



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA

**ANÁLISIS ESTRUCTURAL, MINERALÓGICO Y GEOQUÍMICO DEL
CUERPO ROSARIO Y SU APLICACIÓN A LA EXPLORACIÓN EN
EL DISTRITO MINERO UCHUCCHACUA**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL
INGENIERO GEÓLOGO**

**PRESENTADO POR:
VÍCTOR MANUEL SÁNCHEZ PÁUCAR**

**PROMOCIÓN
2001-2**

**LIMA – PERÚ
2007**

“ANÁLISIS ESTRUCTURAL, MINERALÓGICO Y GEOQUÍMICO DEL CUERPO ROSARIO Y SU APLICACIÓN A LA EXPLORACIÓN EN EL DISTRITO MINERO UCHUCCHACUA”

RESUMEN	01
INTRODUCCIÓN	05
CAPITULO 1. ASPECTOS GENERALES	07
1.1. Objetivo de la Tesis	07
1.2. Metodología de Trabajo	08
1.3. Trabajos Previos	09
1.4. Ubicación y Acceso	13
1.5. Clima y Vegetación	15
CAPITULO 2. MARCO GEOLÓGICO	16
2.1. Geología Histórica	16
2.2. Geología Regional	20
2.3. Geología Local	23
2.4. Estratigrafía	24
2.5. Tectónica	32
2.6. Geología Económica	34
CAPITULO 3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	36
3.1. Definición	36
3.2. Estructuras Principales	36
3.1.1. En Superficie	35
3.1.2. En Labores Subterráneas	42
3.3. Relación del Cuerpo Rosario con la Falia Rosa	42
3.4. Criterios Estructurales en Interior Mina como Guías de Exploración	44
3.4.1. Densidad de Venillas de Calcita	44
3.4.2. Intersección de Estructuras Mayores	45
3.4.3. Arreglos escalonados	48
3.5. Diagrama de Rosas	52
3.6. Modelo Estructural en 2D de Uchucchacua	58
3.7. Modelo geológico estructural en 3D del Cuerpo Rosario	60
CAPÍTULO 4. PETROMINERALOGÍA	62
4.1. Definición	62
4.2. Toma de Muestras	64
4.3. Minerales en Interior Mina	64
4.3.1. Minerales Mena	65
4.3.2. Minerales Ganga	72

4.4.	Tipos de Alteración	76
4.5.	Rocas Intrusivas	77
4.6.	Bandas de Crustificación	78
4.7.	Fluorescencia de minerales ganga	80
4.8.	Secuencia Paragenética	82
CAPITULO 5. GEOQUÍMICA		86
5.1.	Definición	86
5.2.	Toma de Muestras	87
5.3.	Análisis geoquímico por multielementos	89
5.4.	Anomalías Geoquímicas	90
5.5.	Isovalores	94
5.6.	Comportamiento de elementos de importancia	102
CAPITULO 6. APLICACIÓN DEL ANÁLISIS ESTRUCTURAL, MINERALÓGICO Y GEOQUÍMICO INTEGRADO PARA LA EXPLORACIÓN		107
5.1.	Análisis Estructural	107
5.2.	Análisis Mineralógico	108
5.3.	Análisis Geoquímico	109
5.4.	Clasificación del tipo de Yacimiento	110
5.5.	Aplicación del Análisis Integrado	112
CAPITULO 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		113
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		116
ANEXOS		118

“ANÁLISIS ESTRUCTURAL, MINERALÓGICO Y GEOQUÍMICO DEL CUERPO ROSARIO Y SU APLICACIÓN A LA EXPLORACIÓN EN EL DISTRITO MINERO UCHUCCHACUA”

RESUMEN

Uchucchacua se encuentra dentro de un gran metalotecto como son los carbonatos del Cretáceo, el cual alberga yacimientos importantes como Antamina, Huanzalá, Cerro de Pasco, Raura, Iscaycruz, Yauricocha, entre otros.

Durante millones de años esta secuencia del cretáceo ha sido sometida a grandes esfuerzos, debido a la subducción de la placa de Nazca que parece comenzar en el Cretáceo superior. En consecuencia el material Cretáceo estuvo afectado por cinco fases compresivas y al menos dos fases distensivas que empiezan en el Santoniano con la tectorogénesis andina.

En Uchucchacua existe un sistema principal de fallas NE-SW como las fallas Uchucchacua, Cachipampa y Socorro, cuyas conjugadas son fallas de rumbo E-W, como las fallas Rosa y Sandra. En donde la mineralización se aloja principalmente en las intersecciones de fallas o en los cambios de rumbo de fallas, ya que es en estos dos casos que se genera mayor fracturamiento y espacios abiertos favorables para la mineralización, dando lugar a la formación de vetas de relleno de fracturas y cuerpos de reemplazo de carbonatos como el cuerpo Rosario.

Rosario es un cuerpo de reemplazamiento de Ag-Pb-Zn hospedado en las calizas masivas del miembro Inferior de la formación Jumasha, cuya mineralización ocurrió bajo régimen de compresión OSO – ENE, con una dirección de extensión asociada NO – SE

representado por venas de extensión de calcita gruesa, orientadas NE - SW, desarrolladas en la periferia del Cuerpo Rosario. Esta generación de venas puede resultar una útil característica asociada a la mineralización.

La mineralización en Uchucchacua se dio en cuatro etapas, determinadas mediante el estudio de paragénesis obtenido a partir de las bandas de crustificación presentes en la mena. En la etapa (I) fueron introducidos en el exoskarn el Fe, Mn, y Si como los silicatos anhidros johansenita, bustamita, además de rodonita. A inicios de la etapa (II) fueron introducidos el Pb, Zn, Fe, y Cu siendo los principales sulfuros la pirrotita, esfalerita, wurtzita, alabandita, galena, y calcopirita. La pirrotita fue reemplazada por marcasita, pirita y calcopirita a fines de la etapa (II). La disminución de contenidos de Fe en la alabandita y esfalerita a fines de la etapa (II) y etapa (III), junto con la aparición de pirita, indican un incremento en la fugacidad del sulfuro y/o el descenso de temperatura sobre este periodo. La Ag, As, y Sb fueron introducidos a fines de la etapa (III) en forma de sulfosales, principalmente pirargirita. Finalmente la etapa (IV) corresponde a la alteración supérgena que afecta a muchas de las vetas dando lugar al crecimiento de hidróxidos de Mn, psilomelano, oropimente, marcasita, cerusita y siderita.

Sin embargo la mena del cuerpo Rosario presenta principalmente minerales de la etapa II como galena, esfalerita, magnetita y pirita, lo cual indica que hubo baja fugacidad y mayor temperatura dentro del sistema. Siendo la galena el mineral que contiene Ag, ya que estudios anteriores de Petersen (1995) indican que la galena tiene 85% Pb y 0.2 -1.0% Ag. Ésta equivale a 2,000-10,000 ppm Ag ó 65-325 oz. Ag/t. dividiendo por 85% Pb, habrían 0.7-3.3 oz. Ag por 1% Pb. Ésta galena parece ser algo más argentífera que la que se tiene típicamente en yacimientos de Pb-Zn. Por consiguiente, la galena puede ser responsable del aporte de Ag en la etapa II.

Además el estudio de inclusiones fluidas de la veta Luz (Alpers, 1980) indica que los niveles de salinidad y los ratios NaCl/ CaCl₂ pertenecen a salmueras de cuenca, expelida de la deformación de la secuencia Mesozoica, siendo un componente significativo del fluido mineralizante.

Las características petrológicas del miembro inferior de la formación Jumasha (S. Rosas, 2002) muestran que se trata de un paquete masivo de calizas tipo grainstone y no presenta horizontes margosos como en los miembros medio y superior de la formación Jumasha, lo cual a permitido considerar una franja idealizada de hasta 300 m. de potencia a lo largo de este horizonte cerca al contacto con las calizas del miembro medio de la formación Jumasha como favorable a la mineralización, considerando al Jumasha inferior como un metalotecto.

Por otro lado, para el presente estudio se esta considerando a la fluorescencia de rayos ultravioleta para ser usada en la etapa de exploración, ya que el venilleo de calcita relacionado con hidrotermalismo, al ser expuesta a rayos ultravioleta, desprende una fuerte fluorescencia roja debido a la presencia de valores anómalos en Mn y Ga, pero no mayor a 3.3 mol% de MnCO₃. Este fenómeno se ha observado alrededor del cuerpo Rosario por más de 100 m. fuera de este.

En base a la data geoquímica del cuerpo Rosario se ha generado un modelo de bloques en gemcom con el propósito de tener una mejor idea acerca de la distribución espacial de los elementos principales como son la Ag, Pb, Zn y Mn dentro del cuerpo Rosario. En donde se encontró que la distribución de leyes de Ag es relativamente uniforme a lo largo del cuerpo con un valor promedio de 30 ozAg. La distribución de leyes de Zn también es uniforme con ligeras variaciones laterales y un valor promedio de 1.5 %Zn. La distribución de leyes de Pb es uniforme a lo largo del cuerpo con un valor promedio de 1 %Pb. Y finalmente la distribución de leyes de Mn muestra que los valores de Mn

decrecen en profundidad y que existe un zoneamiento de este elemento dentro del cuerpo Rosario.

Además según los coeficientes de correlación de Pearson de los 72 elementos analizados por ICP del cuerpo Rosario se han podido determinar que el As, Cu, Fe, Mn, Pb, S, Sb, Sr y Zn guardan una fuerte relación con la Ag, siendo el Sr el único elemento que guarda relación inversa debido a que los fluidos mineralizantes consumen el Sr de la roca huésped proveniente de los foraminíferos, sin embargo es el que presenta mayor halo de dispersión, considerando valores menores a 200 ppm de Sr como anómalos en la exploración por plata.

INTRODUCCIÓN

Uchucchacua es un distrito minero de vetas y cuerpos de reemplazamiento de Ag-Mn-Pb-Zn en los Andes centrales de Perú, siendo Rosario uno de los cuerpos más importantes por su volumen y ley. Las rocas huésped son las calizas masivas de la formación Jumasha de edad Turoneana que fueron plegadas formando un anticlinal asimétrico de orientación Andina NW-SE. Los estratos cerca de la cresta del pliegue están cortados por intrusiones dacíticas de menor importancia y fueron desplazados por un sistema conjugado de fallas principales de alto ángulo de rumbo noroeste – sureste y noreste – suroeste. Muchas de las ocurrencias de mineralización económica están restringidas a las rocas huésped que yacen debajo de las calizas margosas del Jumasha medio. Las vetas localizadas a lo largo del sistema de fracturas se formaron por relleno de fisuras y por reemplazamiento de calizas de la roca caja. Los cuerpos de reemplazamiento más grandes y elongados son paralelos y adyacentes a grandes fallas. El reemplazamiento se da en zonas de brecha adyacente a los cambios de rumbo de las fallas, las cuales se dilataron durante el movimiento sinistral de la falla principal. Asociados a las grandes estructuras podrían encontrarse procesos de disolución kárstica antes de la mineralización.

Bussell et al. (1990) menciona cuatro estadios paragenéticos, los cuales han sido comprobados con secciones pulidas. En la etapa (I) fueron introducidos el Fe, Mn, y Si en el exoskarn como los silicatos anhidros johansenita, bustamita, además de rodonita. A inicios de la etapa (II) fueron introducidos el Pb, Zn, Fe, y Cu siendo los principales sulfuros la pirrotita, esfalerita rica en Fe, wurtzita, alabandita, galena, y calcopirita. La pirrotita fue reemplazada por otros sulfuros a fines de la etapa (II). Los principales minerales ganga son la calcita, rodocrosita, y cuarzo. La Ag, As, y Sb fueron introducidos a fines de la etapa (III) en forma de sulfosales, principalmente pirargirita. La redistribución de los metales introducidos en la etapa (II) resultó en el crecimiento de esfalerita pobre en

Fe y alabandita acompañada por calcita como ganga. La disminución de contenidos de Fe en la alabandita y esfalerita a fines de la etapa (II) y etapa (III), junto con la aparición de pirita, indican un incremento en la fugacidad del sulfuro y/o el descenso de temperatura sobre este periodo. La etapa supérgena (IV) afecta por encima de los 30 a 150 m. de muchas de las vetas e implica el crecimiento de hidróxidos de Mn, psilomelano, oropimente, marcasita, cerusita y siderita.

Charles Alpers (1980) menciona que las inclusiones fluidas del cuarzo de la etapa tardía II fueron atrapadas entre 165° a 205°C (hidrostática) o 190° a 230°C (litostática). La salinidad que está entre 0.5 a 29.7 del equivalente en porcentaje del peso de NaCl-CaCl₂ está poco relacionada a la temperatura. Los valores de ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr de calcita que están entre 0.70743 a 0.71122 se extienden bien, fuera del rango de valores de ambos determinados para las rocas magmáticas de la región y estimadas para las calizas huésped pero son probablemente compatibles con rocas sedimentarias más antiguas del distrito minero. Los niveles de salinidad y los ratios NaCl/ CaCl₂ son similares a las salmueras de cuenca asociadas a los depósitos de tipo Mississippi Valley. Se concluye que la salmuera de cuenca, expelida de la deformación de la secuencia Mesozoica, fue un componente significativo del fluido mineralizante. Este fluido fue probablemente calentado por magmas dacíticos y enfriado por intrusiones dacíticas; un fluido poligenético magmático de cuenca de alta salinidad se levantó a lo largo de fracturas de sobreescorrimiento hacia el sitio de la mineralización donde se mezclaron con agua subterránea calentada de baja salinidad.

CAPITULO 1. ASPECTOS GENERALES

1.1. Objetivo de la Tesis

La Compañía de Minas Buenaventura, de gran trascendencia en el Perú, tiene como finalidad las Actividades de Exploración y Explotación de recursos minerales metálicos económicos. Este esfuerzo requiere el manejo de un conjunto de herramientas que deben dar respuesta a demandas exigentes y competitivas en el escenario dinámico en el que se desenvuelven las actividades mineras.

En este sentido, se escogió como objetivo de estudio, en el presente trabajo, al cuerpo Rosario de la mina Carmen en el distrito minero Uchucchacua, siendo este uno de los cuerpos de mayor volumen y ley, reconocido en cuatro niveles distintos a lo largo de 300 m. en vertical.

Se estudiará la **Geología Estructural** del cuerpo Rosario, basada en información tanto de superficie como interior mina, a partir del mapeo detallado de estructuras mayores como fallas, vetas, fracturas y estructuras de calcita (venilleo), así como también el mapeo de arreglos escalonados y a partir de ello se puedan determinar los esfuerzos principales a los que estuvo sometido el cuerpo Rosario y de esta forma se pueda inferir la dirección del flujo mineralizante y el sistema de venillas asociadas a este evento; y que esto sirva como guía en la exploración, ya que en el Distrito Minero de Uchucchacua la mineralización está íntimamente ligada al aspecto estructural.

El estudio de la **Mineralogía** del cuerpo Rosario tiene por objeto determinar la paragénesis de ensambles mineralógicos y texturas a partir de muestras tomadas en interior mina de manera aleatoria y puntual, ubicando las mejores zonas mineralizadas y las más representativas del cuerpo Rosario, además de tener una mejor idea del

ambiente de formación, presión y temperatura del sistema tener evidencias acerca del tipo de yacimiento en el cual se encuentra el cuerpo Rosario.

Por otro lado, se aplicará un nuevo concepto para determinar y diferenciar venilleo de calcita hidrotermal de venilleo de calcita diagenético, a través de fluorescencia de rayos ultravioleta y utilizarlo como guía de exploración.

Finalmente la **Geoquímica** del cuerpo Rosario, que a partir de los resultados geoquímicos del muestreo sistemático, se interpretará si existe zoneamiento de la concentración mineral de los principales elementos de mena como son la Ag, Pb, Zn y Mn, así como también el análisis por multielementos de muestras de la roca caja, de manera tal que se pueda analizar el comportamiento de diversos elementos relacionados a la plata y determinar el halo de dispersión de estos elementos a efecto de ser usados como guías de exploración.

En este orden de ideas, el objetivo del presente estudio es mostrar que el análisis Estructural, Mineralógico y Geoquímico del cuerpo Rosario constituye una herramienta de exploración efectiva que puede ser usada como modelo al aplicarse los criterios del presente estudio en la etapa de exploración en el Distrito de Uchucchacua sobre nuevas zonas de exploración, lo cual conllevaría a un mejor resultado en la búsqueda de nuevas reservas.

Cabe mencionar que el presente estudio servirá para optar el título de ingeniero geólogo del suscrito.

1.2. Metodología de Trabajo

El Análisis Estructural, Mineralógico y Geoquímico Aplicado a la Exploración cumple con las etapas de madurez y complejidad siguientes:

ETAPA 1: Corresponde a un nivel de inventario y campo. El objetivo es adquirir la mayor cantidad de información estructural, mineralógica y geoquímica a partir de mapeos y muestreos del cuerpo Rosario, además de la recolección de información relacionada al tema para que de esta forma se genere una base de datos consistente y completa que puedan ser procesada en la siguiente etapa 2, ya que en esta primera etapa existe limitado análisis.

ETAPA 2: El segundo nivel de madurez del presente estudio agrega operaciones de análisis a la etapa 1. Permite el análisis independiente de la información de tipo estructural, mineralógico y geoquímico del cuerpo Rosario, mediante el uso de softwares y análisis de laboratorio, logrando así información procesada lista para ser interpretada en la siguiente etapa 3.

ETAPA 3: A partir de los resultados obtenidos en la etapa anterior se procede a analizar e interpretar la información en base a los parámetros específicos que nos brinda la geología estructural, mineralogía y geoquímica, de tal forma que el resultado final de este proceso sea el esperado. Logrando así, que el análisis estructural, mineralógico, y geoquímico del cuerpo Rosario sirva como modelo para futuras exploraciones y se convierta en una herramienta de soporte de decisiones en el Distrito Minero Uchucchacua.

1.3. Trabajos Previos

La geología de Uchucchacua ha sido objeto de diversos estudios. Dentro de los más destacados podemos mencionar:

“Mineralogía, Paragénesis, y Zoneamiento de la veta Luz” por Charles Alpers realizado en 1980, haciendo un estudio muy completo (secciones pulidas, inclusiones

fluidas y termodinámica) de la veta principal Luz 040, sub-paralela a la falla Socorro posterior. Sus principales conclusiones fueron:

Esta veta posee una paragénesis mineral poco común y variada. Entre los treinta minerales encontrados, los más representativos en orden de importancia son: calcita, pirrotita, blenda, alabandita, la plata proviene de sulfosales: pirargirita – proustita, mirargirita, tetrahedrita – tenantita; los silicatos también están presentes en forma de cuarzo, rodonita, bustamita, johansenita y tefroita.

Las relaciones paragenéticas entre diversos puntos de la veta no son evidentes, pero parece que la pirrotita era un componente esencial del primer mineral; fue reemplazada por marcasita, pirita y siderita en la mayor parte de la veta.

El plomo y el zinc están concentrados en profundidad y en especial cerca del cuello dacítico. Por el contrario, las concentraciones de plata y manganeso están distribuidas horizontalmente. Así, una mineralización tardía de Ag, Mn, Zn tuvo lugar en condiciones hidrológicas y/o termoquímicas un poco diferentes de una primera venida hidrotermal de Pb, Zn, Cu.

J. J. Wilson (1971) también había observado dos episodios diferentes: un mármol cortado por venas de calcita en cristales gruesos, y más lejos, una brecha con clastos de mármol y venas calcíticas. Esta brecha se mineralizó enseguida, pues cristales esparíticos están reemplazados parcialmente por sulfuros.

Las otras venas del distrito minero poseen una paragénesis similar a la de la veta Luz. La amplitud del skarn debe aumentar en profundidad, así como la ley en Pb, Zn, Cu. El manganeso disminuye con la profundidad.

“Controles y guías de exploración de cuerpos argentíferos en skarn del yacimiento de Uchucchacua” por R. P. Martínez realizado en 1986, muestra que en superficie (a 5050 m. de altura) hay venillas de calcita que bordean a un intrusivo que aparentemente no está mineralizado y que por otro lado, en interior mina, múltiples venillas de calcita ocurren encima, debajo y adyacentes a los cuerpos de mena hasta distancias que varían desde cero hasta unos 40 m.

Martínez (1986) también tomó muestras en el nivel 590 a lo largo de cuatro perfiles alejándose del cuerpo Rosa Norte hacia el N, S, E, y O. tres de las cuatro muestras que tomó del cuerpo dieron 360 ppm Ag, lo que equivale a unas 10-12 oz.Ag/t, por lo cual pueden considerarse como representativas de la mena. Extrapolando los alineamientos disponibles, se obtienen distancias de 30, 35, 50 y 55 m. promedio de 42.5 m. para el máximo rango de detección de la mena usando análisis geoquímicos rutinarios con un límite de detección de 1 ppm Ag.

Evidentemente, convendría continuar el estudio de Martínez (1986) examinando otros cuerpos y usando otros elementos como Mn, Zn, Pb, Sb, As, Fe, Ca y Mg e isótopos de C y O para aumentar el radio de detección de un cuerpo. Esto podría usarse para detectar cuerpos adyacentes a galerías y cruceros, así como entre los sondajes ya ejecutados o por ejecutarse.

“Geología de la región minera Uchucchacua” por M. Romani (1982), llega a la conclusión de que en la zona de Uchucchacua las series del Cretáceo son esencialmente marinas, el ciclo mundial eustático se encuentra con transgresiones al Valanginiano y al Albiano y la regresión al Cretáceo terminal.

En la zona de Uchucchacua, la formación Jumasha (Albiano superior a Turoniano) se divide en 4 miembros separados por unidades calcáreo-margosas decamétricas con pátinas beigeas.

El Coniaciano comienza por lo tanto con la formación subyacente Celendín y el Peneróplido Archias perouvianella aparece en el Turoniano.

Las capas rojas continentales del tope de la serie estratigráfica, están divididas en dos miembros: uno en la base más bien margoso; el otro, en la cumbre (?) terrígeno. El miembro inferior se imbrica con las margas blancas del Celendín.

El estudio de los rellenos Cársticos de diferente edad relativa, durante la tectónica andina, ha permitido precisar la cronología de ciertos acontecimientos geológicos como la presencia de una fase tectónica (Quechua 3) entre los episodios magmáticos intermedios y ácidos.

Estableció las siguientes series de mineralizaciones:

- En Uchucchacua, con el intrusivo dacítico de 25,3 Ma (D.C. Noble, 1980) que desarrolla un skarn y probablemente el episodio Pb – Zn – Mn (C. Alpers, 1980);
- En toda la región minera alrededores de Uchucchacua hacia 9 Ma (D.C. Noble, 1980) con el episodio Ag – Mn – Zn (C. Alpers, 1980) para la veta Luz de Uchucchacua.

“Structural controls of ore deposition in the Uchucchacua district” por Baxter y Bussell (1986), concluyen que la veta Rosa está relacionada con la mineralización debido al gran desplazamiento vertical que sufre, muy similar al de otras grandes estructuras

mineralizadas del distrito, logrando estas últimas 20 m. de desplazamiento vertical en promedio, mientras que la veta Rosa logra hasta 100 m. de desplazamiento vertical observado en superficie en la sucesión marcadora. Asociado a lo anterior se encuentran diversos episodios de movimientos sinestrales en la veta Rosa que originaron zonas de dilatación que fueron rellenas con mineral, y que posteriormente fueron afectadas por otros desplazamientos sinestrales.

