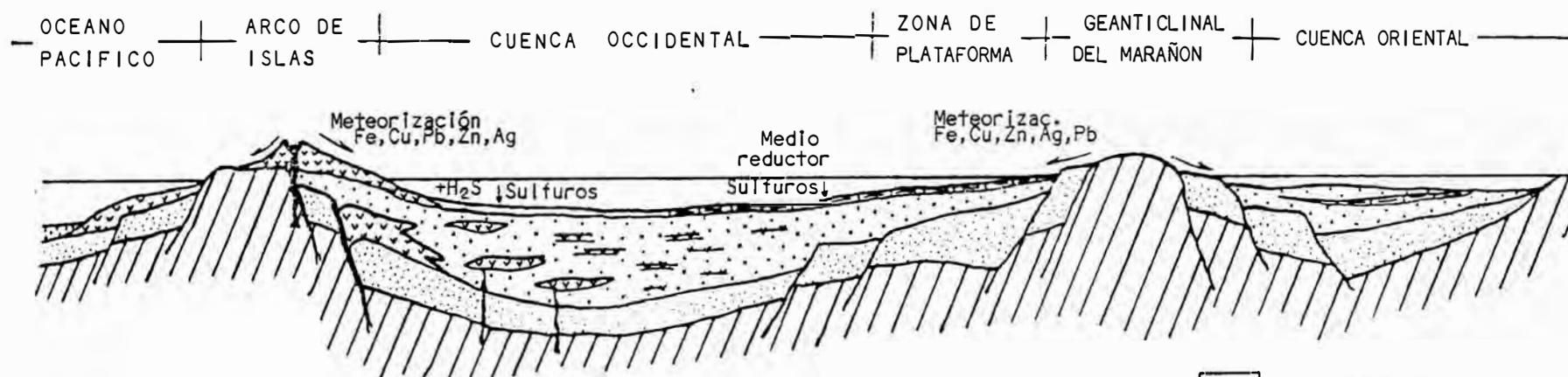
Fig. 45



**MAPA LITOLÓGICO Y DE ISOPACAS DEL ALBIANO INFERIOR A MEDIO EN EL NORTE Y CENTRO DEL PERÚ.** Modificado a partir de COBBING et al. (1981).

S.C. 89

Fig. 46



ZONA :		EUGEOSINCLINAL	MIOGEO SINCLINAL		
Tipos de Yacimientos Estratoligados	Según PLIMER:	PROXIMAL	DISTAL		VOLCANICOS
	Según AMSTUTZ:	INTRA- PERI- O APOVOLCANICO	CRIPTO- O TELEVOLCANICO	SOLO EROSION/SEDIMENTACION	LENTES DE TUFOS
EJEMPLOS	Zona Norte	Cu, Fe, Ba: Tambogrande, Potrobayo, Totoral	Fe, Pb, Zn: Hualanca y <u>HUALGAYOC</u>	Cu: Fm. Farrat (Hualgayoc)	CALIZA
	Zona Central	Cu, Fe: Raúl, Condestable, Los Icas Ba, Zn: Leonila-Graciela, Balducho, Budekú			CALIZA BITUMINOSA
	ROCA DE CAJA	Volcanitas, (layas en parte tufos) con intercalaciones de arcillas y grauwacas	Sedimentos calcáreos, clásticos, lutáceos con chert y materia orgánica	Sedimentos gresopeliticos	SEDIMENTOS GRESO-PELITICOS
					UNIDAD TRIASICO-JURASICA
					BASAMENTO PRE-MESOZOICO
					CHIMENEA VOLCANICA

SECCION ESQUEMATICA DE LA CUENCA OCCIDENTAL EN EL NORTE Y CENTRO DEL PERU, EN EL ALBIANO, MOSTRANDO DIFERENTES CONDICIONES PALEOGEOGRAFICAS DURANTE LA FORMACION DE YACIMIENTOS ESTRATOLIGADOS

Sobre la base del perfil paleogeográfico de MEGARD (1979)

S.C. 69

Fig. 47

## 6. RECOMENDACIONES

### 6.1. A NIVEL LOCAL

El frente de la veta A, en el nivel de mayor reconocimiento (Lourdes), se encontraba, al momento de completar el mapeo subterráneo (Agosto de 1980), a unos 200 metros del límite oeste de la concesión Don Paco lo cual plantea un gran potencial de reservas restantes dentro de los linderos actuales de la Mina.