Sumado a ello se observa también, en superficie, grandes ensanchamientos de la veta Rosa relacionados a la intersección con fallas conjugadas, las cuales presentan brecha de caliza cementada por calcita crustiforme que pueden lograr hasta 60 m. de ancho.

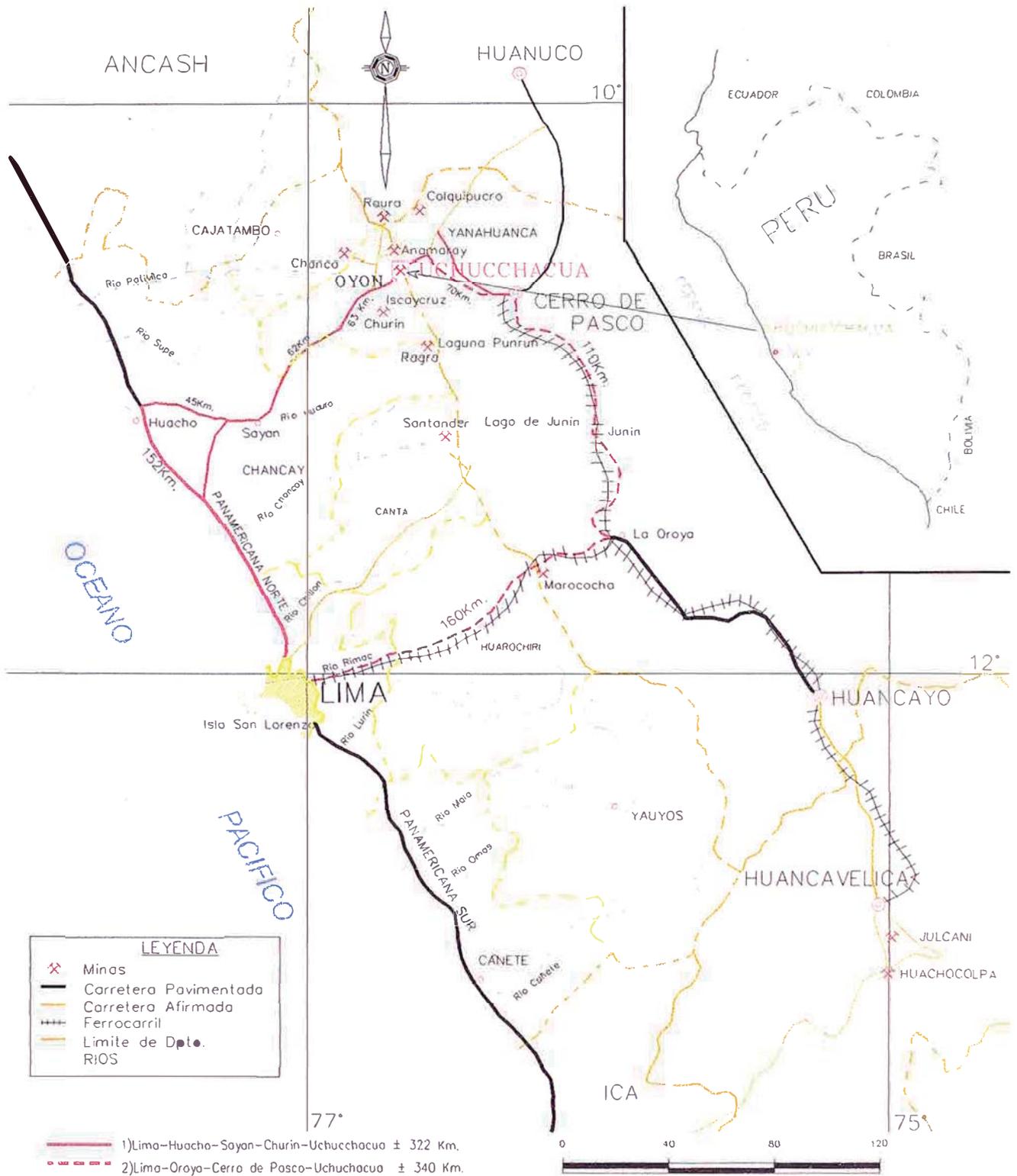
1.4. Ubicación y Acceso

El distrito minero de Uchucchacua se sitúa en la vertiente occidental de los andes a 170 Km. al NE de Lima, en el Departamento de Lima, Provincia de Cajatambo, Distrito de Oyón, a una altura que varía entre 4,300 y 5,000 m.s.n.m. Se ubica alrededor de las siguientes coordenadas:

10° 36' 34" Latitud Sur.

76° 59' 56" Longitud Oeste.

El acceso, partiendo de la ciudad de Lima, es a través de la carretera Panamericana Norte hasta llegar a la ciudad de Huacho, luego se toma el desvío hacia el Este hasta llegar a la ciudad de Sayán de donde empieza una trocha carrozable hasta la ciudad de Churín, que continúa hasta llegar a la ciudad de Oyón y finalmente se toma el desvío hacia Uchucchacua. (Plano I-1)



Plano I-1.- Ubicación y Acceso del Distrito Minero de Uchucchacua.

1.5. Clima y Vegetación

El clima es frígido y seco entre los meses de Abril a Diciembre, y lluvioso de Enero a Marzo pero con temperaturas moderadas.

La vegetación propia del área es escasa y constituida mayormente por ichu, variando a otras especies en las quebradas y valles encañonados, allí se realiza una incipiente agricultura.

CAPITULO 2. MARCO GEOLÓGICO

2.1. Geología Histórica

Para entender acerca de los eventos geológicos que ocurrieron en la zona de estudio es necesario hacer mención sobre la tectónica de placas en el Perú descrita por M. Romani, (1982), quien menciona que los datos geofísicos y oceanográficos indican que la placa oceánica a lo largo del Perú y de Chile se hunde al nivel de una superficie de subducción a unos cien kilómetros y a lo largo de la costa, al fondo de la fosa oceánica; estamos entonces sobre un margen activo. El plano de subducción materializado por la repartición de centros sísmicos forma un ángulo de 10° con la horizontal en el norte del Perú (M. Barazangi, B. Isacks, 1979). No hay arco sedimentario sino un prisma de acreción poco voluminoso (D.M. Hussong y Al. 1976). De acuerdo a esta observación es posible el hundimiento de una parte del material sedimentario, llevado por la placa, en el plano de Benioff.

La subducción de la placa de Nazca parece comenzar en el Cretáceo superior según B. Dalmayrac, G. Laubacher, R. Marocco, (1977); en el Liásico y tal vez en el Triásico según F. Mégard (1973). Se puede suponer que la construcción del edificio andino peruano se ha realizado en forma continua. En realidad, los trabajos geológicos anteriores nos muestran la existencia, desde el Cretáceo Terminal, de fases compresivas breves, sincrónicas en varios miles de kilómetros y períodos de distensión de larga duración. F. Mégard (1973) B. Dalmayrac y M. Mattauer (1980) suponen que las fases de compresión corresponden a un bloqueo de corta duración entre la placa oceánica y la placa continental, lo cual se debería a una aceleración de la velocidad de acreción. Por el contrario, una velocidad de acreción constante corresponde a un régimen normal de subducción lo que trae consigo principalmente la distensión en el continente vecino.

- La zona Subandina, poco plegada en la fase del Plioceno, salvo algunos sobre-escurrimientos, posee una serie estratigráfica completa desde el Ordoviciano y tal vez el Cambriano hasta el Plioceno.

Por otro lado, la evolución estructural de la cadena de los Andes, según M. Romani (1982), presenta la superposición de tres edificios tectónicos:

- El Precambriano con varios orógenos de los cuales el último sería de edad "Baikaliano",
- La cadena Herciniana edificada en el Devoniano superior,
- La cadena andina cuya orogénesis comienza en el Cretáceo superior y continúa aún actualmente.

Luego del establecimiento de la cadena eoherciniana y de las pulsaciones tardías de la orogénesis herciniana que duran hasta el Triásico inferior, se instala un periodo más tranquilo en el que se realiza lo principal de la sedimentación andina y en el que las únicas estructuras activas parecen ser algunas fallas subsidentes del borde de cuenca (figura II-2). En la parte oeste de la Cordillera Occidental, un conjunto de islas volcánicas de substrato siálico vinculada a la subducción de la placa de Nazca, proporciona un material magmático importante.

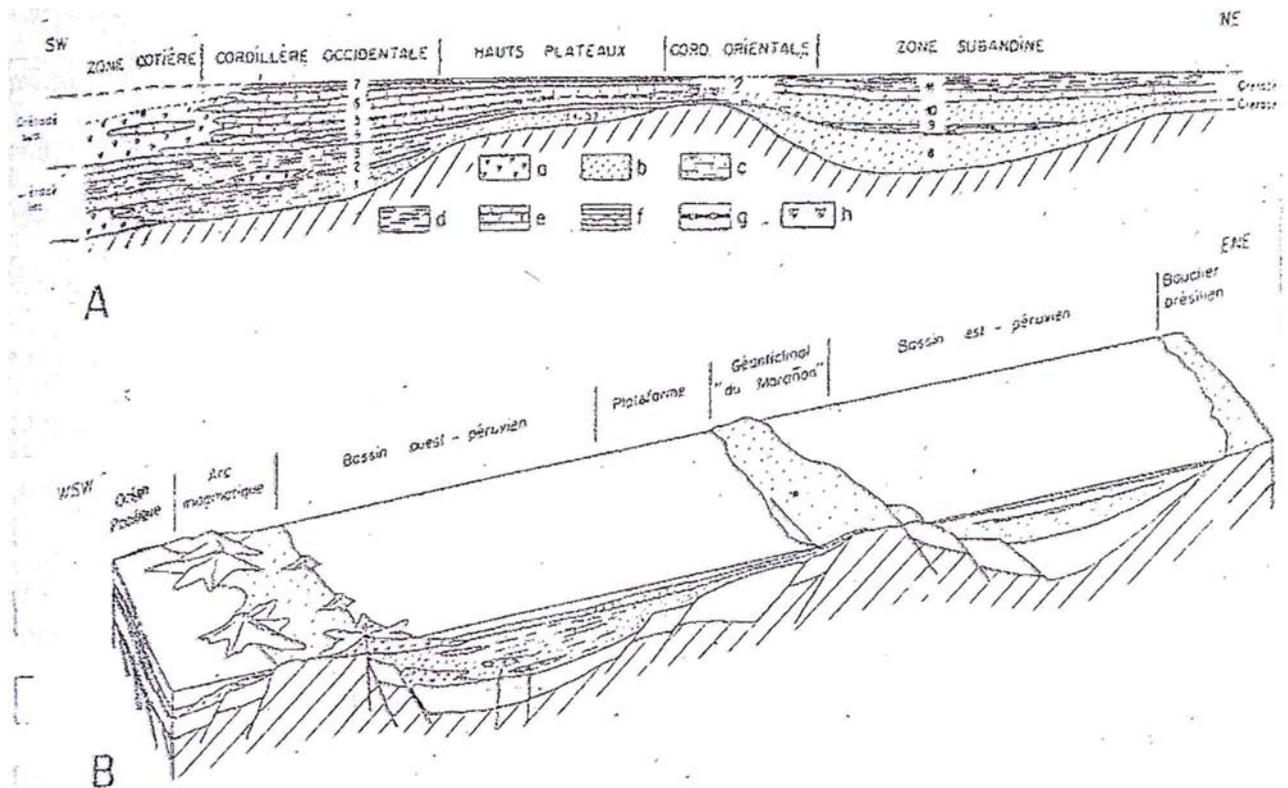


Figura II-2.- Evolución estructural de la cadena de los Andes según M. Romani (1982).

En el Santoniano comienza la tectorogénesis andina en la cual se distingue 3 fases de plegamientos: Peruana, Incaica, Quechua (Steinmann, 1929). Se ubican respectivamente a fines del Cretáceo, a fines del Eoceno y en el Mio-plioceno. En 1973, F. Mégard describió la fase Quechua 1 del Mioceno. J.P. Soulas, 1975; M. Sebrier, A. Lavenu, M. Fornari y J.P. Soulas, añaden dos fases de compresión que se manifiestan especialmente por estructuras quebradizas, una en el Mioceno medio (Quechua 2), otra en el Cuaternario. La fase situada en el límite del Mioceno – Plioceno (fase Quechua de G. Steinmann) se denominará Quechua 3. Estas fases compresivas no están todas representadas en las diferentes zonas estructurales andinas. Por ejemplo, la fase Peruana, está marcada únicamente por el paso de una sedimentación continental en la Cordillera Occidental.

El magmatismo andino de tipo calco-alkalino es imponente. El batolito de la costa que se formó a fines del Cretáceo y a comienzos del Mioceno, se expone por 1300 km. de

longitud con un ancho promedio de 50 km. Un volcanismo intermedio a ácido se desarrolla durante el Terciario superior al este del batolito. Luego de la fase Incaica, superficies de erosión (ubicadas actualmente a altitudes de 4000 m. y más) regularizan los relieves. Estas antiguas nivelaciones se han fechado a 60 km. al E de Lima en Santo Domingo de los Olleros, en donde la antigua superficie, que corta los terrenos cretáceos y el batolito de lo costa, está recubierta por una ignimbrita de 41.5 Ma (D.C. Noble, E.M. Mckee, F. Mégard, 1978). Pero esta antigua superficie en la cual se ubican las vulcanitas de 40 a 20 Ma de edad, con frecuencia está plegada con dichas vulcanitas, salvo en el batolito y sus cercanías. Así, las superficies que desempeñan verdaderamente una función en la morfogénesis, son más tardías.

La excavación de grandes cañones, posterior a las paleotopografías aplanadas, sería relativamente antigua. En efecto, 200 km. al norte de Lima en el valle del río Fortaleza, ignimbritas de fines del Mioceno (6Ma, J.S. Myers, 1976) (si ésta roca ácida no posee un exceso de argón radiogénico) están situados solamente a 50 m. encima del río. Así, la excavación realizada en esta época implica que uno de los grandes episodios de la surección andina es contemporáneo y posterior a la fase tectónica compresiva del Mioceno superior (M. Sebrier, R. Marocco, J. Macharé, 1982).

La zona en estudio se sitúa en la parte oriental de la Cordillera Occidental. Estamos en el borde de la cuenca y las fallas lístricas normales, características de estas zonas subsidentes, han desempeñado una función importante en la orogénesis andina.

2.2. Geología Regional

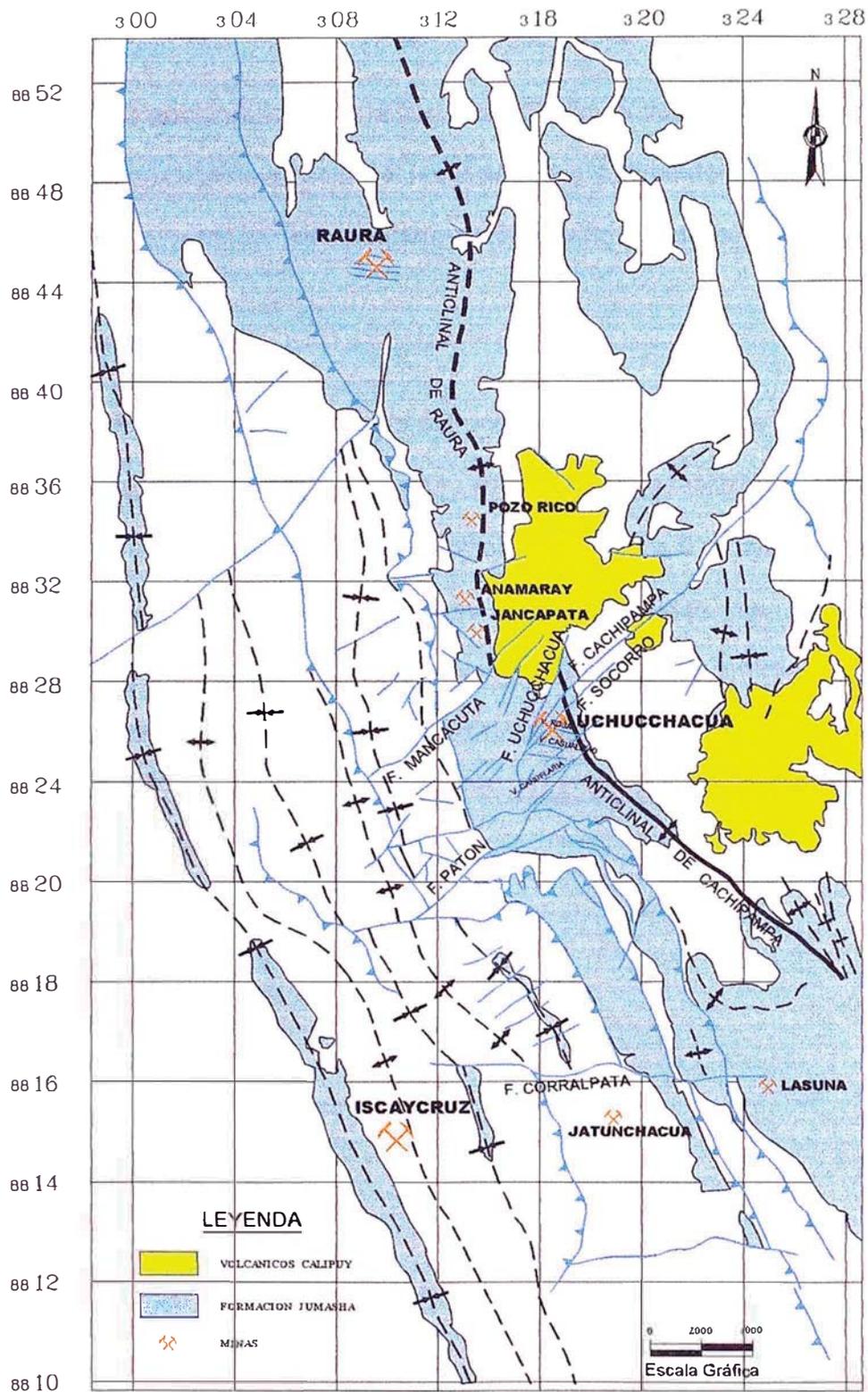
La geología regional de la zona de estudio está caracterizada por la presencia de rocas sedimentarias del Cretáceo, como son: el grupo Goyllarisquizga del Cretáceo Inferior, el grupo Machay del Cretáceo Medio, la formación Jumasha y la formación Celendín del

Cretáceo Superior, todos ellos concordantes entre sí, además se encuentran en discordancia la formación Casapalca del Paleoceno y el Grupo Calipuy del Neoceno.

Todo este paquete sedimentario fue afectado, desde el hundimiento de la Placa de Nazca en el Santoniano, por esfuerzos compresivos, siendo los más importantes la fase Peruana, Inca y Quechua del Cretáceo Superior, Eoceno y Mio-Plioceno respectivamente, provocando la deformación en las rocas sedimentarias dando lugar a la formación de importantes antiformas como el anticlinal de Cachipampa que se extiende por más de 40 km.

Es cerca al plano axial del anticlinal de Cachipampa donde se concentra la mayor cantidad de fracturas que permeabilizan la roca, así como en los cambios de rumbo de grandes fallas como Rosa, generando zonas favorables a la mineralización. Sin embargo, además existe un control litológico asociado a las calizas tipo grainstone del Jumasha Inferior que no presentan horizontes margosos considerado como un metalotecto favorable para la mineralización.

Producto del tectonismo se produjeron un importante conjunto de fallas regionales NE-SW como Mancacuta, Uchucchacua y Patón teniendo como conjugadas a un sistema E-W representadas por las fallas Rosa y Sandra (plano II-1).



Plano II-1.- Ubicación en la franja metalogénica del eje de los Andes del Distrito Minero de Uchucchacua a escala regional.

2.3. Geología Local

Dentro de la geología local de la zona de estudio se aprecia que las rocas carbonatadas del Jumasha predominan sobre el resto de rocas sedimentarias del Cretáceo descritas en Uchucchacua, y es en este paquete sedimentario donde se aloja la mineralización del cuerpo Rosario.

El cuerpo Rosario está controlado estructuralmente por la falla Rosa (plano II-2), ya que el cambio de rumbo de esta estructura fracturó y permeabilizó las calizas tipo grainstone del Jumasha Inferior, que además estuvieron sometidas a procesos de disolución cárstica que de alguna forma incrementaron la permeabilidad de la zona, así como el fracturamiento producto del plegamiento que dio origen al anticlinal de Cachipampa. Sin embargo existen otros factores estructurales, geoquímicos y mineralógicos que intervienen en la formación del cuerpo Rosario, los cuales se mencionan con detalle en los capítulos 3, 4 y 5 de la presente tesis.

2.2.1. Rocas Sedimentarias

2.2.1.1. Grupo Goyllarisquizga

Aflora entre la laguna Patón y Uchucchacua, al NO y SE de este centro minero ocupando algo más del 50% del área observada; en el se ha diferenciado cinco unidades asignadas al cretáceo inferior.

2.2.1.1.1. Formación Oyón. (Ki-o)

Conformado por una intercalación de lutitas gris oscuras, areniscas y capas carbonosas antracíticas muy disturbadas. Se reconoce una potencia de 400 m. aflorando al NW de Oyón. Se le asigna al Malm.

2.2.1.1.2. Formación Chimú. (Ki-Chim)

Constituido por cuarcitas blancas con una porción superior de calizas con capas arcillosas y lechos carbonosos. Tiene una potencia de 400 a 600 m., se le observa a lo largo del eje del anticlinal de Patón. Se ubica en el Valanginiano inferior.

2.2.1.1.3. Formación Santa. (Ki-sa)

Está representado por una serie de 120 m. de calizas, lutitas azul grisáceas, y ocasionales nódulos de chert. Aflora al oeste y norte de la laguna Patón; se le considera del Valanginiano superior.

2.2.1.1.4. Formación Carhuaz. (Ki-ca)

Es una alternancia de areniscas finas y lutitas marrón amarillento y una capa superior de arenisca de grano fino y color rojo brillante. Su potencia es de 600 m. y pertenece al Valanginiano superior a Barremiano. Aflora en el flanco oeste del anticlinal de Patón.

2.2.1.1.5. Formación Farrat. (Ki-f)

Representado por areniscas blancas con estratificaciones cruzadas de 20 a 50 m. de espesor; aflora al noroeste de la laguna Patón. Pertenece al Aptiano.

2.2.1.2. Grupo Machay

2.2.1.2.1. Formación Pariahuanca. (Ki-Ph)

Formado por un paquete de 50 m. De espesor consistente en calizas grises; afloran al noroeste de la laguna Patón. Se le asigna al Aptiano superior.

2.2.1.2.2. Formación Chulec. (Ki-Ch)

Consta de 200 m. de margas, lutitas y calizas en característica estratificación delgada, que en superficie intemperizada tiene una coloración marrón amarillento. Aflora al noroeste de Patón; se le ubica en el Albiano inferior.

2.2.1.2.3. Formación Pariatambo. (Ki-pt)

Constituido por lutitas negras carbonosas y caliza bituminosas plegadas, se sospecha con contenido de vanadio (J.J. Wilson). Tiene una potencia de 50 m. y hacia el techo existe una alternancia con bancos delgados de silex. Están expuestas al Oeste y noroeste de Patón; su edad es del Albiano medio.

2.2.1.3. Formación Jumasha. (Ki-j)

Potente secuencia de calizas gris claro en superficie intemperizada y gris oscuro en fractura fresca. Constituye la mayor unidad calcárea del Perú Central; se le subdivide en tres miembros limitados por bancos finos de calizas margosas beige.

2.2.1.3.1. Jumasha Inferior. (J-i)

Alternancia de calizas nodulosas con silex y calizas margosas que alcanzan los 570 m. de potencia. Se le ubica en el Albiano superior-Turoniano.

2.2.1.3.2. Jumasha Medio. (J-m)

Calizas grises alternadas con calizas nodulosas y algunos horizontes margosos. Se le estima 485 m. de grosor y se le asigna al Turoniano.

2.2.1.3.2. Jumasha Superior. (J-m)

Calizas de grano fino con una base de esquistos carbonosos, coronados por calizas margosas beige. Se le estima una potencia de 405 m. y se le ubica en el Turoniano superior. Es el techo del Jumasha.

Los afloramientos del Jumasha son los más extendidos en el área, y ha sido posible diferenciar cada miembro debido a las características antes mencionadas que las distinguen, (figura II-4).

2.2.1.4. Formación Celendin. (Ks-c)

Es una alternancia de calizas margosas, margas blancas y lutitas calcáreas nodulares marrón, que sobreyacen concordantemente al Jumasha. Se ha diferenciado dos miembros ubicados entre el Coniaciano y Santoniano.

2.2.1.4.1. Celendin Inferior. (C-i)

Conformado por calizas margosas amarillentas en alternancia con lutitas calcáreas de un grosor de 100 m. que en la base se muestran finamente estratificadas.

2.2.1.4.2. Celendin Superior. (C-s)

Esta formado por lutitas y margas marrón grisáceo de 120 m. de potencia.

Ambos miembros afloran flanqueando al anticlinal de Cachipampa, al oeste y Este de Uchucchacua.

2.2.1.5. Formación Casapalca. (Kti-ca)

Sobreyace ligeramente discordante sobre el Celendin y está constituido por lutitas, areniscas y conglomerados rojizos, con ocasionales horizontes lenticulares de calizas grises. Su suavidad y fácil erosión ha permitido la formación de superficies llanas tal como se observa en Cachipampa. Se le estima una potencia de 1000 m. y su edad probable es post-Santoniano.

2.2.2. Volcánicos

2.2.2.1. Volcánicos Calipuy. (Ti-Vca)

Esta gruesa serie volcánica (> 1000 m.) descansa en discordancia en el Mesozoico (Formación Casapalca) y es un conjunto de derrames andesíticos y

piroclásticos de edad Terciaria. Su espesor es estimado en 500 m. y aflora al Norte del distrito minero de Uchucchacua.

Los volcánicos Calipuy son posteriores a los plegamientos y a las fallas de sobreescurreamiento. En cambio, las fallas septentrionales cortan a los volcánicos Calipuy, indicando que éstas son mas recientes y probablemente reactivadas y relacionadas al proceso intrusivo y tectónico que dio lugar a la mineralización.

2.2.3. Cuaternario

2.2.3.1. Depósitos Morrénicos. (Q-mo)

A cotas mayores de 3,800 m.s.n.m. el área sufrió los efectos de la glaciación Pleistocénica, formando valles en "U" en cuyo fondo y laderas se depositaron morrenas que en varios casos represaron el hielo fundido, tal como la laguna Patón. Por otro lado, en Cachipampa las morrenas muy extendidas cubren a las capas rojas; estos depósitos están conformados por un conjunto pobremente clasificado de cantos grandes en matriz de grano grueso a fino generalmente anguloso y estriado.

2.2.3.2. Depósitos Aluviales. (Q-al)

Se encuentran ampliamente extendidos y son de varios tipos como: escombros de ladera, flujos de barro, aluviales de río. La naturaleza de estos elementos es la misma de las unidades de roca circundante.

2.5. Tectónica

M. Romani (1982), indica la existencia en los Andes del Perú varias fases compresivas:

- La fase Peruana, fini-Cretácea, que se manifiesta en la futura Cordillera Occidental sólo por un cambio de régimen de sedimentación;
- La fase Incaica orientada NO - SE fechada aproximadamente 40 Ma (G. Steinmann, 1929, F. Mégard, 1973);
- La fase Quechua 1, con la misma orientación que la precedente y comprendida entre 21 y 14 Ma (F. Mégard, 1973, J.P. Soulas, 1977);
- La fase Quechua 2 submeridiano comprendida entre 10,5 y 14 Ma (J.P. Soulas, 1977);
- La fase Quechua 3 orientada E-O, comprendida entre 4.5 y 6 Ma (J.P. Soulas, 1977);
- La fase Cuaternaria N130 de aproximadamente 2 Ma (J.P. Soulas, 1978).

Estas cinco fases se encuentran en el sector estudiado gracias a observaciones locales realizadas por M. Romani (1982). Al NO de la hacienda Otuto, dos brechas Terciarias de edades diferentes, discordantes sobre su substratum, permiten separar las tres fases: NO – SE (Incaica, Quechua 1) y E - O (Quechua 3). Es difícil separar las dos fases submeridianas que aparecen en numerosos lugares del sector cartografiado, pero la fase Quechua 2 parece diferenciarse por un pliegue decamétrico de eje NO – SE,

recubierto por un sobre-escurrimiento hacia el E (?). La fase cuaternaria sólo se distingue por una falla que afecta un dique riolítico, cortando la serie volcánica fini-Miocena al norte de Uchucchacua.

Los efectos respectivos de las diferentes fases compresivas son difícilmente separables, salvo los de la fase principal Incaica que hace retirar el mar y pliega la cadena. La fase Quechua 3 posee una intensidad relativamente importante puesto que acentúa el sobre-escurrimiento occidental y pliega la serie volcánica fechada en su tope en 5,4 Ma.

La actividad ígnea puede vincularse a las fases en cuestión de la siguiente manera: la serie volcánica fini-Miocena está plegada en sinclinal de eje N-S por la fase Quechua 3 que es más reciente, 5,4 Ma, en el sector estudiado. Un dique riolítico, antes citado, que corta esta serie, ha venido después del plegamiento el mismo a su vez esta cizallado por una falla de desgarre diestra N130 vinculada a una fase compresiva submeridiana plio-cuaternaria. Un episodio distensivo rebaja por el lado E, la serie volcánica mediante una falla normal.

Las mineralizaciones vinculadas al magmatismo han sufrido ciertas fases tectónicas: un primer episodio de mineralización Pb – Zn – Cu (C. Alpers, 1980) acompaña al intrusivo dacítico de la mina Uchucchacua, fechado 25,3 Ma (D.C. Noble, 1980) con su skarn. Las fases Quechua 1 y/o 2 forman brechas en este material intrusivo. Luego, seguramente durante un pulso magmático regional, hacia 9 Ma, se establece en distensión una segunda serie mineralizada con Ag – Mn – Zn que a su vez es afectado por la fase Quechua 3.

2.6. Geología Económica

Uchucchacua es un skarn distal, donde el mecanismo de fallamiento - fracturamiento del yacimiento Uchucchacua ha sido complejo, siendo la falla Uchucchacua la que ha jugado un rol muy importante, que conjuntamente con las fallas Cachipampa y Socorro han desarrollado y transmitido esfuerzos tensionales a lo largo del distrito minero Uchucchacua, con cabalgamientos de desplazamiento de rumbo para dar lugar a las fallas Rosa, Sandra, Marión, 3A, 4A, etc.

Entre cada par de fallas mayores del área de Uchucchacua se formaron zonas de dilatación y tensión, de modo tal que se desarrollaron estructuras de distensión menores, constituyendo canales permeables para la ascensión y precipitación de soluciones mineralizantes que dieron lugar al reemplazo de carbonatos formando cuerpos de mineral, además de grandes vetas.

La presencia de intrusivos ácidos como pequeños stocks y diques, sugieren la posible existencia de concentraciones ú ore bodies de mineral del tipo de metasomatismo de contacto especialmente de zinc.

La mineralización económica comercial es básicamente de plata, como subproducto se extrae zinc, se observa además una amplia gama de minerales de ganga muchos de rara naturaleza. Las estructuras se emplazan en rocas calcáreas del Cretácico superior y son de diversa magnitud, asociadas a ellas se encuentran cuerpos de reemplazamiento irregulares y discontinuos. En la mina Casualidad y al SO de la mina Socorro hay evidencia de skarn mineralizado.

Como mecanismo de deformación y mineralización en el área de Uchucchacua han intervenido también otros factores geológicos importantes:

- Buzamientos bajos en las calizas Jumasha Medio en el flanco Oeste del anticlinal Cachipampa cubriendo un área extensa, lo que ha permitido que los esfuerzos tectónicos desarrollen marcadamente estructuras menores de distensión abiertas para la circulación de fluidos hidrotermales.
- Características petroquímicas del contacto entre el Jumasha Inferior y Medio para constituir un metalotecto, pero también tectónicamente situado en un nivel litostático ideal para la precipitación de soluciones mineralizantes. Esto asociado a un horizonte margoso de pocas decenas de metros ubicada entre el Jumasha Inferior y Jumasha Medio.
- Una actividad criptovolcánica intermitente en profundidad, de los cuales los intrusivos de edad 25.3 Ma. y 9 Ma. parece haber sido los más importantes, al aportar fluidos hidrotermales a las fracturas permeables previamente desarrolladas.

CAPITULO 3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

3.1. Definición

Estudia la estructura de la corteza terrestre de una determinada región.

- a) Levantamiento estructural (planos geológicos) y análisis geométrico.
- b) Análisis cinemática de la deformación tectónica de las rocas presentes y su cronología relativa.
- c) Reconocimiento de eventos tectónicos en un sector (fallas, diaclasas) a partir de la cronología absoluta.

3.2. Estructuras Principales

3.1.1. En Superficie

La ubicación del horizonte guía en el tope del Jumasha Medio (Romani, 1982), ha permitido establecer con bastante precisión el cuadro estructural del distrito minero Uchucchacua.

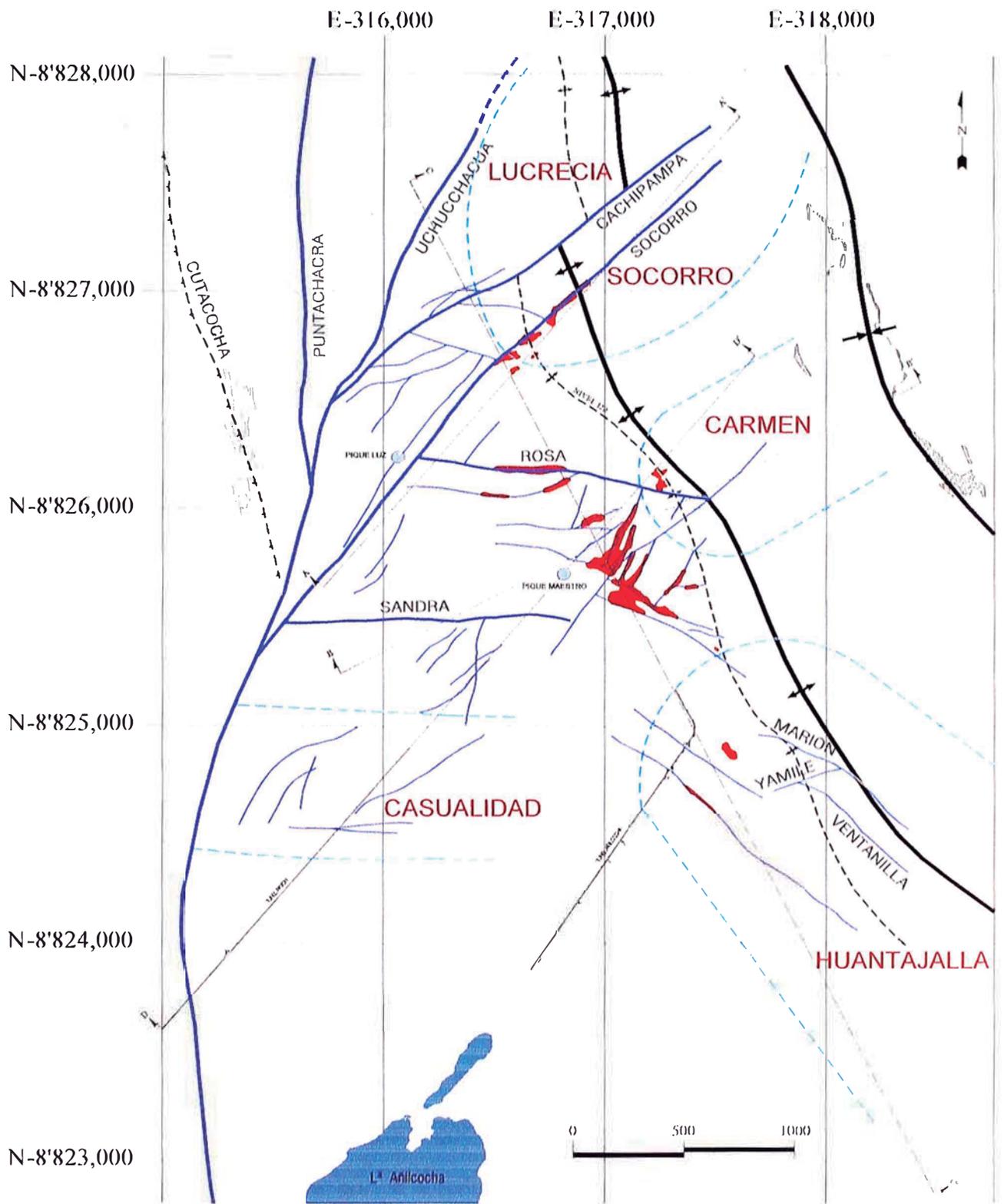
En Uchucchacua se logran diferenciar dos sectores de fallamiento transversal en sentidos de desplazamiento de rumbo muy propios:

- Un pequeño sector Norte está caracterizado por un fallamiento de desplazamiento de rumbo NE – SO con movimiento dextral, cuya

estructura mayor es la falla Uchucchacua, que en dirección NE a SO se conjuga con las fallas Cachipampa y Socorro.

- Un sector de mayor extensión, comprendido entre las fallas Socorro y Patón, que se diferencian del anterior por un marcado fallamiento de desplazamiento de rumbo con movimiento sinistral, donde las fallas mayores varían en rumbo en el sentido Oeste a Este: de NE - SO a E - O y finalmente a NO - SE. De Norte a Sur, las fallas principales son: Lucero, Norma, Rosa, Sandra-Marion, Huayucachi Norte, Huayucachi Sur y otros nominalmente no reconocidos.

La mayor parte de vetas mineralizadas en el yacimiento de Uchucchacua son rellenos de fracturas de tensión abiertas, producidas por las fallas de desplazamiento de rumbo y en algunos casos constituyen falla-vetas, probablemente por efectos de distensión posteriores en algunas de estas estructuras de compresión, como por ejemplo las falla-vetas Lucero y Rosa, además de estructuras de distensión como las falla-vetas Plomopampa 1 y Plomopampa 2 (plano III-1).



Plano III-1.- Geología estructural del Distrito Minero Uchucchacua, según el departamento de geología de Buenaventura (2005).

Anticlinal Cachipampa

C. Angeles (2002), indica que las relaciones entre pliegues y cabalgamientos han sido estudiadas en detalle en muchos cinturones plegados, de diversas edades, en el mundo. Particularmente es desde la década de los 80's que se ha puesto énfasis en el desarrollo cogenético entre el movimiento a lo largo de los cabalgamientos, y la deformación de las cajas, sobre todo del bloque techo (por ejemplo Boyer and Elliott (1982), y Jamison (1987)).

Aunque dislocado por la falla Cachipampa, y en menor grado por las fallas Socorro, Rosa y Cabalgamiento Nazareno, es el Anticlinal Cachipampa la estructura mayor que otorga su disposición general a la serie estratificada en la mayor parte del distrito minero y se habría formado durante el plegamiento Inca. La estructura general del anticlinal, encofrada asimétrica, con una bien marcada charnela NE (ángulo interlimbos de 95° a 115°), y una suave, aunque también de estilo chevron, charnela SO (ángulo interlimbos de 145°), aparece bien representada en las secciones estructurales de Romani (1982). El pliegue tiene además un suave buzamiento axial hacia el SE (Bussell y Baxter, 1986).

El estilo general del pliegue se ve complicado dentro de la sucesión marcadora. Esto se ve particularmente bien al norte de la falla Cachipampa: allí el intervalo margoso, adelgazado en el flanco NE, está espesado por cabalgamientos. Especialmente notable es un pequeño duplex, formado por la imbricación de escamas de falla entre un cabalgamiento techo, vergente al NE, y un cabalgamiento.

La flexión de las capas que forman el anticlinal se acompañó de una deformación plástica, traducida en una esquistosidad de disolución. Esta microestructura se muestra bien desarrollada en las facies más margosas (sucesión marcadora y Jumasha superior),

donde las superficies de disolución son más apretadas y tienen una disposición general anastomosada. En cambio en las unidades más calcáreas (Jumasha medio y parte del Jumasha superior) la esquistosidad es más espaciada, recta y frecuentemente estilolítica. En especial en Jumasha medio, la esquistosidad es con frecuencia indiscernible. En el flanco NE, fuertemente buzante, del anticlinal Cachipampa la esquistosidad resulta basculada con las capas, inclinándose entre sólo 10° y unos 35° hacia el SO. Allí, en las calizas margosas del Jumasha superior, se le superpone una segunda esquistosidad, más fuertemente inclinada que las capas, pero por lo común poco desarrollada.

El frente regional de esquistosidad se sitúa hacia donde el flanco NE del anticlinal se suaviza para pasar al Sinclinal Cachipampa. Esto ocurre aproximadamente hacia el tope del Jumasha superior / Celendín inferior. El Celendín superior (serie transicional) del Sinclinal Cachipampa carece de esquistosidad.

Falla Rosa

Tiene un rumbo promedio de S 80° E y alto ángulo de buzamiento, además de un comportamiento sinistral – normal. En el rumbo E - O se presenta como una zona favorable, emplazándose los principales cuerpos conocidos.

A partir de la base de Jumasha superior, la veta Rosa se convierte en un prisma de gruesas vetas de calcita, brecha hidráulica y superficies de cizallamiento internas. El conjunto llega a sobrepasar los 60 m. de ancho. Los cuerpos minerales asociados a la veta Rosa se encuentran en general por debajo de los 4600 m.s.n.m., y su posición estratigráfica es incierta. Sin embargo hacia el SE los cuerpos van profundizando y resultan primero próximos, y luego mayormente dentro de la posición aproximada del Jumasha inferior (C. Angeles, 2002).

Suponemos que tal disposición puede tener relación con el intervalo margoso situado en el tope del Jumasha inferior, que puede haber constituido una barrera de permeabilidad, aislando parte de la circulación hidrotermal por debajo de la base de Jumasha medio, salvo donde los desgarres / vetas le permitieron atravesar tal aquitard.

La falla-veta Rosa, ha sido una de las estructuras mineralizadas más productivas en las etapas iniciales de la mina Uchucchacua (Bussell y Baxter, 1985). En la zona axial del anticlinal Cachipampa (317,500 E- 8'825,900 N) tiene un rumbo general E - O, con desplazamiento horizontal de 200 m., mientras que más al Oeste exhibe un rumbo promedio N 70° O y cerca de la coordenada 316,600 E – 8'826,200 N, presenta un salto vertical de 100 m. en el bloque Sur de la falla, siendo éste el de mayor movimiento vertical dentro de las estructuras mineralizadas del yacimiento, donde en la mayoría de la vetas, los desplazamientos normales no pasan de 20 m. (Bussell y Baxter, 1985). En el flanco Oeste del C° Nazareno se bifurca en ramales Norte y Sur, donde el primero presenta en su componente vertical un desplazamiento de 12m., y en el bloque Norte ambos ramales contienen incrustaciones de calcita, pirolusita y fragmentos de calizas (Bussell y Baxter, 1985).

Las observaciones en los espejos de falla confirman movimientos sinistresales oblicuos, con el bloque Norte descendido; además, los espejos de fricción afectan capas de mineral y en otros casos hay superposición de mineralización, indicando que este tipo de fallamiento sinestral acompañó y obliteró la mineralización (Romani 1982, Bussell 1984).

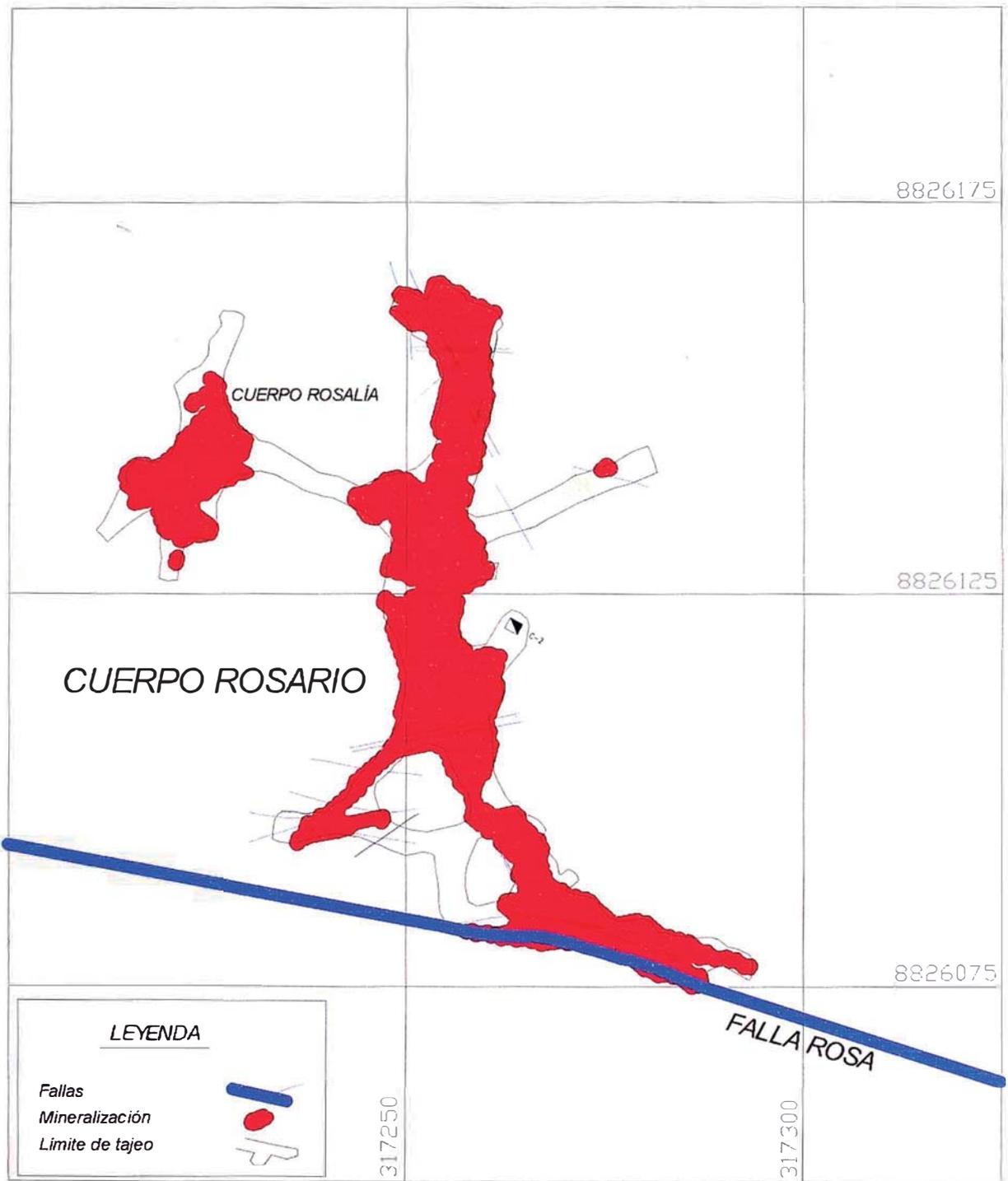
3.1.2. En Labores Subterráneas

Se ha reconocido estructuras importantes como la falla Rosa y el eje del anticlinal de Cachipampa, los cuales jugaron un papel importante para la formación del cuerpo Rosario al norte de la falla Rosa y otros cuerpos mineralizados al sur de la falla Rosa situados esencialmente en el Jumasha inferior. Tal posición puede obedecer a una combinación de control estratigráfico, por la menor permeabilidad del intervalo margoso del tope de Jumasha inferior; y de control estructural por una estructura más profunda. Este último podría haber sido ejercido por una rampa mayor en profundidad, ésta estructura es necesaria para explicar la existencia del Anticlinal Cachipampa (C. Angeles, 2002).