Por otro lado la mencionada veta tiene una extensión que transpone los límites de la concesión Don Paco ( ver párrafo 4.2.1.1.) completando un afloramiento de 900 m. de longitud, llegando hasta el Cerro La Eme. Sería recomendable obtener el derecho de los vecinos para continuar la exploración y posterior explotación de esta estructura.

La veta A es de potencia variable, con zonas de ensanchamiento y angostamiento sucesivos (veta en rosario), ya que se trata de una veta de cizalla, la cual además es inversa y dextral; en el párrafo 5.2.3.1. se concluye que esta veta presentará sus tramos más potentes, tanto en las zonas de menor buzamiento, como en las de rumbos subparalelos a la dirección de comprensión tectónica (N85°E); se espera además que éstas zonas potentes correspondan a su vez con zonas ricas en Cu y Ag, en razón de la moderada y algunas veces hasta alta correlación lineal entre la potencia y estos dos elementos, ver cuadro 13. Estas importantes conclusiones deben ser tomadas muy en cuenta al momento de guiar el desarrollo de las labores y en la planificación del minado.

El estudio de las S.L.C. nos indica dos zonas prospectivas muy interesantes en la mina: la zona intermedia entre los niveles Lourdes y Fátima, en especial la parte occidental hacia el W de la chimenea 10, y el extremo oriental hacia el E de las bocaminas de los niveles Juan y Lourdes; es por ello recomendable reabrir los antiguos niveles Carmelita (3475) y Loza (3420) (ver figura 9) para cortar, no sólo la veta A, sino también la Z. Las posibilidades de encontrar estructuras interesantes, se ven reforzadas por el hecho de que, en esta zona la roca de caja es calcárea, lo cual, según parece, favorece el enriquecimiento de Cu y Ag, como lo evidencia la gran anomalía, mostrada por las secciones longitudinales de contornos respectivas, en la zona occidental de la veta A (figs. 33 y 34).

Sería recomendable muestrear la veta Z por Zn y Pb, aparte del Cu y Ag, en razón de su contenido de esfalerita y galena, y considerar con ello la posibilidad de elevar el contenido metálico del concentrado

El hecho de que la veta Z sea subparalela y vecina a la A, se puede aprovechar para poder reconocer mejor esta estructura, tal como

se a hecho en los subniveles F-10 e Intermedio. Aparte de estas labores esta estructura sólo ha sido reconocida en el nivel Fátima y en la Chimenea 10 hasta la altura de nivel Lourdes. Es necesario mayor prospección, especialmente al oeste y por debajo del cruce Fátima W, ya que las S.L.C. indican cierta tendencia al enriquecimiento en esas direcciones (figs. 37 y 38). Y aunque dichas S.L.C. indican un empobrecimiento hacia el Este, sin embargo la reapertura de los niveles Loza y Carmelita, aparte de cortar a la veta A, deben cortar también a la Z, con lo cual se comprobaría su extensión oriental, tal como es sugerida por su posible afloramiento en esa zona (fig. 9).

Si se llegara a cortar algunas de estas vetas en dichos niveles antiguos, o en uno nuevo equivalente, esto significaría obviamente un aumento cualitativo de las reservas de estas vetas, ya que ambos niveles, en especial el Loza, se encuentran a cotas muy bajas y con un buen empamane.

En este trabajo, el estudio geoestadístico sólo ha sido empleado para efectos de la ubicación y evaluación global de las reservas; sin embargo el análisis estructural realizado podría ser complementado y consecuentemente explotado para resolver una serie de problemas. Por ejemplo: determinación de la distancia óptima de muestreo, selección de reservas, interconexión armónica entre la cadencia de explotación, la explotación selectiva y el beneficio o concentración del mineral, determinación precisa de la geometría y fronteras del yacimiento (fondo estructural, fondo mineralógico, extensión lateral, etc.), análisis de tendencias (krigeage universal), interpretaciones genéticas, etc.