3.3. Relación del cuerpo Rosario con la Falla Rosa

Para la formación del cuerpo Rosario, la falla Rosa actuó como canal de circulación de fluidos hidrotermales, los cuales se alojaron en las capas de alto ángulo de buzamiento de las calizas del jumasha inferior, aprovechando la presencia de brechas cársticas y un sistema principal de fallas y venas NO – SE (plano III-2).

La mineralización examinada en la periferia Norte del Cuerpo Rosario ocurrió bajo régimen de compresión OSO – ENE, con una dirección de extensión asociada NO – SE. Fallas y venas de ésta fase antecedieron, se intercalaron con eventos de brechamiento hidrotermal y mineralización, y posiblemente continuaron incluso luego de cesada ésta última actividad (C. Angeles, 2004).



Plano III-2.- Plano estructural del Cuerpo Rosario en interior mina – Tajo 255, nivel 240.

3.4. Criterios Estructurales en Interior Mina como Guías de Exploración

3.4.1. Densidad de Venillas de Calcita

La intensidad de venilleo de calcita con más de 10%, por lo general, indica la cercanía a una zona de intensa actividad hidrotermal que posiblemente se encuentre mineralizada como en el caso del cuerpo Rosario (foto III-1). Además se puede determinar, mediante el uso de rayos ultravioleta, si el venilleo tiene origen hidrotermal, con lo cual se podría orientar mejor la exploración, teniendo en cuenta la influencia de grandes fallas.

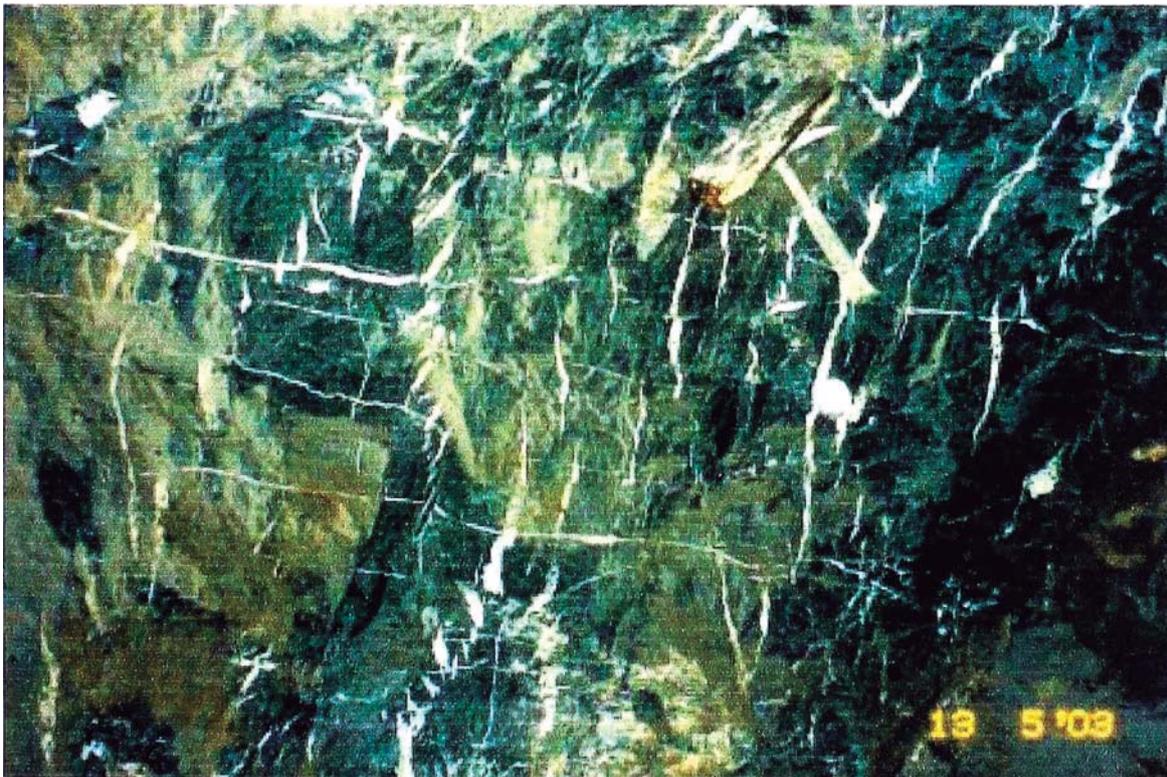


Foto III-1.- Interior mina (tajo 255)- Intensidad de venilleo de calcita en calizas del Jumasha a más de 100 m. de distancia de zona mineralizada del Cuerpo Rosario.

3.4.2. Intersección de Estructuras Mayores

La mineralización se ha emplazado en zonas donde existe intersección de fracturas y fallas, que por lo general presentan intenso venilleo de calcita. Además, ésta se encuentra controlada, en cierta forma, por el anticlinal Cachipampa.

Indudablemente el fallamiento regional originó el fracturamiento y brechamiento de la caliza que permitió la migración y deposición de los minerales así como el reemplazamiento; es necesario considerar algunos rasgos estructurales que han permitido ubicar concentraciones de mineral. En todo caso la conjugación del fracturamiento y fallamiento en todo el distrito.

Una de las características más conspicuas del distrito Uchucchacua y el área circundante es el fuerte fracturamiento dentro de las rocas huésped. Este marco estructural ha localizado el emplazamiento subsecuente de diques, vetas polimetálicas, y vetas estériles de carbonato. Las fallas de rumbo norte-noreste y las fracturas asociadas son el control estructural más importante.

Fallas estriadas

Según C. Angeles (2000), la hipótesis básica para la solución del problema inverso (obtener direcciones principales de paleoesfuerzos a partir de estructuras) es aquella de Wallace – Bott (Wallace, 1951; Bott, 1959 in Dehandschutter, 2001) que estipula que la dirección de deslizamiento sobre un plano de falla es paralela al esfuerzo de cizalla resultante sobre ese plano. Otra hipótesis básica complementaria es que el campo de esfuerzos regional es uniforme en el espacio y en el tiempo.

Anderson (in Allmendinger, 1999), observó que por ser la superficie terrestre una “superficie libre”, no tiene esfuerzo de cizalla paralelo a ella, y que por lo tanto alguna de las direcciones principales de esfuerzo le debe ser perpendicular, ya que un esfuerzo principal es siempre perpendicular a un plano sin esfuerzo de cizalla. Por ende los otros dos esfuerzos principales deben ser tangenciales a la superficie terrestre (figura III-1). Anderson conjugó esta idea con el criterio de ruptura de Mohr – Coulomb, obteniendo las tres posibles geometrías básicas de fallas respecto a las direcciones de esfuerzos principales (figura III-2). Las limitaciones básicas de la teoría Andersoniana son que supone a las rocas como medios isótropos (requisito del criterio Mohr – Coulomb); y su implícita suposición de deformación plana (sin deformación en una de las direcciones del elipsoide de deformación).

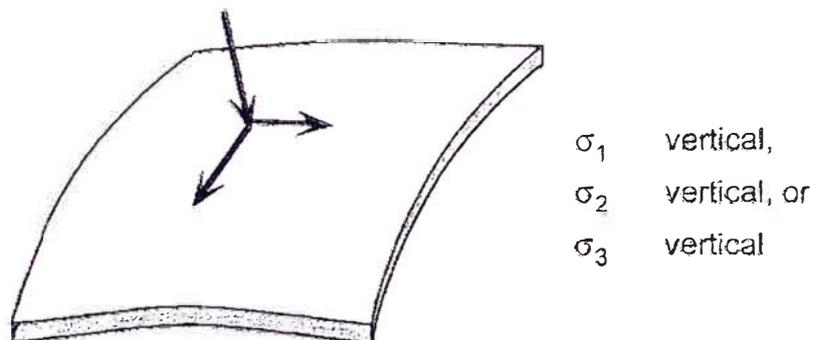


Figura III-1.- Esfuerzos principales tangenciales a superficie terrestre.

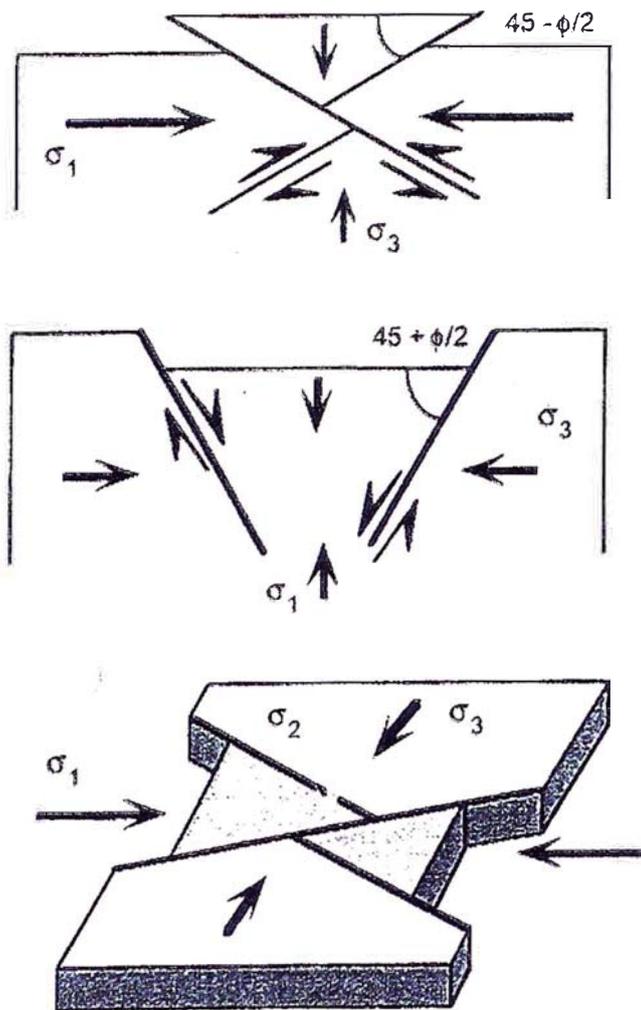


Figura III-2.- Geometrías básicas de fallas respecto a las direcciones de esfuerzos principales.

Sin embargo, el método de los diedros agudos de (Macharé, 2001), basado en el método de Anderson, es en muchos casos la forma más sencilla y efectiva de obtener una aproximación de los ejes principales del tensor de esfuerzos. Existen varios otros métodos tanto gráficos (diedros rectos, planos de movimiento, etc), como numéricos, para resolver el problema inverso.

Para cada superficie de falla estriada, aparte de la orientación del plano, se puede determinar la orientación de la estría o estrías. En éste último caso se puede establecer la cronología relativa de las estrías, así como sus sentidos de movimiento. El juego de

una estría puede ser determinado a partir de algún marcador desplazado, las estructuras menores de deformación en los labios de la falla (“arrastres”, venas plumosas, etc), o sobre todo, los rasgos mismos del espejo de falla (tectoglifos). En las calizas de Uchucchacua, sin duda el criterio más común de sentido de movimiento son los escalones de acreción de calcita (figura III-3).

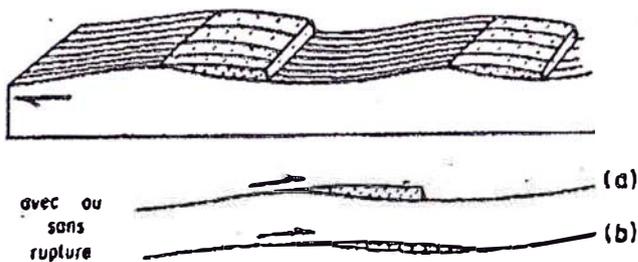


Figura III-3.- Escalones de acreción de calcita.

3.4.3. Arreglos escalonados.

Según C. Angeles (2004), los sistemas de venas minerales, frecuentemente organizados en arreglos escalonados (o en échelon), están entre las estructuras menores más comunes en terrenos deformados en los niveles estructurales superiores de la corteza terrestre, donde por lo común son abiertos bajo presión de fluido como las que presenta la roca huésped del cuerpo Rosario (foto III-2).

Los arreglos escalonados pueden concebirse como zonas de cizalla de tipo frágil – dúctil, es decir dónde se combinan rasgos de deformación discontinua (las fracturas gradualmente rellenas de mineral) con sectores de deformación continua (los puentes de roca entre las venas).



Foto III-2.- Arreglos escalonados en calizas del Jumasha cerca al cuerpo Rosario, mostrando con flechas amarillas el sentido de movimiento de fallas potenciales.

Los principales parámetros geométricos de los arreglos escalonados son (figura III-4): la orientación de la zona o plano general del arreglo (“falla potencial” en los arreglos escalonados netamente cizallantes (ad infra)), el ángulo de la vena – plano general del arreglo (θ), el ancho de la zona (t), la longitud de la vena (v), el traslape (o) y el espaciamiento entre venas (s). Los arreglos escalonados suelen presentarse en sistemas conjugados.

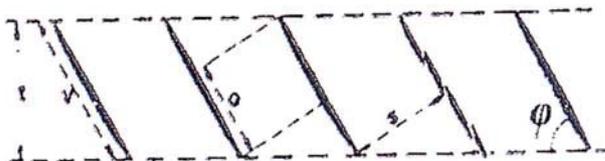


Figura III-4.- Parámetros geométricos de arreglos escalonados, Angeles 2002.

Ramsay y Huber (1987) examinaron el muy frecuente caso en que las venas son paralelas entre sí y a una de las bisectrices del sistema conjugado que es uno de los ejes principales del elipsoide de deformación incremental ($\emptyset = \frac{1}{2}$ del ángulo entre arreglos escalonados conjugados) (figura III-5). Ellos demostraron que sólo cuando $\emptyset = 45^\circ$, el volumen del arreglo escalonado se mantiene constante. Con $\emptyset > 45^\circ$ los efectos de disolución son mayores que los de veneamiento, resultando en una pérdida de volumen del arreglo escalonado. En el caso extremo ($\emptyset = 90^\circ$), sólo hay superficies de disolución estilolíticas. Con $\emptyset < 45^\circ$, el veneamiento predomina y el arreglo escalonado se dilata. En el caso extremo correspondiente ($\emptyset = 0$), sólo hay venas sin escalonamiento.

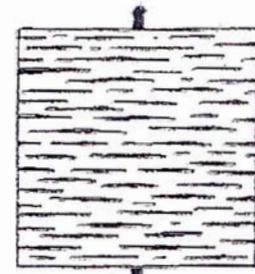
Rothery considerando no sólo \emptyset , sino también los demás parámetros geométricos, determinó dos tipos fundamentales de arreglos escalonados:

Arreglos escalonados de cizalla: $\emptyset > 27^\circ$, alto traslape ("o" de entre 40% y 100%), presentándose como sistemas conjugados dónde puede predominar una u otra familia. Son formados por rotura en extensión local durante la propagación de una zona de cizalla. Así el plano del arreglo escalonado puede ser concebido como el de una falla potencial. El eje de acortamiento del elipsoide de deformación incremental (Z) será una de las bisectrices de los arreglos escalonados conjugados.

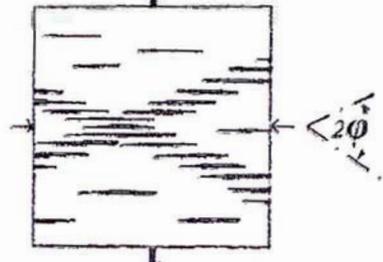
Arreglos escalonados de extensión: $\emptyset < 27^\circ$, bajo traslape ("o" de entre 0 y 40%), el sentido de escalonamiento puede variar, incluso dentro del mismo arreglo escalonado. Son formados por propagación de una vena o fractura dilatante. El eje de estiramiento del elipsoide de deformación incremental (X) será ortogonal al arreglo escalonado promedio.

El valor límite de \emptyset proviene de Garret (1974 in Rothery (1987)), quien halló que cuando adquiere valores por debajo de 27° la teoría mecánica del desarrollo de venas en zonas de cizalla carece de validez.

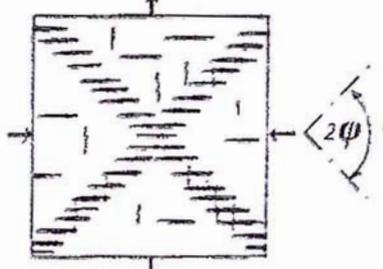
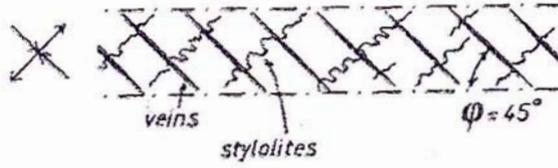
A. Stretching only, Δ_V^{++} , no shear zones.



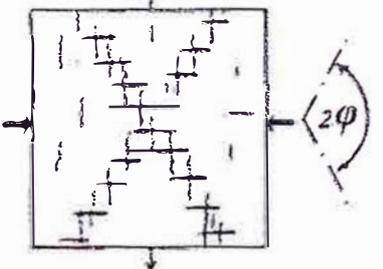
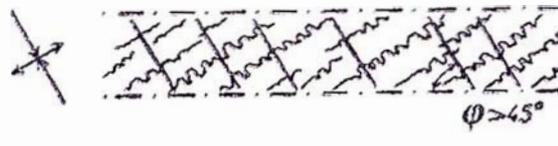
B. Stretching and shortening, Δ_V^+ .



C. Stretching and shortening, Δ_V^0 .



D. Stretching and shortening, Δ_V^- .



E. Shortening only, Δ_V^{--} , no shear zones.

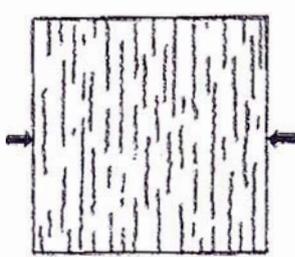
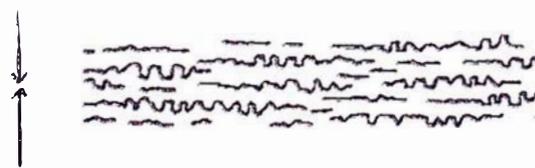


Figura III-5.- Arreglos escalonados más frecuentes según Ramsay y Huber (1987).

3.5. Diagrama de Rosas

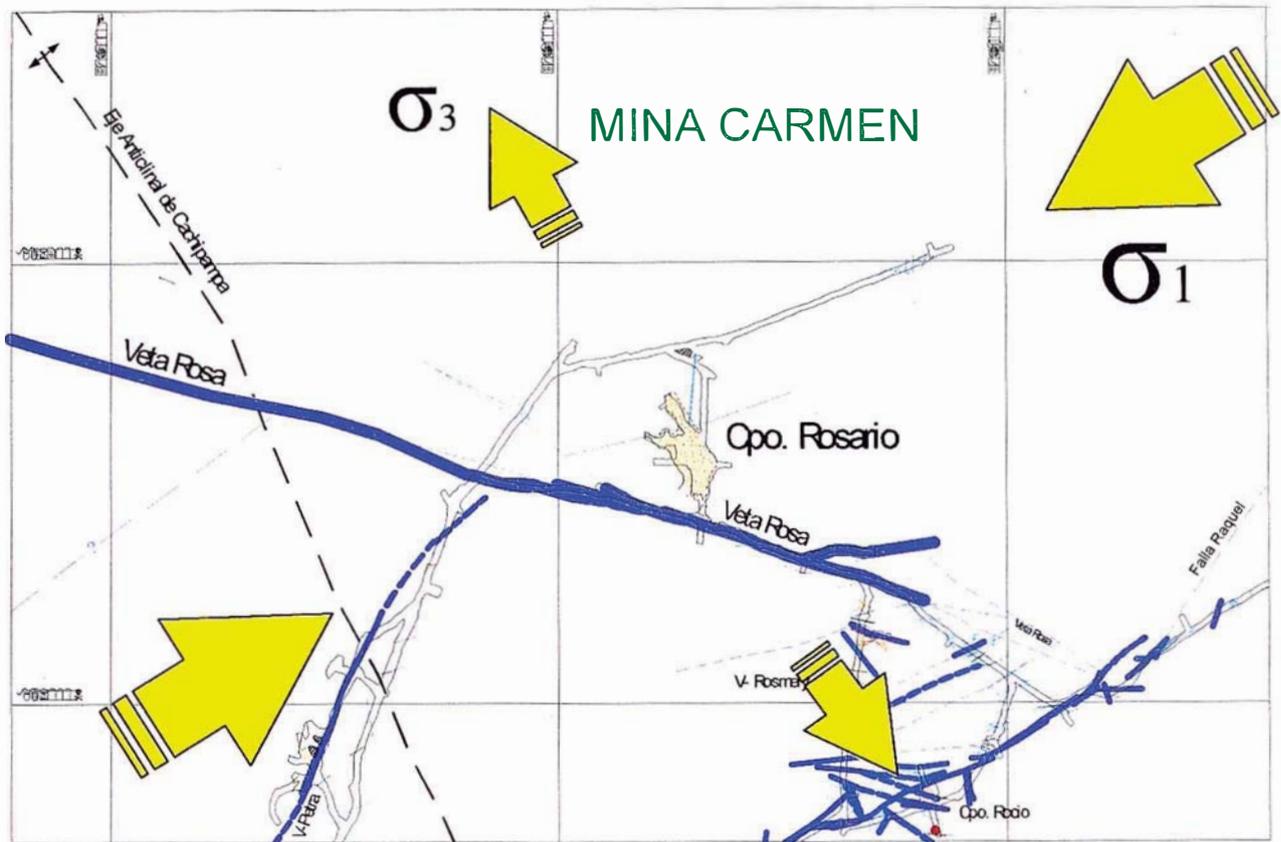
Los diagramas demuestran que existe una fuerte y predominante fase de compresión ESE – ONO y extensión NO – SE relacionada con la mineralización.