Se recomienda explorar y desarrollar más los mantos, especialmente a partir de las labores subterráneas que ya los interceptaron. Con relación a los mantos, en superficie la zona más prospectiva viene a ser la ubicada a unos 100 m al NW del Stock Fátima, lugar donde se proyecta el afloramiento de la mayor parte de los mantos reconocidos en las labores subterráneas. Lamentablemente la zona se encuentra cubierta por terrenos de cultivo por lo que la exploración deberá realizarse por geofísica o por perforación.

## 6.2. A NIVEL DEL DISTRITO MINERO DE HUALGAYOC

La posición estratigráfica de los mantos de la Mina Bella Unión no ha sido plenamente determinada. Con el conocimiento actual provisionalmente se les ubica en la base de la Formación Yumagual; sin embargo otros autores, entre ellos BORREDON (1982) sugieren que la mina se ubica en la Formación Pariatambo. La secuencia estratigráfica del distrito es más o menos conocida hacia el

sur del Río Pílancones; en la zona norte en cambio, no se ha realizado ninguna medición ni estudio detallado, lo cual se hace necesario, toda vez que no es posible extrapolar lo que se conoce en la zona sur debido a que el Río Pílancones parece haber sido controlado por una falla regional de gran desplazamiento. Se recomienda la medición de dos perfiles, uno a cada lado del mencionado río, aprovechando su encañonamiento y los desarrollos subterráneos de la Cía. Minera Carolina en el nivel Alfa. Esto sería de gran beneficio para la prospección y desarrollo de los cuerpos estratoligados de la zona incluyendo a los horizontes oxidados de la Mina Las Coloradas y aledañas.

En las vecindades de la mina se reconoció un par de afloramientos erráticos de tufos líticos, no deleznable, y al parecer concordantes con el paquete calcáreo. Una sección delgada de una muestra tomada en las inmediaciones del nivel Carmelita nos muestra una roca de composición andesítica, con textura porfirítica y matriz afanítica en parte cripto-cristalina (ver párrafo 3.2.2.). Se recomienda prospectar este tipo de ocurrencias ya que tienen relación con la hipótesis de una filiación volcánica distal de los cuerpos estratoligados del distrito.

La información, relativamente detallada, de las vetas hidrotermal-magmáticas "A" y "Z" que se entrega en este estudio, servirá de importante punto de partida, no sólo para el estudio de otras estructuras similares a nivel de todo el distrito, sino para compararlas con otras vetas de distinto origen: intracársticas (vetas Cañón 1 y 2, veta Pozos Ricos-Predilecta, veta 780-Pozos Ricos, etc.), o algunas vetas con relleno "per descensum" del Cerro Jesús (CANCHAYA et al. 1989).

### 6.3. A ESCALA REGIONAL

El carácter estratoligado y, de ser cierta, la interpretación singenética, plantean la posibilidad de encontrar nuevos mantos o cuerpos tabular-concordantes en otras localidades donde afloran horizontes albianos. Esta posibilidad no sólo está circunscrita a las facies clástico-calcáreas, sino también a las facies volcánicas de la misma edad en la franja eugeosinclinal.

Esto significa replantear la interpretación genética de una serie de ocurrencias, todas ellas con carácter netamente estratoligado; una veintena de las cuales han sido enumeradas en el párrafo 5.3.4. y comprenden los departamentos de Ancash, Huánuco y la Libertad.

El suscrito se encuentra profundizando el tema de los mantos de Hualgayoc, con el objetivo de definir el nuevo metalotecto, que se sumaría a los ya existentes (Santa, Copará, Pucará, etc.), lo cual redundaría en un aumento sustantivo de nuestras reservas potenciales de metálicos, ya que yacimientos de este tipo suelen ser por lo general de gran dimensión.