Prueba de ello es la evidencia de desgarres conjugados de dos familias de fallas, respectivamente orientadas SO – NE dextrales, y SE – NO sinestrales, en donde se observó que una de las fallas dextrales desplazó a una de las fallas sinestrales del episodio anterior. Determinando una dirección de compresión aproximada N260 - 080 (plano III-3).

Así mismo se tiene la presencia de venas gruesas (1 - >25 mm), de varios decímetros de longitud, orientadas SO – NE, y fuertemente inclinadas preferentemente hacia el SE, compuestas por calcita y eventualmente rodonita, salvo algunas que contienen brechas de caliza, calcita y rodonita. Donde se determinó la dirección de extensión aproximada N300 – 150 que indica la concentración de polos de estas venas de extensión.

Angeles (2004), cree que estas direcciones son indicativas del contexto tectónico de la mineralización. La misma dirección de compresión, y la extensión NO – SE asociada, se han mantenido durante la fase de hidrotermalismo (fallas posiblemente dextrales, y venas SO – NE que atraviesan brecha hidrotermal), y posiblemente incluso después (existencia de fallas con estrías de rumbo que atraviesan cuerpos con brecha en otros sectores de la mina Carmen).

Los resultados obtenidos de la toma de datos estructurales de los tajos 255, 238 y 261 se presentan a continuación en las figuras III-(6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14).



Plano III-3.- Dirección de compresión aproximada N260 – 080 determinada para el cuerpo Rosario (tajo 261- nivel 180).

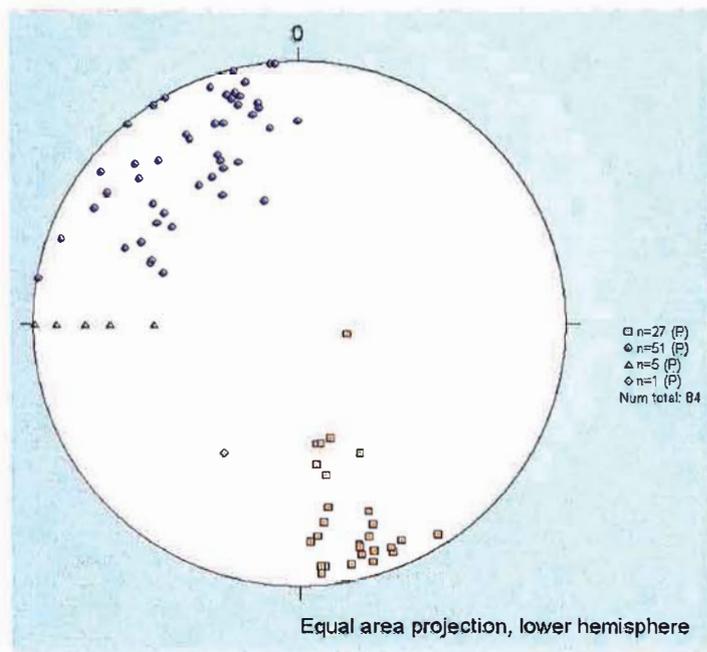


Figura III-6.- Estereograma tajo 255

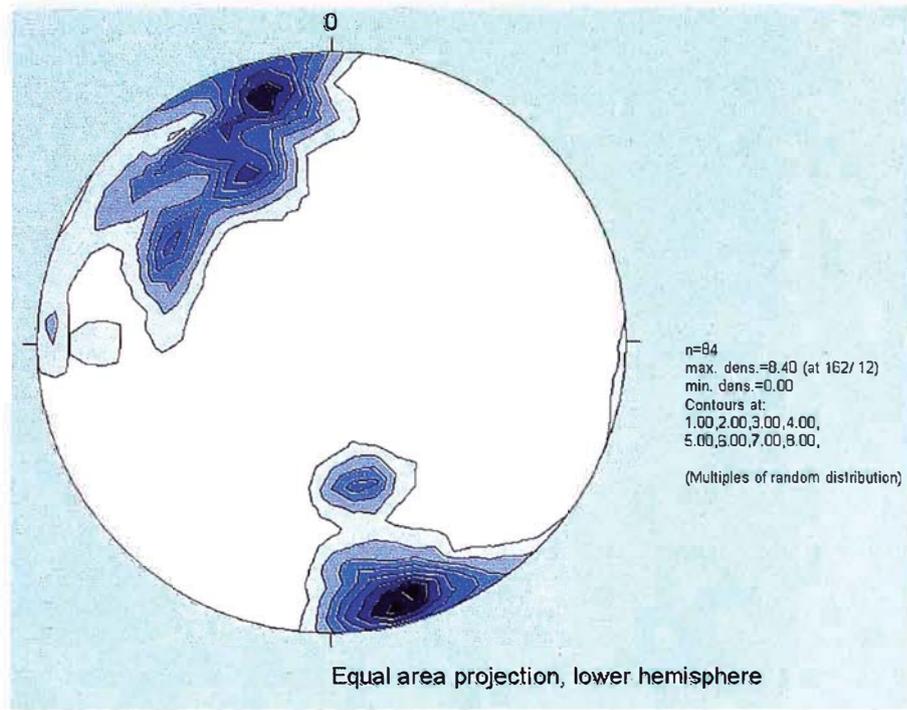


Figura III-7.- Estereograma de densidad tajo 255

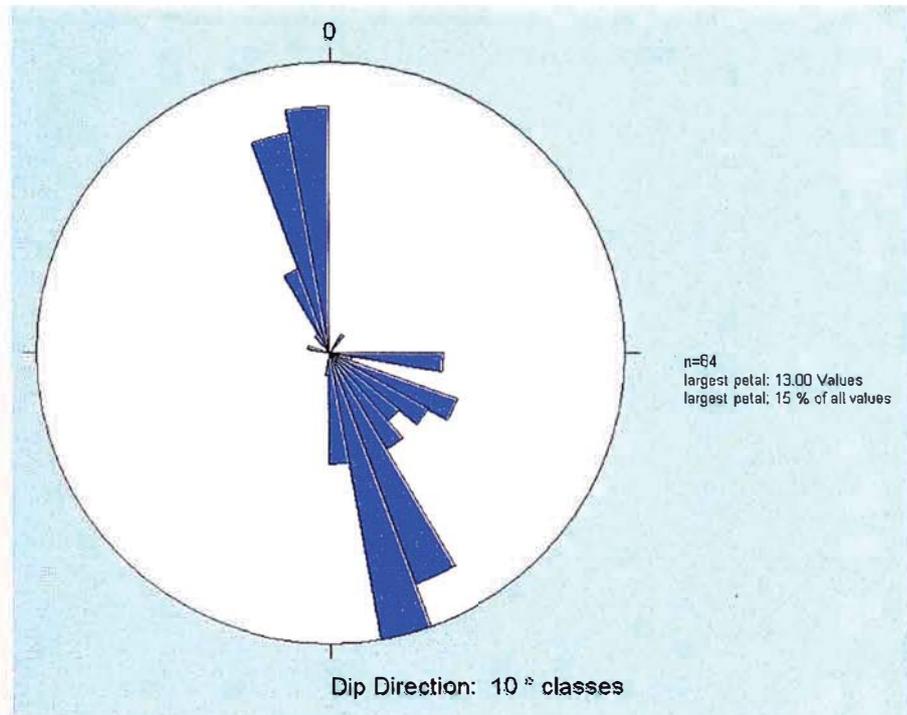


Figura III-8.- Diagrama de rosas tajo 255

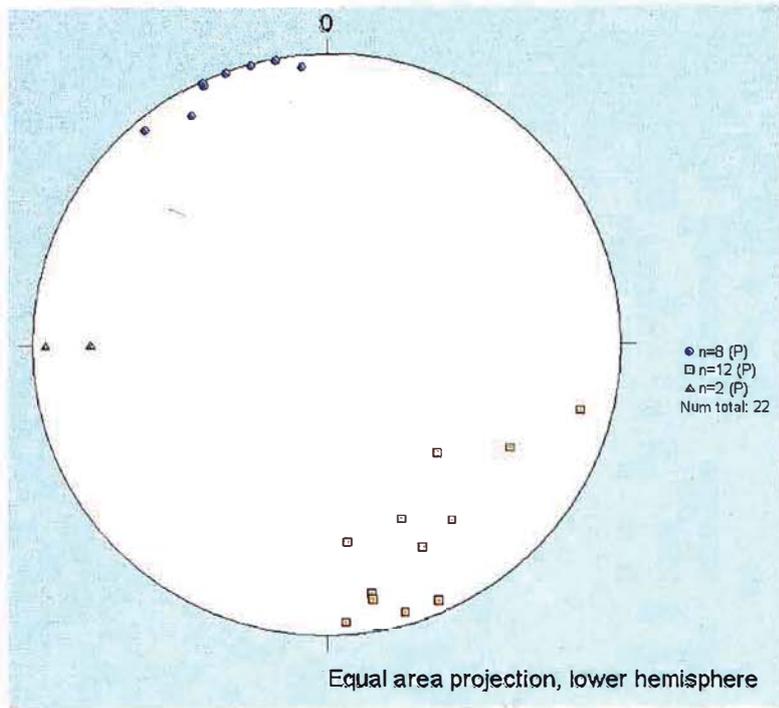


Figura III-9.- Estereograma tajo 238

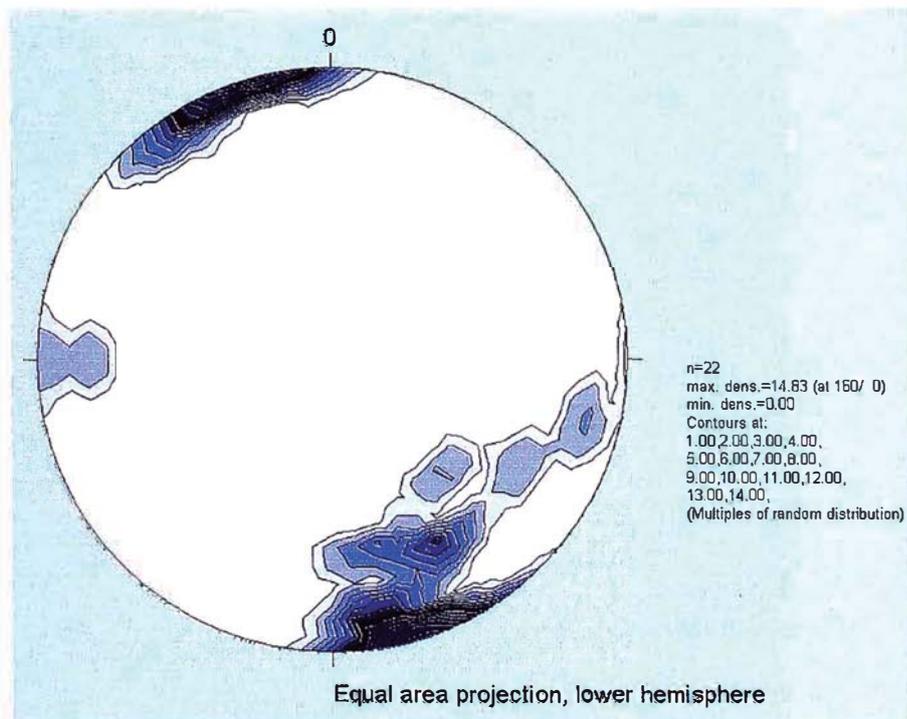


Figura III-10.- Estereograma de densidad tajo 238

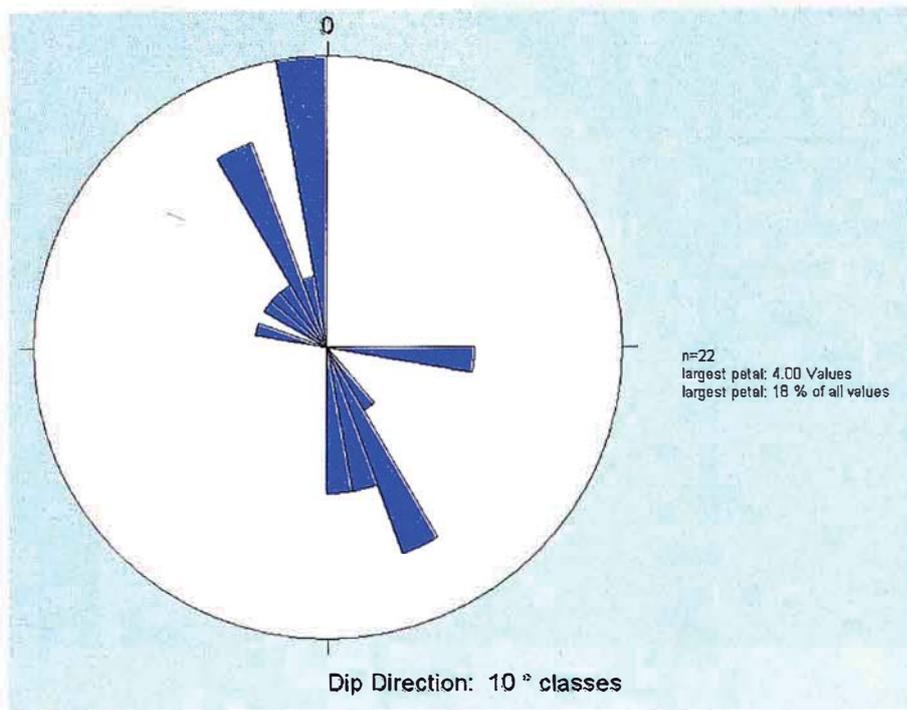


Figura III-11.- Diagrama de rosas tajo 238

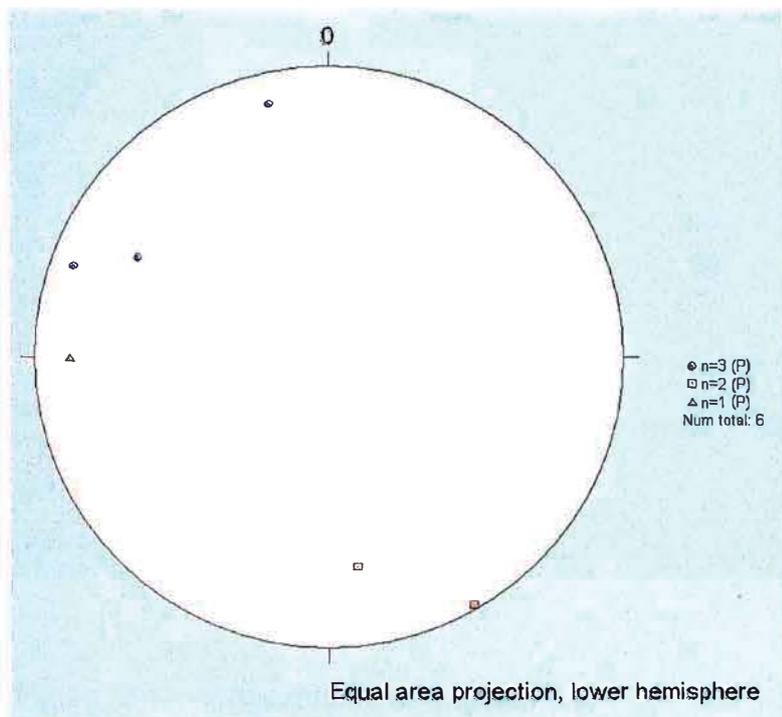


Figura III-12.- Estereograma tajo 261

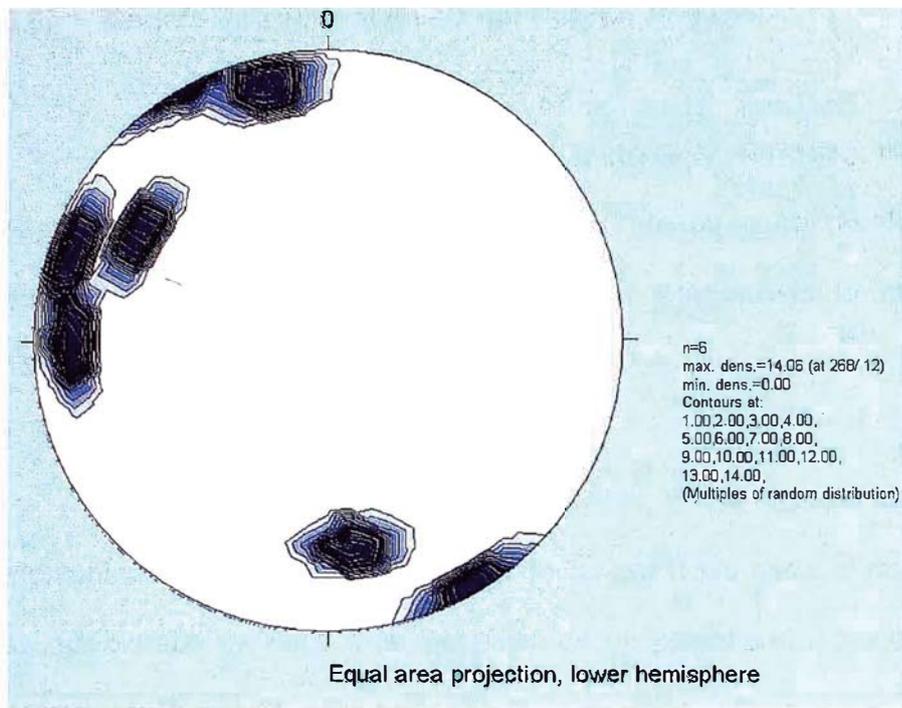


Figura III-13.- Estereograma de densidad tajo 261

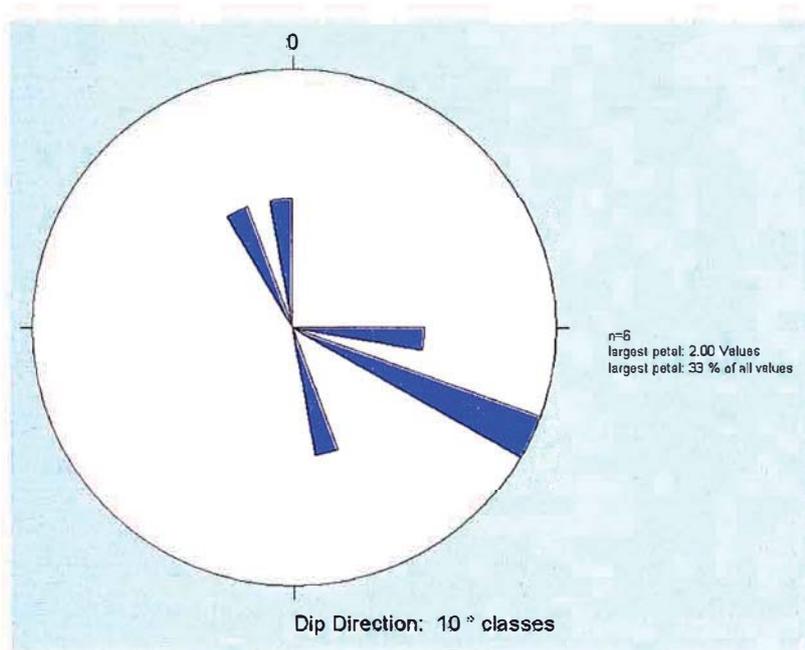


Figura III-14.- Diagrama de rosas tajo 261

3.6. Modelo Estructural en 2D del Cuerpo Rosario

Configurado a partir de labores mineras y sondajes diamantinos, se tiene al cuerpo Rosario como un "pipe" de más de 300 m. de altura, donde el mayor desarrollo se encuentra entre los niveles 240 y 120 llegando a tener más de 30 m. de ancho (figura III-15).

Notablemente asociado a la veta Rosa, el cuerpo Rosario se ubica adyacente y manteniendo el mismo plunge que el de la veta Rosa hacia el norte. Dicha configuración es posible que se deba a la presencia de un paleokarst adyacente a la falla Rosa y a estructuras menores conjugadas a la falla Rosa, en donde la estructura mayor sirvió como conducto para la ascensión de fluidos mineralizantes que se emplazaron, precipitaron y reemplazaron las calizas del jumasha inferior dando lugar al cuerpo Rosario.

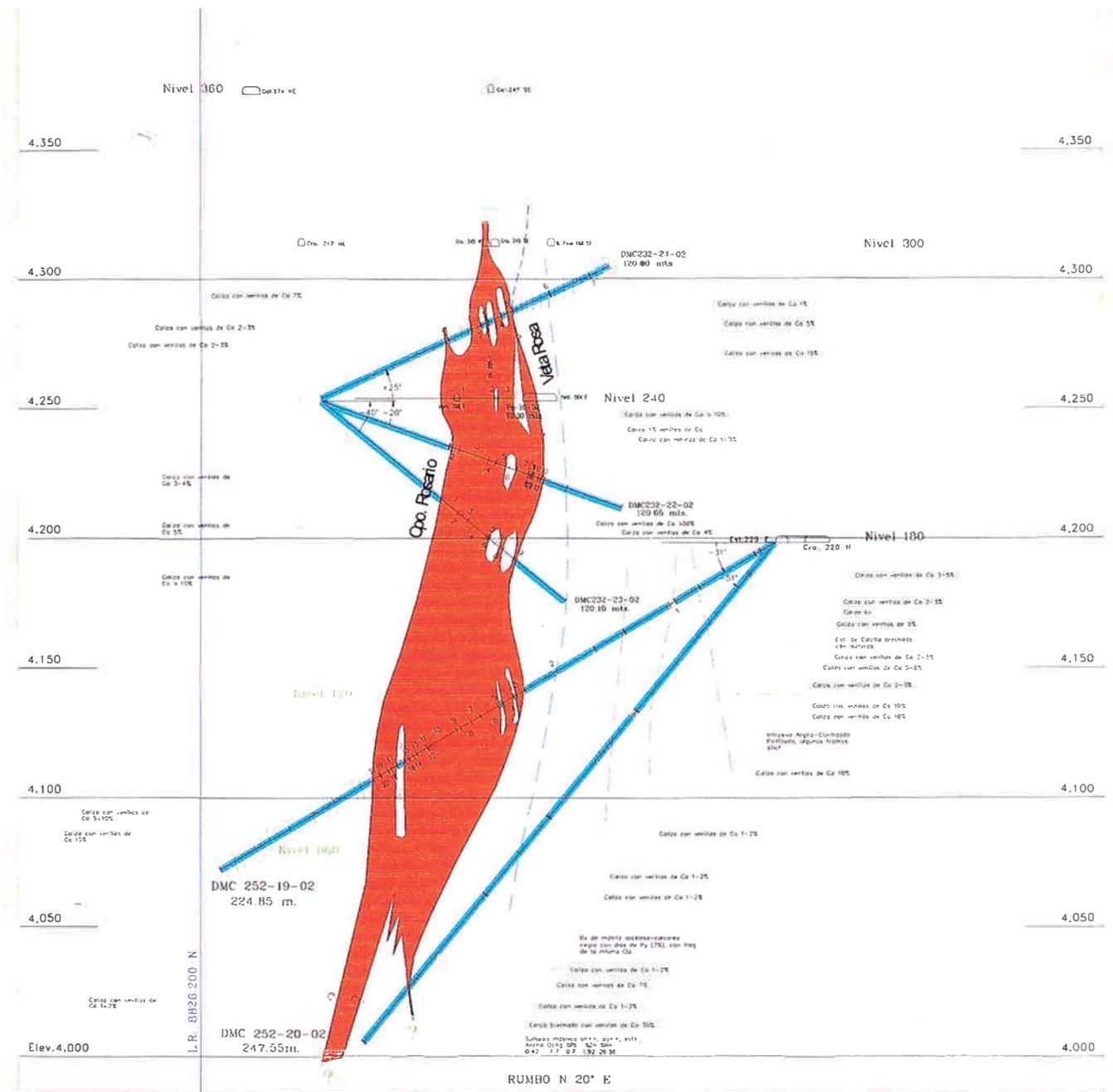


Figura III-15.- Cuerpo Rosario definido en 2D mediante sondajes diamantinos.

3.7. Modelo geológico estructural en 3D del Cuerpo Rosario

Se define como un “pipe” de 300 m. aproximadamente (figura III-16) asociado a la falla Rosa, cuyo origen esta ligado probablemente a paleocarsts observando que alrededor del cuerpo se encuentran masas de calcita esparítica muy gruesa (foto III-3), con clastos de caliza, relleno de cavidades de sección ovalada, tratándose probablemente de precipitación en cavidades cársticas. Además se asocia a la existencia de brechas hidrotermales pre-mineral cortadas por un sistema de venas de extensión asociadas a la mineralización.

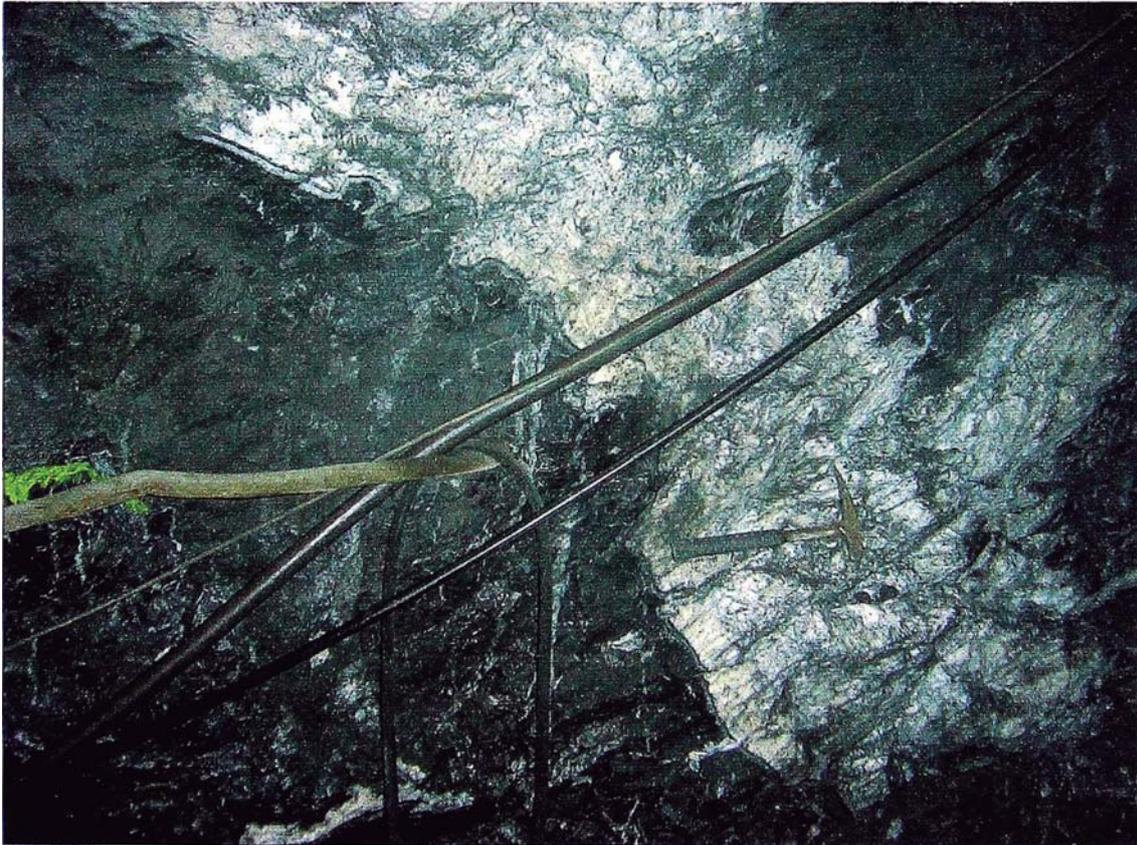


Foto III-3.- Calcita esparítica a menos de 50 m. del cuerpo Rosario.

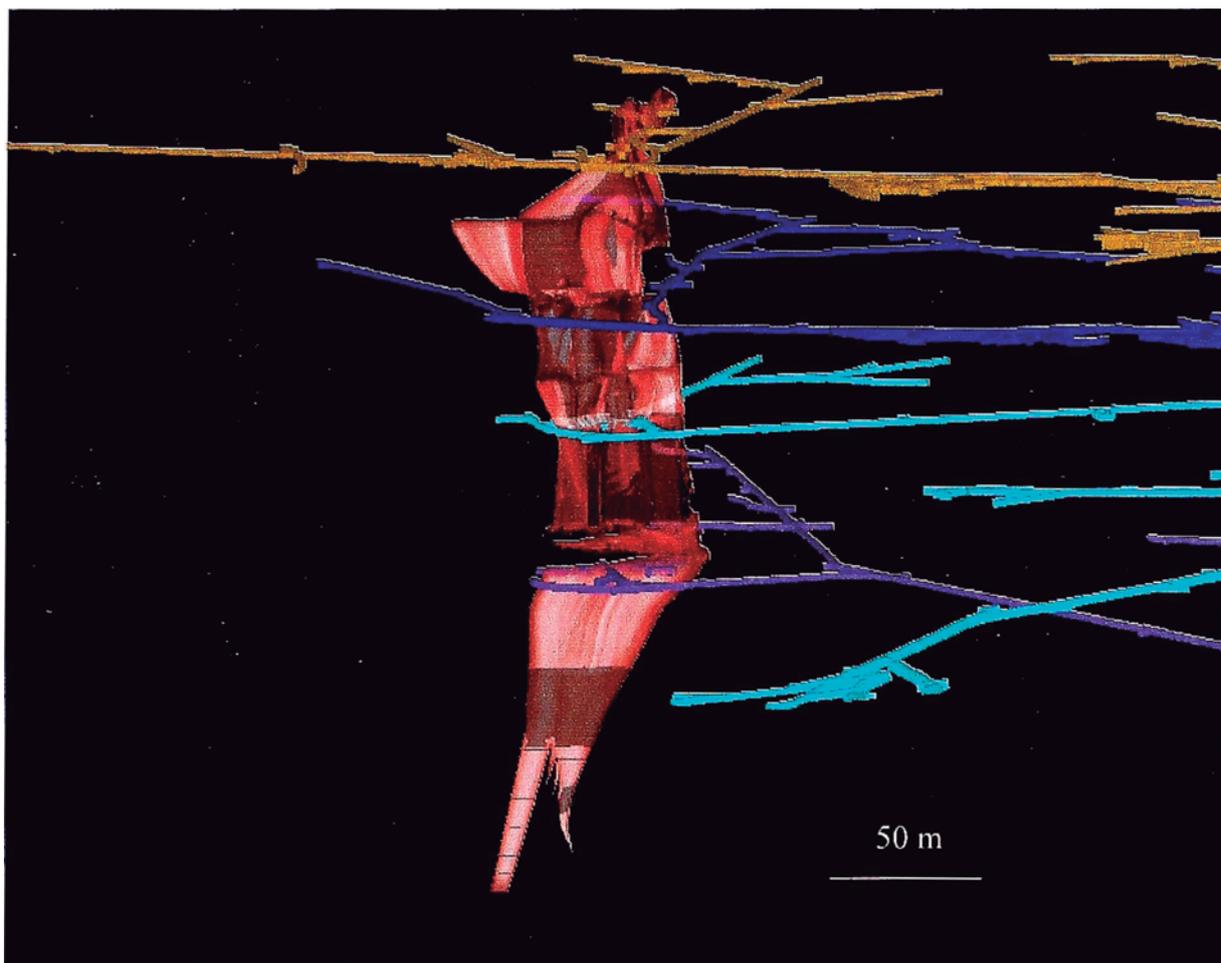


Figura III-16.- Cuerpo Rosario definido en 3D mediante modelamiento en GEMCOM.

CAPÍTULO 4. PETROMINERALOGÍA

4.1. Definición

La Petromineralogía tiene por objeto determinar ensambles mineralógicos, tipos de roca y texturas, permitiendo el análisis paragenético y de zonación.

Con este fin se extrajeron muestras de interior mina, de manera puntual, ubicadas en zonas mineralizadas representativas del cuerpo Rosario.

Se entiende que un fluido mineralizante cambia gradualmente su composición mientras migra desde su fuente ya que reacciona con las rocas, cambiando su composición química, pH y otras propiedades; migra a sectores de menor presión y pierde calor al entrar en contacto con rocas más frías. Al ocurrir estos cambios físicos y químicos, los minerales de mena y ganga se aproximan a sus respectivas constantes de equilibrio y son depositados en cierta secuencia. Esta deposición secuencial provee un registro detallado de la evolución en tiempo y espacio de una solución mineralizante.

El orden cronológico de deposición mineral se conoce como la secuencia paragenética o paragénesis de un depósito mineral, mientras que la distribución espacial se conoce como zonación. La paragénesis se determina principalmente en base a estudios microscópicos con luz reflejada de secciones pulidas, pero la relación entre distintas venillas constituye también antecedentes valiosos al respecto.

Los patrones de zonación corresponden a cambios mineralógicos tanto en la vertical, como en la horizontal en áreas mineralizadas. Las zonas pueden ser definidas por diferencias en los elementos metálicos y contenido de elementos trazas, diferencias en el contenido de azufre o incluso en sutiles diferencias entre razones de ciertos elementos. Cualquiera que sea la relación que se use para definir las zonas, la zonación

y la paragénesis son cogenéticas, solo son dos aspectos del mismo fenómeno de formación de depósitos minerales.

La zonación es consecuentemente cualquier patrón regular en la distribución de minerales o elementos en el espacio en yacimientos minerales, el cual puede manifestarse a nivel de depósito individual (zonación de depósito mineral), en un distrito minero (zonación distrital) o en una región más grande (zonación regional). Las zonaciones mineralógicas reflejan las distintas condiciones físico-químicas existentes en distintos sectores de un sistema hidrotermal, pero puede darse el caso de traslapes de zonas con asociaciones minerales que reflejan por ejemplo distintas condiciones de presión y temperatura. En estos casos se dice que el depósito es telescópico (del inglés "telescoped"). Estos traslapes o zonas de superposición de distintas condiciones hidrotermales pueden resultar de procesos de denudación o remoción en masa, los que eventualmente pueden exponer zonas profundas a condiciones cercanas a la superficie.

En la delimitación de cuerpos de mena, de interés económico, los cambios zonales a menudo son buenos indicadores para saber si el mineral tendrá mayor extensión o se cerrará durante la exploración avanzada y esto constituye una aplicación práctica de la zonación a nivel de un cuerpo mineral individual. Por su parte, la zonación a nivel distrital puede permitir orientar la exploración hacia áreas superficiales o a determinadas profundidades en las que es esperable encontrar cuerpos de mineral.

Por su parte la paragénesis es indicativa de la evolución de los fluidos durante la formación de depósitos minerales.

4.2. Toma de Muestras

Las muestras extraídas del cuerpo Rosario fueron tomadas de manera puntual en los tajeos 255 y 261, en las zonas mineralizadas más representativas buscando que la muestra presente la mayor cantidad de minerales para poder determinar con mayor precisión la paragénesis y zonación que existe en el cuerpo Rosario.

Para tal fin se tomaron dos muestras del tajo 255 correspondiente al nivel 240, cada una en diferente etapa de explotación, así como una muestra del tajo 261 perteneciente al nivel 180.

Dichas muestras se estudiaron haciéndoles secciones pulidas, pudiendo determinar así los ensambles mineralógicos, paragénesis y zonación mostradas a continuación.

4.3. Minerales en Interior Mina

Los minerales reconocidos en interior mina se pueden dividir en dos grupos, los minerales económicos o mena y los minerales no económicos o ganga, dentro de los cuales se han hecho estudios al microscopio de secciones pulidas de tres muestras, pudiendo apreciar las características solo del primer grupo por ser minerales opacos, mientras que el segundo grupo está conformado por minerales traslúcidos y quedan para un posterior estudio de secciones delgadas.

Generalmente la disposición de los minerales genera estructuras de crustificación bandeada o en escarpela, sin embargo se han podido reconocer estructuras masivas de aspecto brechoide.

4.3.1. Minerales de Mena

Muestra N° 1.- Mina Carmen, Nivel 240, Cuerpo Rosario, Tajo 255

La muestra pertenece a un cuerpo mineralizado, masivo, en la cual se pueden apreciar abundantes sulfuros (foto IV-1).

La **pirita** se presenta como cristales anhedrales a euhedrales, diseminados en ganga con tamaños hasta de 0.045 mm. También ocurre en forma de “playas” de diseminaciones milimétricas cubriendo gran parte de la superficie de la muestra. Está siendo reemplazada por la marcasita. Se le observa como inclusiones en la escalerita. Es el mineral más abundante en la muestra, calculándose en 35%.

La **esfalerita** está como cristales anhedrales, diseminados en la ganga y formando “playas” de diseminaciones milimétricas. Solo en sectores presenta una fina y escasa exsolución de calcopirita I. Siendo reemplazada parcialmente por calcopirita II y galena. Tiene inclusiones de pirita y arsenopirita. Su porcentaje se calcula en 10%.

La **arsenopirita** se presenta como cristales subhedrales a euhedrales, con tamaños hasta de 0.15 mm. Se encuentra reemplazada por marcasita. Es reemplazada por pirita, esfalerita. Tiene escasas porosidades, algunas de ellas rellenas por calcopirita, galena y esfalerita. Existe aproximadamente en 1%.

La **calcopirita** ocurre en dos generaciones, la primera consiste en diminutos granos (menores a 0.005 mm), como exsolución en la esfalerita, solo en algunos sectores del mineral, la segunda generación se presenta en granos más desarrollados (hasta 0.015 mm) diseminados, reemplazando a la esfalerita y relleno algunas porosidades en la

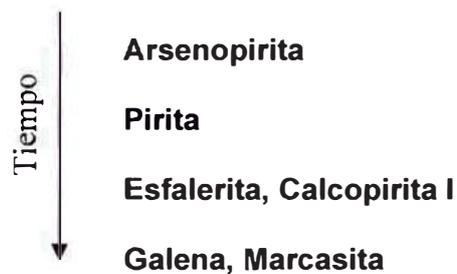
arsenopirita y pirita, así como fracturas de la pirita, esfalerita y ganga. Su porcentaje es menor al 1%.

La **galena** se presenta en cristales anhedrales a subhedrales, disseminados en la ganga o reemplazando a la esfalerita y calcopirita II. También se presenta como relleno de porosidades en la arsenopirita y pirita. Los granos llegan a medir hasta 0.2 mm. Su porcentaje es de 0.5% aproximadamente.

La **marcasita** se presenta en cristales anhedrales, íntimamente relacionados a la pirita al cual reemplaza parcialmente y en menor proporción asociada a la arsenopirita. Se pueden localizar algunos cristales disseminados en la ganga, donde tienen formas subhedrales a euhedrales. Su porcentaje llega al 6%.

Textura.- Masiva, relleno de fracturas y parcialmente de reemplazamiento.

Posible secuencia de formación mineral:



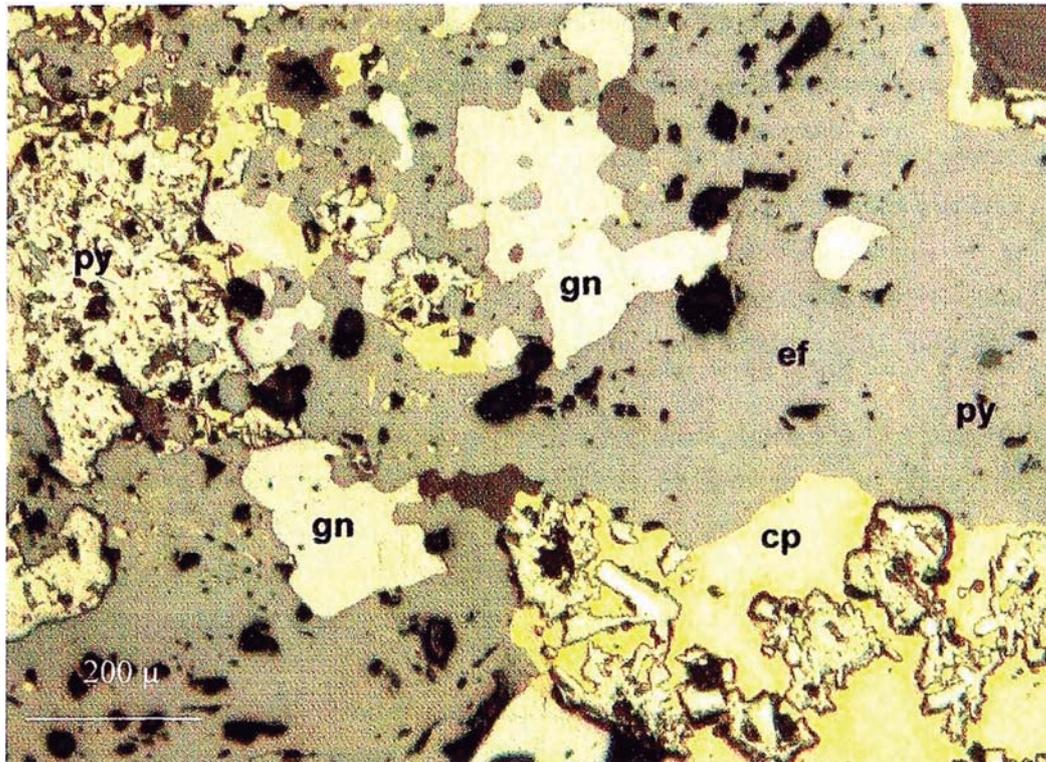


Foto IV-1.- Intercrecimiento de esfalerita (ef) con inclusiones de pirita (py), donde la galena (gn) y la calcopirita (cp) la están reemplazando parcialmente. Calcopirita con inclusiones de pirita. Nicoles paralelos.

Muestra N° 2.- Mina Carmen, Nivel 180, Cuerpo Rosario, Tajo 261

La muestra presenta una mineralización en bandas alternas y en menor cantidad diseminado en la ganga. Hematina y limonitas tiñendo la ganga por sectores (foto IV-2).

La **pirita** se presenta como cristales anhedrales a subhedrales en tamaños menores a 0.35 mm. Se le observa diseminado en la ganga o como inclusiones en la esfalerita y galena. Es parcialmente reemplazada por la marcasita. Rellena intersticios entre los granos de la ganga. Su porcentaje es menor al 1%.

La **esfalerita** se presenta como cristales anhedrales. Es el mineral más abundante en la muestra. Ocurre como "playas" de dimensiones milimétricas. En sectores contiene una escasa exsolución de pirrotita. Reemplaza a la magnetita y pirita, siendo reemplazada por la galena. Su porcentaje llega al 7% aproximadamente.

La **magnetita** se presenta como cristales anhedrales a subhedrales, diseminados en ganga, llegando a medir hasta 0.25 mm. Está siendo reemplazada por pirita y esfalerita. Hay muy poca cantidad. Trazas.

La **pirrotita** ocurre solamente como exsolución en la esfalerita, al cual está asociada. Los granos tienen formas redondeadas y tamaños menores a 0.005 mm. Trazas.

La **galena** se presenta en cristales anhedrales a subhedrales, diseminados en la ganga y reemplazando a la esfalerita y magnetita en los bordes e interior de los granos. El tamaño máximo observado es de 0.08 mm. Su porcentaje es menor al 1%.

La **marcasita** se presenta como cristales anhedrales, con tamaños menores a 0.045 mm. Se encuentra muy asociada a la pirita, al cual reemplaza. Se encuentra como trazas.

Los óxidos de Fe (**hematina y limonitas**) ocurren como relleno intersticial y tiñendo parcialmente a la ganga. El porcentaje calculado es de 4%.

Textura.- Bandeada, diseminada y parcialmente de reemplazamiento.

Posible secuencia de formación mineral:

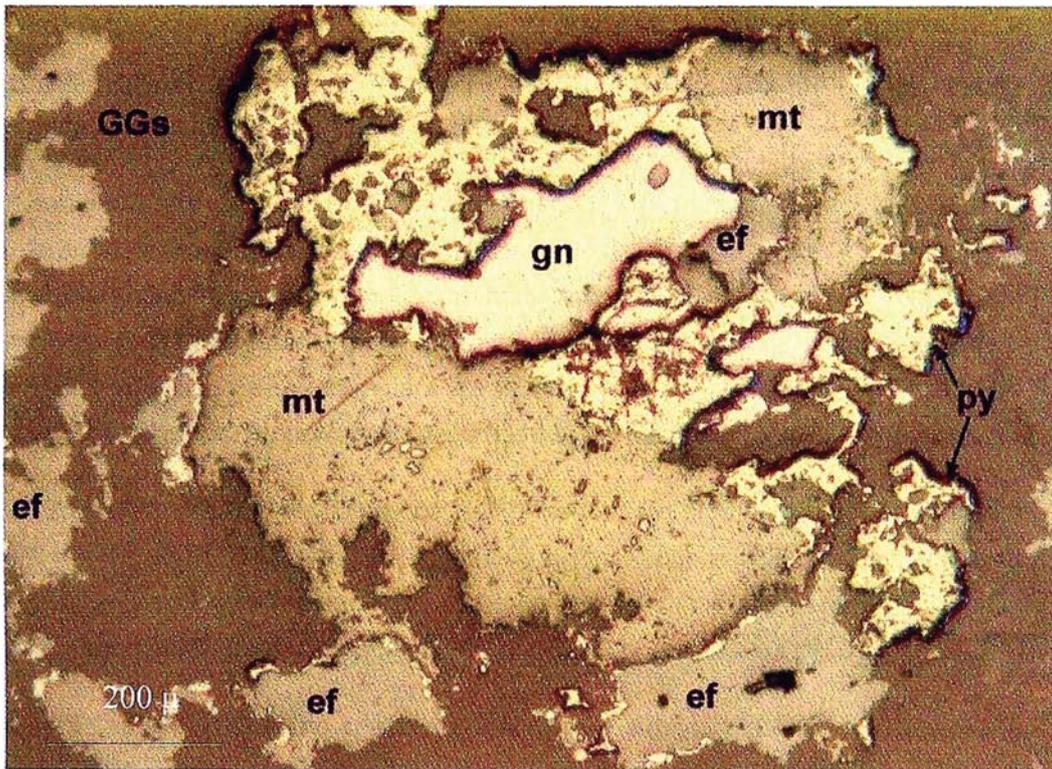
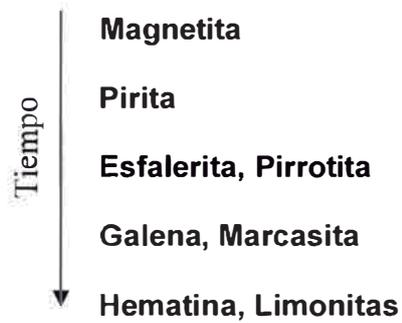


Foto IV-2.- Intercrecimiento de magnetita (mt) reemplazada parcialmente por pirita (py), y la galena (gn) que reemplaza a ambos minerales. La esfalerita (ef) se encuentra en el borde de la magnetita. Los granos ocurren diseminados en la ganga (GGs). Nícoles paralelos.