BIBLIOGRAFIA

- AMSTUTZ, G. C. (1956) A note on a peculiar association of copper with fossil plants in Central Perú.- Bol. Soc. geol. Perú, 30: 5-11.
- AMSTUTZ, G. C. (1960) Some basic concepts and thoughts on the space-time-analysis of rocks and mineral deposits in orogenic belts.- Geol. Rdsch., 50: 165-189
- AMSTUTZ, G. C. (1961) Origen de depósitos minerales congruentes en rocas sedimentarias.- Bol. Soc. geol. Perú, 36: 5-30
- AMSTUTZ, G. C. (1976) Aus der Arbeit der Universitäts-Institut.- Lagerstättenforschung am Mineralogisch-Petrographischen-Institut (I. Lehrstuhl).- Heidelberg. Jb., 20: 169-184
- BAUMANN, L. & OLSZAC, G. & TISCHENDORF, G. (1968) Tiefenbau der Erdkruste und endogene Gesteins- und Erzbildung.- Ber. deutsch. Ges. geol. Wiss. A Geol. Paläont., 13: 439-460
- BELLIDO, E. & MONTREUIL DE L. (1972) Aspectos generales de la metalogenia del Perú.- Bol. Serv. Geol. Min. Perú, serie Geol. Econ., 1, 149 p.; Lima
- BENAVIDES-CACERES, V. (1956a) Cretaceous system in Northern Perú.- Bull. Amer. Mus. Nat. Hist., 108: 353-494
- BENAVIDES, V. (1956b) Geología de la región de Cajamarca.- Bol. Soc. geol. Perú, 30: 49-79
- BERNUY, O. (1979) Metodología simplificada para el cálculo de reservas en cuerpos tabulares empleando el método geoestadístico.- Inf. int. Minero Perú, Lima; 46 p.
- BOLES, J.R. (1981) Zeolites in deep-sea sediments.- In MUMPTON, F. A. (ed.) Mineralogy and Geology of natural Zeolites; Michigan (Book Crafters): 137-163
- BORREDON, R. (1982) Etude géologique et metallogénique du district minier de Hualgayoc (Perou septentrional) a plomb-zinc-cuivre-argent.- These Dr. 3<sup>o</sup> Cycle, Univ. Paris

- CABOS, R. (1980) Hydrothermal-polymetallische Vererzung des bergmännischen Bezirke Hualgayoc, Perú.- Dr. These, Univ. Krakow, Polen; 130 p.
- CABOS, R. (1981) Las asociaciones mineralógicas de la Mina Bella Unión (Hualgayoc). Determinaciones microscópicas y análisis mediante microsonda.- Bol.Soc.geol.Perú, 68: 1-12.
- CABOS, R. (1982) Estudios microscópicos, roentgenográficos y mediante microsonda de las asociaciones mineralógicas en el distrito minero de Hualgayoc, Cajamarca-Perú.- Bol.Soc.geol. Perú, 69: 1-17.
- CANCHAYA, S.(1980) Estudio geológico económico de la Mina Bella Unión, Hualgayoc.- Rep.Priv.Cía. Bella Unión Minas S.A. 85 p.
- CANCHAYA, S. (1982) Mineralogía y génesis de los depósitos de Cu-Ag-Pb y Zn de la Mina Bella Unión, Hualgayoc-Cajamarca.- XVI Convoc.Ing.Minas, Lima-Perú )Nov. 1982) ; 18p.
- CANCHAYA, S. (1984a) El potencial de los métodos geoestadísticos en la industria minera.- An. XVII Conv. Ings. Minas, Huaraz; 20 p.
- CANCHAYA, S. (1984b) Métodos geoestadísticos en la industria minera.- Minería, 182/183: 23-43
- CANCHAYA, S. (1985) Aplicaciones de los diagramas de fases en Geología y Yacimientos.- Curso Coleg. Ings. Perú; Lima
- CANCHAYA, S. (1987a) Aplicaciones de las curvas isovalóricas en yacimientos.- Curso int. INGEMMET; 54 p.
- CANCHAYA, S. (1987b) Cocientes metálicos y otras curvas isovalóricas.- Curs. Actualizac. P. Univ. Católica; 59 p.
- CANCHAYA, S. (1987c) Lagerstättenkundlich-Mineralogische Untersuchungen der Cu-Ag-Zn-Pb Lagerstätte "Bella Unión", Hualgayoc-Perú.- Diplomarbeit Univ. Heidelberg; 144 p.