Muestra N° 3.- Mina Carmen, Nivel 240, Cuerpo Rosario, Tajo 255

En la muestra se observa una mineralización semi-masiva, compuesta mayormente por esfalerita, pirita y en menor cantidad galena (foto IV-3).

La **esfalerita** se presenta como cristales anhedrales, formando "playas" que llegan a superar el milímetro de longitud. Rellenan los intersticios entre los granos de ganga. Está siendo parcialmente reemplazada por galena y reemplaza a la pirita, minerales a los cuales está asociado. Tiene inclusiones de pirita, magnetita y arsenopirita. En sectores del mineral se puede apreciar una escasa exsolución de calcopirita y pirrotita. Su porcentaje llega al 10% aproximadamente.

La **magnetita** se presenta como cristales anhedrales a subhedrales, relícticos, con tamaños menores a 0.3 mm. Se les observa diseminados en la ganga, asociados a la esfalerita o como inclusiones en la esfalerita y muy escasamente en la pirita. Es reemplazado por la esfalerita y galena. Su porcentaje es del 8%.

La **pirita** se presenta como cristales anhedrales a subhedrales, diseminados en la ganga o formando agregados de granos de dimensiones milimétricas. Parece reemplazar a la arsenopirita y magnetita. Se altera a marcasita en los bordes y parte central. Reemplaza a la arsenopirita y magnetita. Su porcentaje es de 3%.

La **arsenopirita** ocurre en cristales subhedrales a euhedrales, diseminados en la ganga. Los granos miden menos de 0.035 mm. Se les puede apreciar como diminutas inclusiones en la esfalerita y galena, minerales que lo reemplazan parcialmente, lo mismo que la pirita. Se encuentra como trazas.

La **marcasita** se presenta asociada a la pirita. Ocurre en cristales aciculares, con tamaños menores a 0.06 mm. Reemplaza a la pirita. Trazas.

La **calcopirita** ocurre en cristales anhedrales, de forma circulares y con tamaños inferiores a 0.003 mm. Solo se presenta como exsolución. Trazas.

La **pirrotita**, al igual que la calcopirita, se presenta en cristales anhedrales, con formas circulares y tamaños menores a 0.005 mm. Trazas. Como exsolución en la esfalerita.

Textura.- Diseminada y de relleno, parcialmente de reemplazamiento.

Posible secuencia de formación mineral:

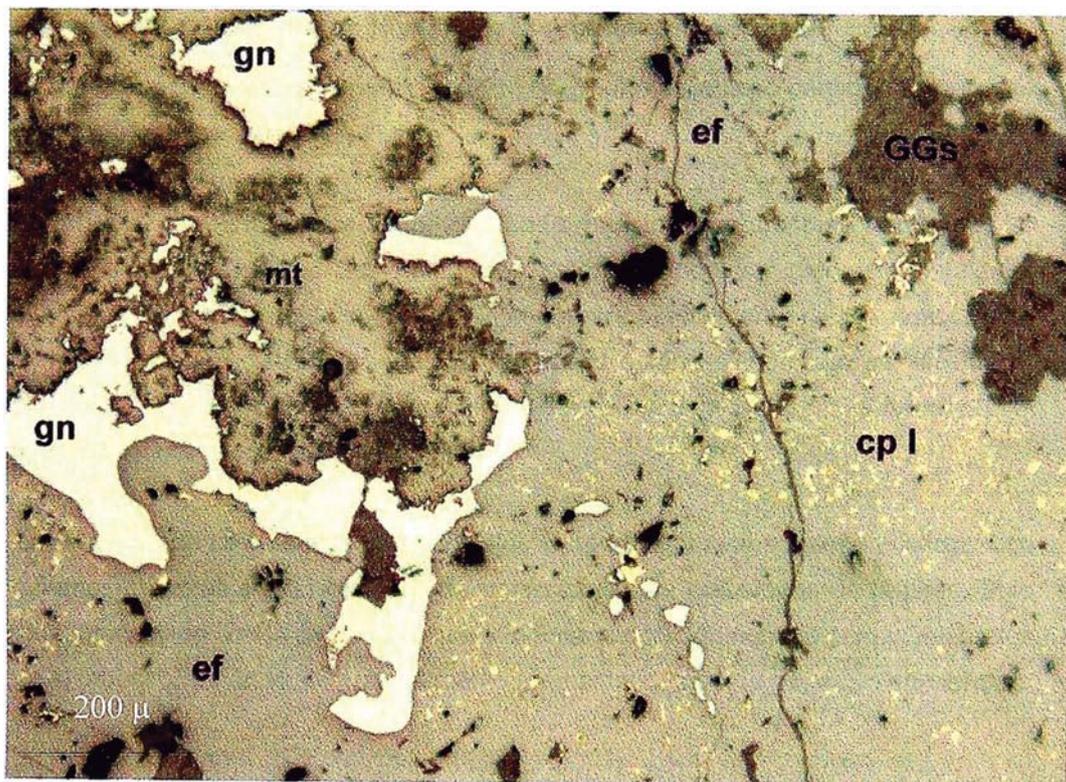


Foto IV-3.- Se observa una "playa" de esfalerita (ef) con una escasa exsolución de calcopirita (cp I) de primera generación. Además se puede observar cómo la galena (gn) reemplaza a la esfalerita. Ganga (GGs) como inclusiones. Magnetita (mt) reemplazada por galena y esfalerita. Nícoles paralelos.

4.3.2. Minerales Ganga

El cuerpo Rosario, así como otros cuerpos del distrito minero Uchucchacua, presentan minerales no económicos poco comunes, de naturaleza compleja, como son la johansenita y la bustamita. Estos minerales son hidrosilicatos de manganeso que por teoría corresponderían a un skarn distal, sin embargo es motivo de un nuevo estudio determinar su origen, ya que Uchucchacua se caracteriza por ser un yacimiento de reemplazo de carbonatos.

Sin embargo también existen minerales conocidos como el cuarzo, rodocrosita, rodonita y calcita, presentes en concentraciones apreciables dentro del cuerpo Rosario (foto IV-4).

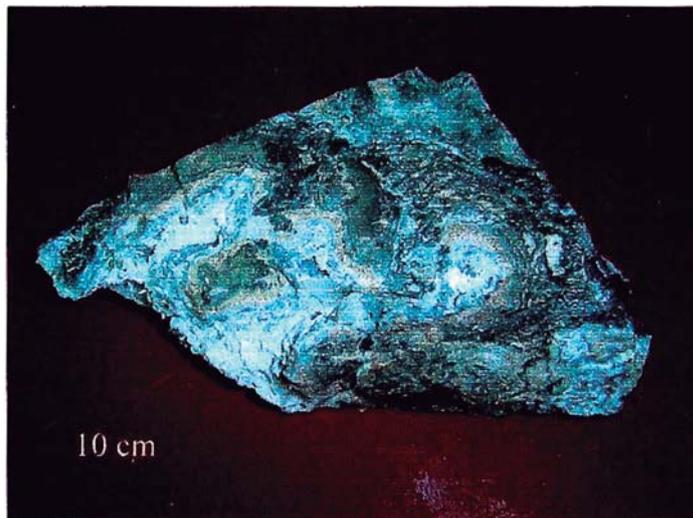


Foto IV-4.- Muestra de mano correspondiente al cuerpo Rosario del tajo 255 nivel 240. Presenta una estructura crustiforme, donde la caliza no reemplazada se encuentra en el núcleo englobada por cuarzo-calcita, rodonita, bustamita, johansenita. Sin embargo los sulfuros no respetan un orden, ya que se presentan de manera aleatoria.

Calcita

Mineral muy común en todo el distrito minero. Es un carbonato de calcio cristalizado en el sistema trigonal. Puede ser limpia o incolora, blanca o diversamente coloreada por la presencia de hierro o manganeso. Los individuos tienen forma romboédrica, escalenoédrica o prismática. Es típica la exfoliación que lleva a la formación de sólidos romboédricos.

Bajo la acción del ácido clorhídrico, incluso diluido, emite una efervescencia vivaz que es útil para distinguir a la calcita de otros minerales blancos con los que puede confundirse, como por ejemplo, fluorita y cuarzo.

En algunos casos presenta fluorescencia roja, naranja o amarilla debido a su origen hidrotermal, mientras que la calcita diagenética no presenta fluorescencia alguna. Este fenómeno es utilizado como una guía de exploración importante en Uchucchacua.

Rodocrosita

Presente en el cuerpo Rosario, así como en otros cuerpos y vetas, o adyacente a estos asociado a finas venas de calcita. Es un carbonato de manganeso, trigonal, de color rojizo si el mineral es fresco, manchado de negro si está expuesto por mucho tiempo a la intemperie; tiene brillo vítreo. Se encuentra en masas granulares, concrecionadas o crustiformes. O bien más raramente en cristales romboédricos (foto IV-5).

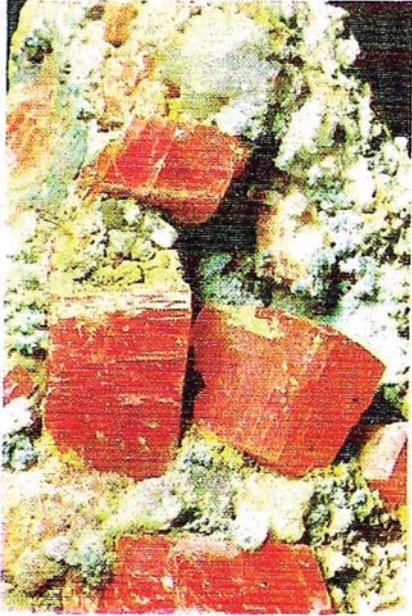


Foto IV-5.- Cristales de Rodocrosita.

Rodonita

Asociada a la mineralización del cuerpo Rosario, se le encuentra en muchos otros cuerpos y vetas. Viene a ser un mineral de la subclase de los inosilicatos; silicato de calcio y manganeso, triclinico, de color rojo cuando es fresco y pardo si permanece durante mucho tiempo expuesto a la acción de los agentes atmosféricos. Se le llama fowlerita cuando tiene una tonalidad pardusca o amarillenta. Se encuentra difícilmente en cristales; estos últimos son tabulares y de no muy grandes dimensiones; generalmente se encuentra en masas compactas (foto IV-6).



Foto IV-6.- Cristales de Rodonita.

Bustamita

Se encuentra presente en la mayoría de cuerpos y vetas de la mina Carmen. Es un silicato de manganeso y calcio, triclinico, que forma parte de los inosilicatos; tiene estructura fibrosa a menudo radiada y de color verde oscuro pardusco.

Johansenita

Íntimamente asociado a la bustamita. Es un piroxeno monoclinico de calcio y manganeso en masas compactas fibroso radiadas, color gris verdusco oscuro a negro pardo.

Cuarzo

No muy abundante en cuerpos y vetas. Está constituido de bióxido de silicio (SiO_2). Presenta el fenómeno de la enantropía: la modificación α , cuarzo ordinario trigonal, se transforma a 573°C en cuarzo β hexagonal (foto IV-7).

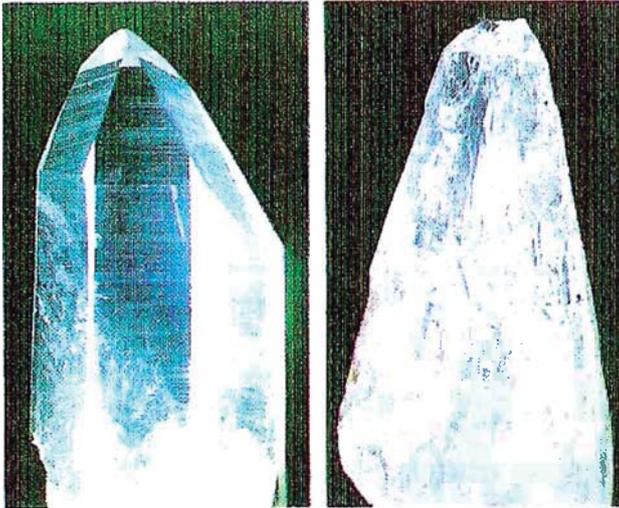


Foto IV-7.- Cristales de cuarzo.

4.4. Tipos de Alteración

En la zona del cuerpo Rosario no se observa alguna alteración significativa a excepción de la calcitización, llegando a manifestarse por más de 20 m. del cuerpo. Se presenta como un craquelamiento con presencia de stringers de calcita y en algunos casos asociado a brechas hidrotermales. Lo cual permite usar este tipo de alteración como una guía de exploración más local.

Cabe mencionar que dentro del cuerpo se encuentran fragmentos de caliza silicificada producto del reemplazo de carbonatos generado al momento de producirse la mineralización. No se observa alteración de este tipo en las rocas encajonantes.

4.5. Rocas Intrusivas

No se ha reconocido la presencia de rocas intrusivas cerca al cuerpo Rosario, sin embargo en el distrito minero Uchucchacua las dacitas constituyen un importante grupo de rocas subvolcánicas, encontrándose dispersas en superficie conformados por pequeños stocks, así como también se tiene diques y apófisis de dacita distribuidos irregularmente en el flanco occidental del valle, afectando a las calizas Jumasha-Celendín principalmente en las áreas de Carmen, Socorro, Casualidad y Plomopampa; los intrusivos forman aureolas irregulares de metamorfismo de contacto en las calizas. A. Bussell hace mención de diques riolíticos al Norte de Uchucchacua intruyendo a los volcánicos Calipuy.

Inicialmente Noble (1980) consideró que una dacita de Uchucchacua que dio una edad K-Ar de 25.3 Ma habría sido afectada por metasomatismo de argón, pero Soler y Bonhomme (1988) pensaron que ésta era la edad mínima de su emplazamiento. Luego, Noble y Mckee (1999) prefirieron una edad de 24.5 Ma para Uchucchacua en base a la datación de un fenocristal relicto de sanidina de un dique pre-mineral y en base a dataciones de fragmentos de este cristal. Sin embargo, Bussell et al (1990) consideró que los intrusivos de Uchucchacua probablemente caen en el rango de 15 a 8 Ma porque los intrusivos de Raura, cercanos a Uchucchacua, dieron edades entre 7.8 y 10.2 Ma (Noble, 1980; Noble y Mckee. 1999). Además, el modelamiento gravimétrico de Bussell y Wilson (1985) sugiere que el batolito de la Cordillera Blanca continua hacia el Sur en profundidad, formando stocks a mayor altura, como en Raura y Uchucchacua. Finalmente, Petersen (1999) muestra que Uchucchacua queda en un alineamiento NE de

dataciones entre 25 y 35 Ma, pero otra datación de Uchucchacua cae dentro del intervalo 5-10 Ma, que corresponde con las edades de Raura y del emplazamiento del batolito de la Cordillera Blanca (Mukasa y Milton, 1983). Por consiguiente, es probable que en Uchucchacua la edad de 24.5 Ma de dique pre-mineral corresponda al alineamiento magmático con dirección NE, mientras que la edad entre 5 y 10 Ma refleja al magmatismo y a la mineralización relacionados a la posición de la franja magmática principal en dicho periodo de tiempo.

Se necesitan mas dataciones radiométricas de intrusivos frescos y alterados, así como de las diferentes etapas de mineralización y de sus halos de alteración hidrotermal para descifrar la cronología del magmatismo y de la mineralización de Uchucchacua.

Según Bussell et al. 1990 algunas dacitas de Uchucchacua están alteradas hidrotermalmente, mientras que otras no muestran alteración. Unos diques dacíticos contienen inclusiones de mineral o cortan mineral, pero también parece haber mineral post-dacítico. A menudo, las relaciones son ambiguas entre intrusión dacítica y mineralización hidrotermal. Por ello, concluyen que es probable que haya habido intrusión dacítica pre- y post-mineral, y que la mineralización pudo coincidir parcialmente con la intrusión dacítica.

4.6. Bandas de Crustificación

La secuencia en tiempo de la mineralización o paragénesis se basa principalmente en el estudio cuidadoso de las bandas de crustificación y texturas de reacción entre sulfuros y minerales ganga.

C. Alpers (1980), determinó la paragénesis de una zona muy parecida a la que presenta el cuerpo Rosario y muchos otros cuerpos de la mina Carmen. Se trata de la

veta Luz, de la cual tomó muestras con la mejor exhibición de bandas de crustificación determinando así tres etapas. La etapa I corresponde a minerales encontrados al comienzo de la secuencia de crustificación así como rodonita, cuarzo y pirita diseminada. En algunas partes la rodonita fue reemplazada por bustamita, probablemente al finalizar la etapa.

La etapa II es la etapa de mayor importancia volumétrica con respecto a sulfuros de fierro y zinc. En el ensamble original de la etapa II, la pirrotita coexiste con la wurtzita rica en FeS, posiblemente pirita. La pirrotita fue completamente reemplazada por marcasita, pirita, calcopirita, siderita, y rodocrosita. La alteración hipógena de pirrotita a marcasita, pirita, y siderita es un fenómeno relativamente común en depósitos de metales base (Ramdohr, 1969), y es característico en depósitos de vetas en la provincia Boliviana de wolframio – tungsteno (Nelly y Turneure, 1970). La presencia de goetita con pirita y marcasita indica que la alteración de pirrotita puede ser en parte supérgena.

En la última parte de la etapa II la mineralización muestra una banda distintiva de silicatos crustificados alrededor de los sulfuros de la etapa II inicial. La banda contiene intercrecimientos de johansenita, bustamita, y cuarzo con pirita diseminada, y es dividida en tres secciones por dos bandas angostas (≈ 100 micrómetros) de sulfuros de la etapa II. La coexistencia de johansenita y bustamita es curiosa, porque lo anterior es sabido que invierte el último calentamiento a aproximadamente 400°C , a bajas presiones (Lamb, et al, 1972). Esta inversión fue estudiada para $\text{CaMnSi}_2\text{O}_6$ pura. La johansenita de esta localidad es probablemente más rica en fierro que la bustamita, así que estas dos fases podrían estar estables al momento de su formación. Otras posibilidades son que una de las fases fue depositada metaestable, o se deba al último reemplazamiento.

En el cuerpo Rosario se observa drusas o cavidades, probablemente cársticas, en las cuales han cristalizado silicatos como rodonita, muy poco cuarzo, y eventualmente

sulfuros. Se observa también fragmentos de caliza silicificada englobados por silicatos y sulfuros de manera tal que los fragmentos de caliza se encuentran en el núcleo cubiertas inmediatamente por rodonita, seguida por bustamita y sulfuros de manera dispersa y/o en venillas cruzando toda la secuencia.

En algunos casos se observa johansenita englobada por rodonita y bustamita, similar a lo que sucede con los fragmentos de caliza.

4.7. Fluorescencia de minerales ganga.

El principio se basa en la luminiscencia o la emisión de luz por un mineral, que no es el resultado de incandescencia. Se la observa entre otros en minerales que contienen iones extraños llamados activadores.

Los minerales fluorescentes se hacen luminiscentes cuando están expuestos a la acción de los rayos ultravioleta, X o catódicos. Si la luminiscencia continua después de haber sido cortado la excitación se llama al fenómeno fosforescencia y al mineral con tal característica mineral fosforescente. Por ejemplo, las fluoritas de color intenso son minerales fosforescentes, que muestran luminiscencia al ser expuestos a los rayos ultravioleta.

Según A. Escalante, (2004), el estudio de campo de la fluorescencia del venilleo de calcita en Uchucchacua, indica una respuesta moderada a fuerte que persiste más o menos uniformemente hasta 50 metros fuera de la mayoría pero no de todos los cuerpos mineralizados. Las vetas que fluorescen se encuentran también en afloramiento tanto como 100 metros sobre la zona de mineralización. La mayoría de venilleo que fluoresce son parte del sistema más joven de vetas reconocidas. Otros venilleos de calcita que rellenan las fallas de bajo ángulo (fallas de sobrecurrimiento) muestran moderado a

fuerte fluorescencia naranja-roja a pesar de estar relativamente lejanos de la veta; estas vetas son así vetas hidrotermales relacionadas con el sistema asociado a la mineralización. No son vetas sintectónicas formadas durante las fuerzas de contracción.

R. Tosdal (2004) menciona que la veta Rosa, de casi 2 kilómetros de largo en afloramiento y de rumbo E-O, fue muestreada en cuatro niveles. La veta consiste en calcita+rodonita+galena+pirita+/-pirargirita crustiforme que se ha hospedado en calizas grises por un fuerte fracturamiento, débil a moderadamente silicificado. La mayoría de las fracturas son rellenadas por calcita que muestran una fluorescencia naranja-roja moderada a fuerte con halos blancos amarillentos brillantes ocasionales (foto IV-8). Las características de la fluorescencia persisten hasta 50 metros de las vetas. Alguna de las fuertes fluorescencias se podría relacionar con la proximidad de otros cuerpos mineralizados de alto grado de Ag tales como Rosario y Rosalía, no obstante la persistencia lateral de las venillas de calcita que fluorescen lejos del horizonte mineralizado se muestran como una característica en el distrito.

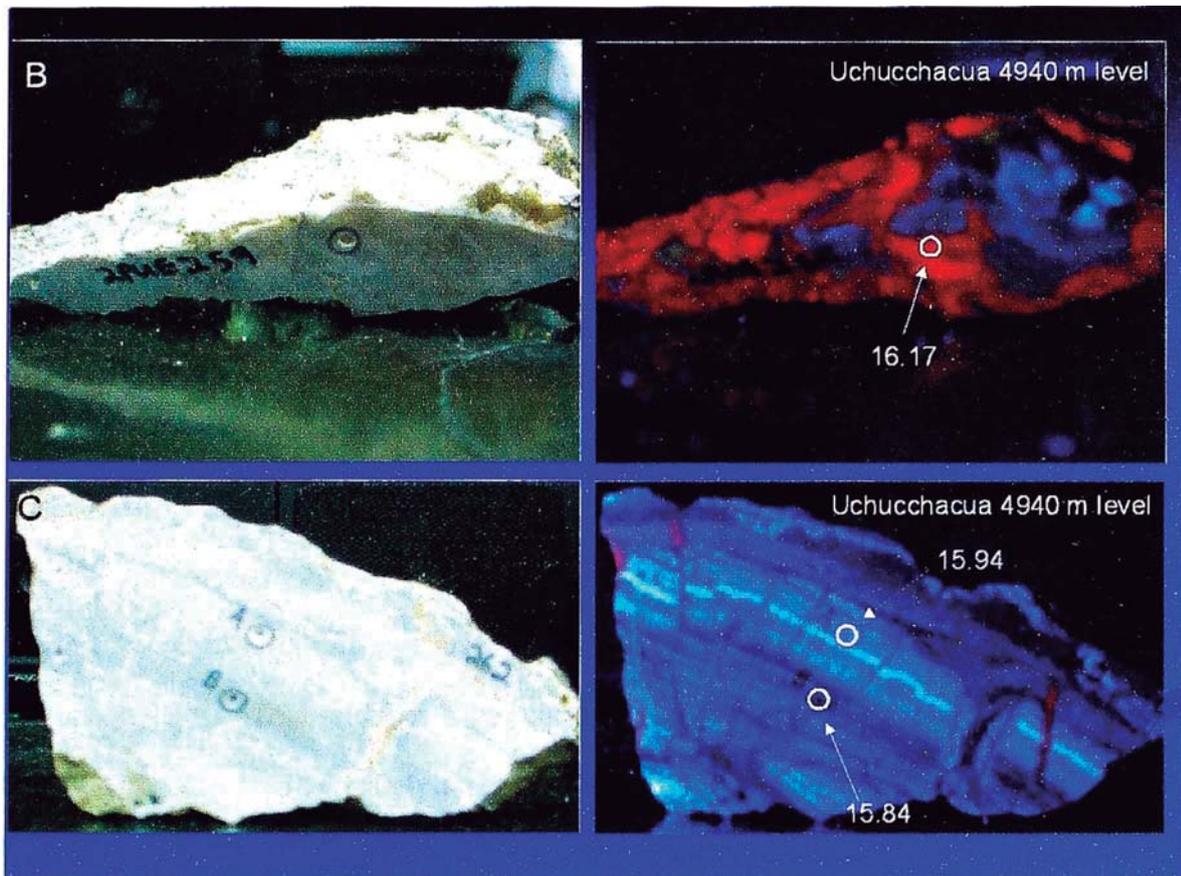


Foto IV-8.- Fluorescencia de muestras de estructura de la veta Rosa compuesta por calcita masiva.