- CANCHAYA, S. (1990) Stratabound ore deposits in Hualgayoc, Cajamarca-Perú.- In: AMSTUTZ, G.C. et al. (eds.) Stratabound deposits in the Andes; Springer Verlag (Heidelberg).
- CANCHAYA, S. & BERNUY, O. (1983) Estudio geoestadístico de las vetas A y Z de la Mina Bella Unión-Hualgayoc.- Bol. Soc. geol. Perú, 72: 29-47
- CANCHAYA, S. & TUMIALAN, P. H. (1976) Controles de mineralización en la Mina Bella Unión, Hualgayoc-Cajamarca.- XIII Conv. Ings. Minas, Arequipa-Perú (Set. 1976); 9 p.
- CANCHAYA, S. & CHIRIF, H. & PASTOR, L. & ROMERO, D. (1988) Sinopsis geológica y metalogenética del trito minero de Hualgayoc-Cajamarca.- Resúmenes I Simp. Nac. Yacs. Minerales, de Petrol. y Fuentes de Energ.; Arequipa.
- CANCHAYA, S. & CHIRIF, H. & H. HERNANDEZ & PACOMPEA, T. & PASTOR, L. & ROJAS, C. & ROMERO, D. (1989) Reporte del viaje de Estudio de Hualgayoc.- Rep. investig. XXII Prom. Geols. U.N. I.; 110 p.
- CARPENTER, R. (1976) Cursillo sobre exploración, desarrollo y evaluación de propiedades mineras.- Copia int. INGEMMET (no publ.)
- COBBING, E. J. (1976) The geosynclinal pair at the continental margin of Peru.- Tectonophysics, 36: 157-165
- COBBING, E.J., PITCHER, W., WILSON, J., BALDOCK, J., TAYLOR, W., McCOURT, W. & SNELLING, N.J. (1981) Estudio geológico de la cordillera occidental del norte del Perú.- Bol.Inst.geol.Min. Met., Serie D, Estuds.Especs., 10, 252 p.; Lima-Perú.
- DAVID, M. (1976) The practice of kriging.- In: GUARASCIO, M. et al. (eds.): Advanced Geostatistics in the mining industry; Reidel Publ. Co. (Holanda): 31-48
- DAVID, M. (1977) Geostatistical ore reserve estimation.- Amsterdam (Elsevier), 364 p.

- EDWARDS, A. B. (1965) Textures of the ore minerals and their significance.- 4th. edn., Australia (Brown, Prior, Anderson Pty, Ltd.), 242 p.
- ERICKSEN, G.E., IBERICO, M. & PETERSEN, U. (1956) Geología del distrito minero de Hualgayoc, Departamento de Cajamarca.- Bol.Inst.Nac. Investig. Fomento Min., 15, 99 p.; Lima.
- GABELMAN, J. W. (1976) Strata-bound ore deposits and metallogenetics.- In: WOLF, K. H. (ed.) Handbook of strata-bound and stratiform ore deposits, Vol. 4; Amsterdam (Elsevier) : 75-163.
- GAINES, R.V. (1951) The mineralogy, synthesis, and genetic significance of luzonite, famatinite, and some related minerals: Ph.D.Thesis, Harvard University (Zitiert nach MASKE & SKINNER 1971).
- HOLLISTER, V. F. & SIRVAS, E. B. (1974b) El pórfido de cobre Michiquillay.- Bol.Soc.geol.Perú, 44: 11-27.
- HUDSON, C., CABOS, R. & CUADROS, P. (1980) Informe geológico Minas Punto Victoria Seis y Cañón - Hualgayoc.- Rep.priv. De la Unión Minas S.A. y Tecnominas S.R.L., 49 p.
- JOURNEL, A. G. & HUIJBREGTS, CH. J. (1978) Mining Geostatistics.- London, New York, San Francisco (Academic Press), 600p.
- KAMILLI, R. J. & OHMOTO, H. (1977) Paragenesis, Zoning, Fluid Inclusion, and Isotopic Studies of the Finlandia Vain, Colqui District, Central Peru.- Econ.Geol. 72 (6): 950-982.
- KOBE, H. (1984) Contribución a la metalogenia del Paleozoico del Domo de Yauli.- Bol. Soc. geol. Perú, 73: 67-91
- LANDIS, G. P. & RYE, R. O. (1974) Geologic, Fluid inclusion, and Stable Isotope Studies of the Pasto Bueno Tungsten-Base Metal Ore Deposit, Northern Peru.- Econ.Geol., 69 (7): 1025-1059.

- LEHNE, R. W. & AMSTUTZ, G. C. (1970) Neue Beobachtungen in der Pb-Cu-Zn-Ag Lagerstätte Colquijirca, Zentralperu.- Münster. Forsch. Geol. Paläont., 44/45: 173-178.
- LINDGREN, W. (1933) Mineral deposits.- 4th. edn., New York, London (McGraw-Hill), 930p.
- LOVERING, T.S. (1963) Epigenetic, Diagenetic, Syngenetic and Lithogene Deposits.- Econ. Geol., 58: 315-331.
- MARKHAM, N. L. & LAWRENCE, L. J. (1965) Mawsonite a new copper-iron-tin sulfide from Mount-Lyell, Tasmania and Tingha, New South Wales.- Amer. Mineralogist, 50: 900-928.
- MARLER, G. D. & WHITE, D. E. (1975) Seismic geyser and its bearing on the origin and evolution of geysers and hot springs of Yellow-Stone National Park.- Bull. Geol. Soc. Amer., 86: 749-759.
- MASKE, S. & SKINNER, B. J. (1971) Studies of the sulfosalts of copper, I. Phases and phase relations in the system Cu-Ag-S.- Econ. Geol., 66: 901-918.
- MATHERON, G. (1963) Principles of geostatistics.- Econ. Geol., 58: 1246-1266.
- MATHERON, G. (1965) Les variables régionalisées et leur estimation.- 305p.; Paris (Masson et cie).
- MATHERON, G. (1969) Le krigeage universel.- Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique, Fasc. 1 CG, Fontainebleau 82 p.
- MATHERON, G. (1971) The theory of regionalized variables and its applications.- 211p.; (Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique de Fontainebleau).
- MEDINA, J. (1972) Informe técnico sobre las minas "Punto Victoria Seis" y "Bella Unión", Hualgayoc-Cajamarca.- Inf. int. Bco. Min. Perú; 19p.

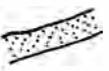
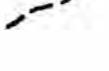
- MEGARD, F.. (1979) Estudio geológico de los Andes del Perú Central.- Bol.Inst.geol.Min.Met., Serie D, 8, Lima; 227p.
- MONTREUIL, L., TUMIALAN, P.H., VALENCIA, T. & SULCA, M. (1977) Aspectos generales de la petrogénesis relacionada a la metalogenia del Perú.- II Simp. Nac. Min., Ayacucho; 13p.
- OCOLA, P. (1978) Informe técnico de la unidad económica y administrativa "Bella Unión"; minas "Punto Victoria 6", "Bella Unión" y "Don Paco", Hualgayoc-Cajamarca.- Inf. int. Bco. Min. Perú; 32 p.
- PALACHE, CH., BERMAN, H. & FRONDEL, C. (1961) The system of Mineralogy.- Vol. 1, 7th. edn., New York (John Wiley) , 1100p.
- PAREDES, J. (1979) Estudio geológico del distrito minero de Hualgayoc.- Inf. interno, B.R.G.M.; Lima, 80p.
- PAREDES, J. (1980) Reconnaissance geologique, geochemique et metallogenique du domaine minier de Hualgayoc, Département de Cajamarca.- Rapport de la Mission de Cooperation Technique B.R.G.M.- Bco. Minero del Perú; 82p.
- PLIMMER, I. R. (1978) Proximal and distal stratabound ore deposits.- Mineralium Depos., 13: 345-353.
- RAMDOHR, P. (1975) Die Erzminerale und ihre Verwachsungen.- 4. Aufl., Berlin (Akademie-Verlag), 1277p.
- REYES, L. (1974) Influencia de la cuenca titoniana en las principales estructuras del norte del Perú-Deflexión de las estructuras.- El Ingeniero Geólogo, 16: 51-57; Lima-Perú; (Univ. Nac. Mayor San Marcos).
- RIVERA PLAZA, G. (1953) Métodos de examen mineralógico.- 341p.; Lima.
- SCHNEIDERHÜHN, H. (1962) Erzlagerstätten.- 4. Aufl., Stuttgart (Gustav Fischer), 371p.

- SHARP, W. E. (1965) The deposition of hydrothermal quartz and calcite.- *Econ. Geol.*, 60: 1635-1644
- SIRNA, C. (1976) Geología y reservas de la Minas los Negros, Hualgayoc-Cajamarca.- Tesis Bach., Univ. Nac. Ing., Lima-Perú, 48 p.
- SKINNER, B. J. (1960) Assemblage enargite-famatinite, a possible geologic thermometer, (abstract).- *Bull. geol. Soc. Amer.*, 71 p.
- SMIRNOV, V. I. (1970) Geologie der Lagerstätten mineralischer Rohstoffe.- Leipzig (VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie)., 563 p.
- SOLER, P. & BONHOMME, M. G. (1988) New K-Ar age determinations of intrusive rocks from the Cordillera Occidental and Altiplano of central Peru: Identification of magmatic pulses and episodes of mineralization.- *J. South Amer. Earth Sci.* 1: 169-177.
- SPRINGER, G. (1968) Electronprobe analysis of stannite and related tin minerals.- *Miner. Mag.* 36: 1045-1051
- SPRINGER, G. (1969) Electron microprobe analysis of tetrahydrite.- *N. Jb. Mineral. Mh.*: 24-32
- TUMIALAN, P.H. & MARTINEZ, J. C. (1977) Geología económica de la mina Pozos Ricos.- An. II Simp. Nac. Min., Ayacucho, Perú; 8 p.
- TUMIALAN, P.H. & RIVERA, D. & MARTINEZ, P. (1974) Mineralización de los yacimientos Las Gordas y Colorada, Hualgayoc-Cajamarca.- An. XIII Conv. Ings. Minas, Arequipa; 3p.
- VIDAL, C. & CABOS, R. (1983) Zoneamiento regional de las alteraciones y menas hidrotermales en Hualgayoc-Cajamarca.- *Bol. Soc. geol. Perú*, 71: 117-120

- WU, I. & PETERSEN, U. (1977) Geochemistry of Tetrahedrite and Mineral Zoning at Casapalca, Peru.- *Econ. Geol.*, 72 993-1016.
- YAMANAKA, T. & KATO, A. (1976) Mössbauer effect study of  $^{57}\text{Fe}$  and  $^{119}\text{Sn}$  in stannite, stannoidite, and mawsonite.- *Amer. Mineralogist*, 61: 260-265.

## ANEXO 1

### SIMBOLOGIA Y ABREVIATURAS EMPLEADAS EN LAS FIGURAS 11, 12 y 13

	Calizas	Lm Limonitización
	Intrusivos	Dcl Decoloración
	Cuerpos irregulares py-cz-en	Ks Caolinización
	Mantos	Ms Marmolización
	Vetas	Sc Sicilificación
	Falla con buzamiento	Pz Panizo
	Falla vertical	a.h. Alterada hidrotermalmente
	Contacto	osc. oscura
		cl. clara
		+ fuerte, rica
		- debil, escasa
		f.dis. finamente diseminada
		Ch. chimenea
		Bx Brecha

#### RUMBO Y BUZAMIENTO DE:

	Calizas
	Mantos
	Fracturas

#### MINERALES:

cac	calcita
CBs	carbonatos
cp	calcopirita
en	enargita
gn	galena
LIMs	limonitas
py	pirita
cz	cuarzo
ef	esfalerita
CGRs	cobregrises

#### MINERALOGIA DE LAS VETAS:

cp significa: principalmente cp; subordinados: en, CGRs y cac  
 py significa: „ py; subordinados: en, cp, cac y cz  
 en significa: „ en y cz; subordinados: py, cp y CGRs

## A N E X O 2

Diagrama de bloque del programa "G r i b a"

Ejemplo de edicion digitalizada de una secci3n de contornos usando el programa "Griba".  
Veta "A", S.L.C. de Potencias

DIAGRAMA DEL PROGRAMA "G R I B A "