4.8. Secuencia Paragenética

La mineralogía y la paragénesis de Uchucchacua fueron estudiadas y descritas inicialmente por Alpers (1980), Bussell et al. (1990) y Petersen (1995). El mineral de Uchucchacua se distingue por tener una mineralogía muy variada (con numerosos silicatos, carbonatos, sulfuros y sulfosales), por tener abundantes minerales de Mn y por contener algunos minerales raros descritos por primera vez de ésta localidad (como son la de Uchucchacuaíta y la Benavidesita- Moélo et al., 1984, y Oudín et al., 1982). Además, inicialmente los concentrados de minerales se calentaron hasta unos 200°C, llegando a incendiarse y a producir una aglomeración que en algunos casos formo una especie de “sinter”- muy similar a los concentrados de Cerro de Pasco.

Según Bussell et al. (1990), la etapa I de mineralización hidrotermal formó exoskarn de silicatos de Mn (tefroita, johansenita y rodonita), magnetita, fluorita, cuarzo y calcita. La etapa II aportó principalmente Zn y Pb (esfalerita, wurtzita y galena), pero también algo de Ag en tetrahedrita, y redistribuyó al Mn (alabandita, rodonita, bustamita, freidelita, manganopiroesmalita, manganoaxinita, rodocrosita y kutnahorita). La etapa III aportó principalmente Ag en argentita y en sulfosales (pirargirita - proustita, miargirita, polibasita); redistribuyó nuevamente al Mn (alabandita, kutnahorita y manganopiroesmalita), y también contribuyó algo de Zn y Pb en esfalerita y galena. La etapa IV corresponde a la oxidación y al enriquecimiento supérgeno (óxido de Fe y Mn, marcasita, oropimente, siderita y cerusita). Bussell et al. (1990) resumen los elementos introducidos y redistribuidos en la etapa II y III de la siguiente manera:

	Introducidos	Redistribuidos
Etapa II	Zn, Pb, Fe, Cu, B	Mn, Fe
Etapa III	Ag, As, Sb	Mn, Fe, Zn, Pb

En la tabla paragenética de Petersen (1995) se nota la presencia de pirrotita y arsenopirita en la etapa II. Esto indica que precipitó de fluidos con una fugacidad de azufre relativamente baja. En cambio, la presencia de enargita en la etapa III indica que precipitó de fluidos con una fugacidad de azufre relativamente alta. Ésta diferencia probablemente explica por qué la mitad de las esfaleritas-wurtzitas analizadas con la microsonda electrónica (Bussell et al., 1990, tabla A9) tiene menos de 47% Zn pero más de 19.5% Fe + Mn, mientras que la otra mitad tiene más de 58.5% Zn pero menos de 8% Fe + Mn. Las pobres en Zn pero ricas en Fe + Mn serían de la etapa II, mientras que las altas en Zn pero pobres en Fe + Mn serían de la etapa III.

Los ensayos de Petersen (1995) indican que la galena tiene 85% Pb y 0.2-1.0% Ag. Ésta equivale a 2,000-10,000 ppm Ag ó 65-325 oz. Ag/t. dividiendo por 85% Pb, habrían 0.7-3.3 oz. Ag por 1% Pb. Ésta galena parece ser algo más argentífera que la que se tiene típicamente en yacimiento de Pb-Zn. Los minerales de Ag con Zn-Pb pero con bajo Mn tienen cocientes de Ag/Pb de 2.3 oz. Ag/Pb. Por consiguiente, la galena puede ser responsable del aporte de Ag en la etapa II. Pero es posible que la poca tetrahedrita presente contribuya algo al contenido de Ag de la etapa II, porque un análisis de Petersen (1995) muestra que la tetrahedrita tiene 21.7% Ag, 20.6% Cu, 25.4% Sb y 0.1% As.

Petersen (2001), muestra que la mayor parte del mineral (72.4%) tiene altas leyes de Ag-Mn y bajas leyes de Zn-Pb, lo que significa que consiste principalmente de la etapa III. Por otro lado, solo un 6.3% del mineral tiene mayores contenidos de Zn-Pb y bajos de Ag-Mn, representando mineral de la etapa II. Los demás tipos de mineral (21.3%) representan mezclas de ambos tipos de mineral. El hecho de que ambas etapas de mineral estén presentes en Carmen, Socorro y Casualidad refuerza la idea de que probablemente pertenecen a una sola celda hidrotermal y no a celdas separadas.

Los resultados obtenidos a partir de secciones pulidas del cuerpo Rosario se asemejan a los estudios realizados antes mencionados. Sin embargo no registra minerales de la etapa III, lo cual hace pensar que el cuerpo Rosario solo tuvo aporte de fluidos mineralizantes hasta la etapa II, o muy poco aporte en la etapa III (tabla IV-1).

Mientras que la zonación muestra que en profundidad la magnetita y los óxidos de hierro aumentan, manteniéndose constante la presencia de los minerales de la etapa II.

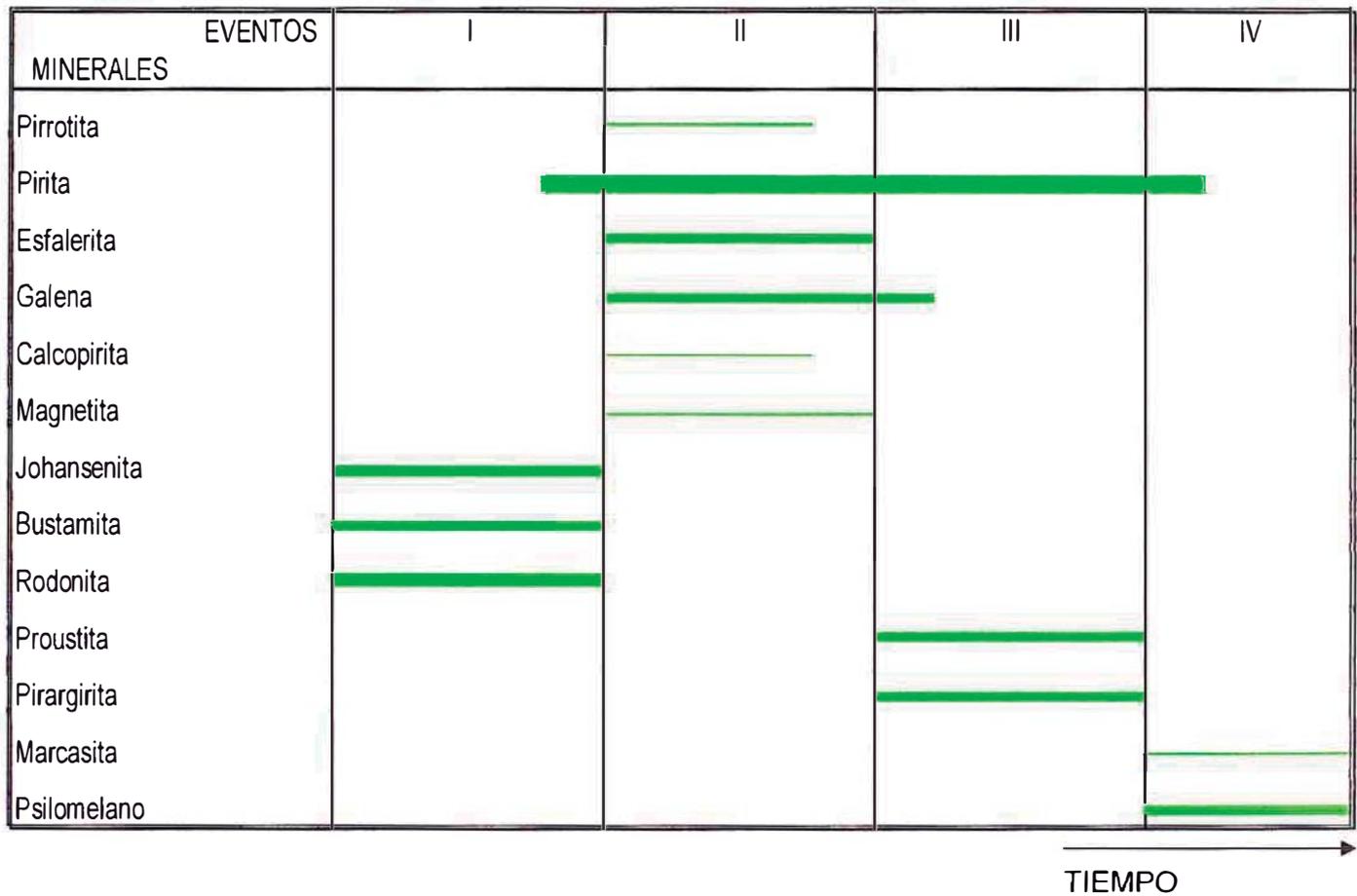


Tabla IV-1.- Secuencia Paragenética del cuerpo Rosario.

CAPITULO 5. GEOQUÍMICA

5.1. Definición

El método geoquímico es un método indirecto de prospección y se ocupa de la determinación de la distribución y de la abundancia de ciertos elementos como los elementos indicadores, que en nuestro caso sería el Mn, y los elementos exploradores como la Ag, relacionados con un depósito mineral. Una anomalía geoquímica se refiere a una variación en la abundancia de un elemento en comparación a su abundancia normal (threshold) en un área definida. Una anomalía geoquímica puede ser relacionada o no con un depósito mineral.

Se distingue los estudios geoquímicos enfocados a un reconocimiento general y los estudios geoquímicos más detallados aplicados a un área prometedora para un depósito mineral. Además se les puede clasificar en base al material analizado.

Para un reconocimiento geoquímico general se toman las muestras a través de una red de muestreo irregular o de espaciamiento grande y se analizan muestras de material naturalmente formado, como por ejemplo rocas, suelos, capas de hidróxidos de Fe formadas por meteorización llamadas 'gossan', sedimentos glaciares, sedimentos de ríos y lagos, en casos especiales se trabajan con muestras de vapor, vegetación y agua. Según los objetivos (¿De qué muestras se trata? ¿Cuáles son los minerales/elementos de interés?) se elige el método analítico adecuado así como la espectrometría de absorción atómica para analizar muestras de agua con respecto a su contenido en Cu, Mo, Zn, Au, Ag, As, F, el análisis de fluorescencia de rayos X para obtener el contenido en óxidos de elementos de la roca entera. Los resultados se presentan en un mapa o un

perfil geoquímico por medio de isólineas; es decir de líneas que unen los puntos o lugares de la misma concentración de un elemento.

En el reconocimiento geoquímico detallado se emplea un muestreo sistemático basado en una malla de muestreo localizada en la zona de mayor anomalía, con cuyos resultados se esperaría justificar un programa de perforación diamantina, y posteriormente dar apertura a labores mineras de exploración. En dichas labores mineras también se realizaría un muestreo geoquímico regido bajo un procedimiento estándar, a medida que estas labores mineras avancen, logrando información detallada de la geoquímica en interior mina. En este caso se emplea el método de absorción atómica.

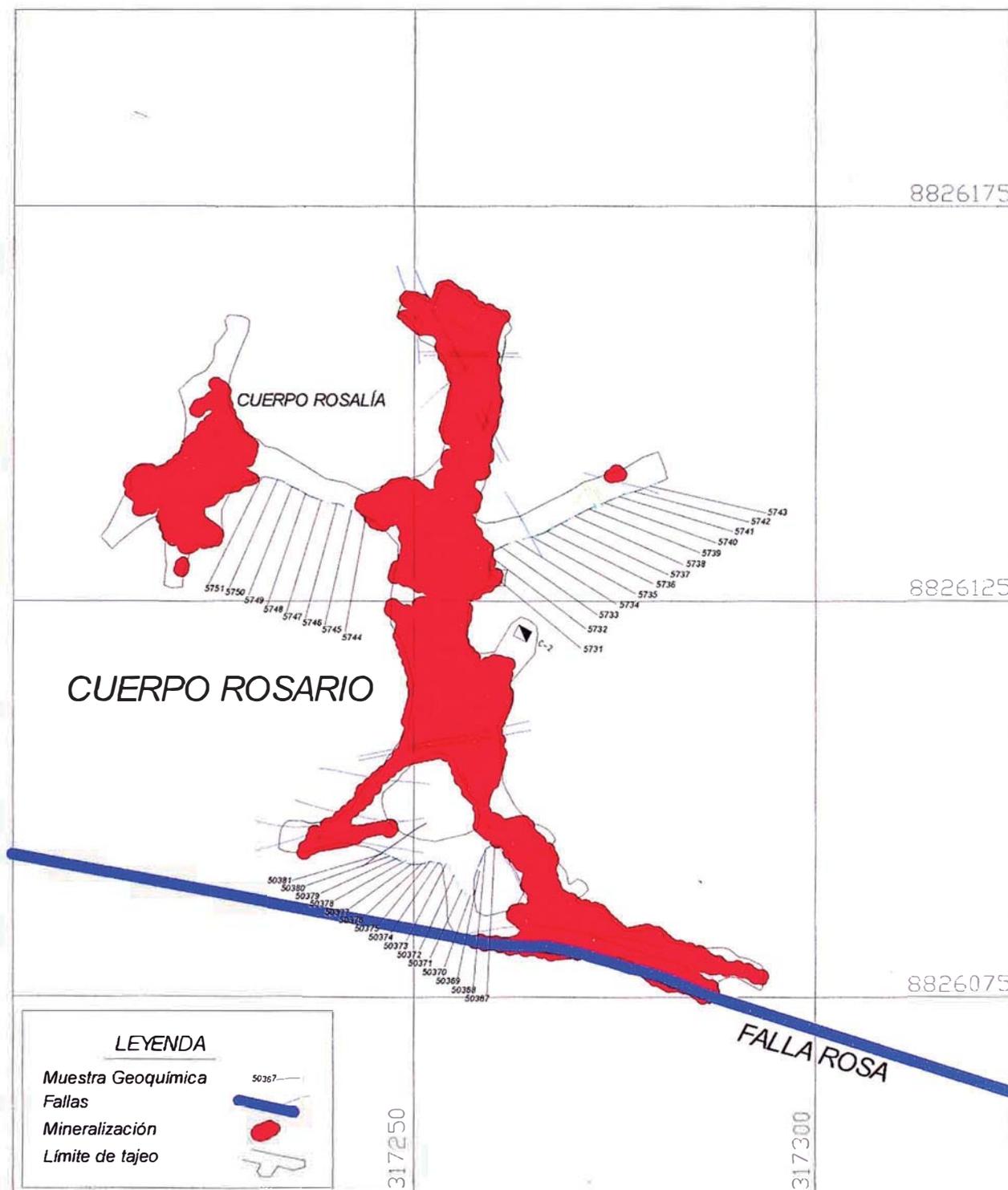
La exploración geoquímica está enfocada en el descubrimiento de distribuciones anómalas de elementos.

5.2. Toma de Muestras

El trabajo de campo fue centrado en establecer colecciones de muestras verticales y laterales alrededor del cuerpo Rosario (plano V-1). Un total de 47 muestras fueron tomadas a partir de los tajos del cuerpo Rosario de los niveles 120, 180 y 240. Este cuerpo fue elegido debido a su extensión vertical y acceso en diversos niveles, además tiene mineral de alta ley. Las muestras fueron tomadas sistemáticamente cada metro hacia fuera del cuerpo.

El objetivo de un reconocimiento detallado es la delineación y la caracterización geoquímica del cuerpo mineralizado, así como de la roca caja que la alberga, de la manera más precisa como sea posible. Para muestrear el cuerpo mineralizado y la roca encajonante se requirió un espaciamiento relativamente estrecho, usualmente entre 1 y 5 m. Debido a los altos costos relacionados con un espaciamiento estrecho se emplea los

estudios geoquímicos detallados de áreas limitadas de interés particular, seleccionadas en base a los antecedentes geoquímicos, geológicos y geofísicos disponibles.



Plano V-1.- Plano de ubicación de muestras geoquímicas de roca huésped del cuerpo Rosario, Tajo 255.

5.3. Análisis geoquímico por multielementos

Dentro de los métodos de análisis geoquímicos más usados se tiene el método de absorción atómica, el cual se basa en la capacidad que tienen los átomos, en estado fundamental, de absorber radiaciones características emitidas por átomos del mismo tipo. En donde el espectro de absorción se produce cuando el electrón de un átomo en un elemento pasa de un estado energético bajo a un estado energético alto consumiendo, es decir, absorbiendo energía y generando una línea de absorción típica para el cambio del nivel energético del elemento en el que ocurre.

Sin embargo cuando lo requiere se usa la espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo porque es una técnica para análisis elemental con un límite de detección en el rango de partes por billón. ICP-MS provee información cualitativa y cuantitativa junto con composición isotópica. Sus aplicaciones incluyen análisis de rocas, suelo, sedimento, agua, aire, tejidos vegetales y animales. Permite el examen rápido de hasta 72 elementos en menos de 5 minutos por muestra. Y funciona de la siguiente manera:

Se obtiene un plasma de gas argón haciendo fluir una corriente de argón hacia una antorcha con un flujo de corriente de alta frecuencia en una bobina de inducción con campos magnéticos oscilantes. El plasma posee una temperatura superior a los 10.000 K. Se introduce una muestra líquida en el sistema en forma de aerosol mediante un nebulizador. Una vez que la muestra alcanza el plasma, los iones de la muestra son excitados y revertidos espontáneamente a un estado de energía menor emitiendo un fotón de energía. Para propósitos cuantitativos, se asume que la energía emitida es proporcional a la concentración de iones.

5.4. Anomalías Geoquímicas

Según Richard Tosdal (2003), las partes de la veta Rosa ricas en sulfuros contienen elevados valores de Ag, Mn, metales base, Sb, Tl, Hg, Cd, Mo, P, y Au. La plata, Mn, As, Sb, Cd, Mo, S, Sn, Te, y metales base también aumentan en profundidad. El mercurio decrece en profundidad. Sobre el horizonte mineralizado, las vetas de calcita blanca generalmente no contienen una anomalía geoquímica significativa, excepto por esporádicos valores de Ag y Mn asociados a sulfuros. Dentro del horizonte mineralizado las vetas de calcita blanca ejerce un fuerte control en la dispersión lateral de elementos lejos de las vetas mineralizadas, y contienen anomalías en Ag, Mn, As, Tl, Cu, Pb, Zn, Cd y P, con débil anomalía en Au, Sn, W.

Mientras que, en las rocas encajonantes del cuerpo Rosario, los elementos que presentan anomalías son Ag, Ar, Cu, Fe, Mn, Pb, S, Sb, Sr y Zn, en un radio de hasta 10 metros fuera del cuerpo.

Uno de los elementos que presenta relación inversa a la Ag y a otros elementos es el Sr, el cual aumenta de valor al alejarse del cuerpo y decrece al acercarse al mismo. Este fenómeno se debe a que los fluidos hidrotermales consumen al Sr que se encuentra presente en las calizas a partir de foraminíferos.

Por lo tanto este elemento podría ser considerado como una guía en la exploración, teniendo en cuenta que llega a tener un halo de dispersión de más de 15 metros a partir de la mena (gráficos V-1,2,3), considerando valores menores a 200 ppm de Sr como anomalía para la exploración por plata (gráficos V-4,5,6).

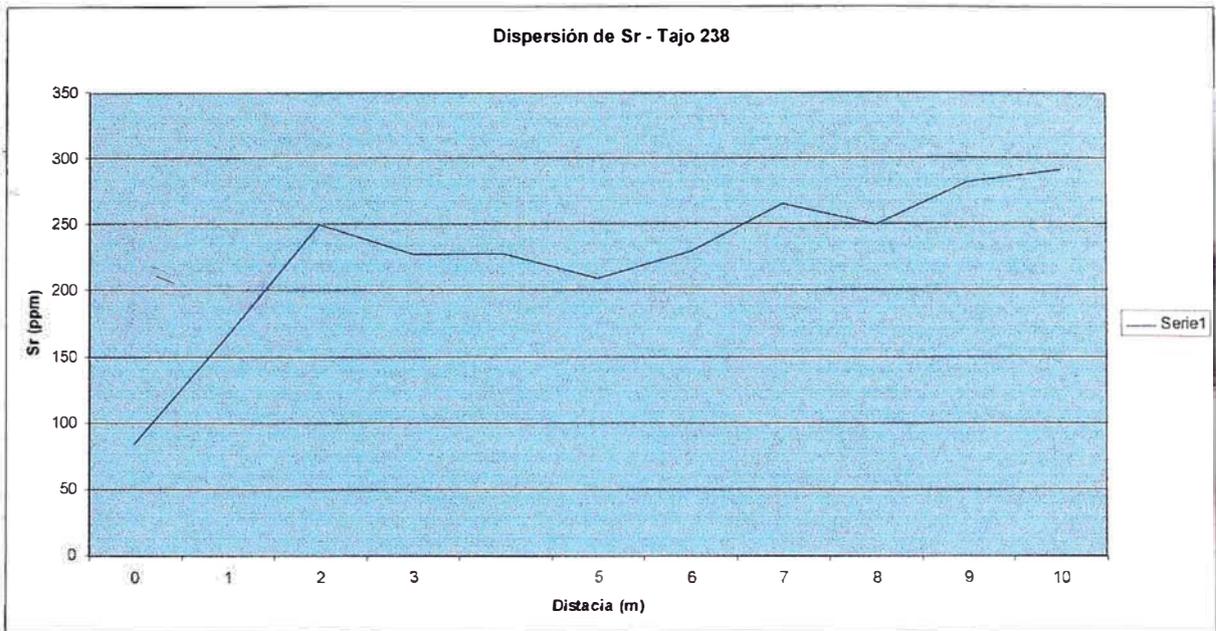


Gráfico V-1.- Dispersión de Sr sobre roca huésped de cuerpo Rosario, Tajo 238.

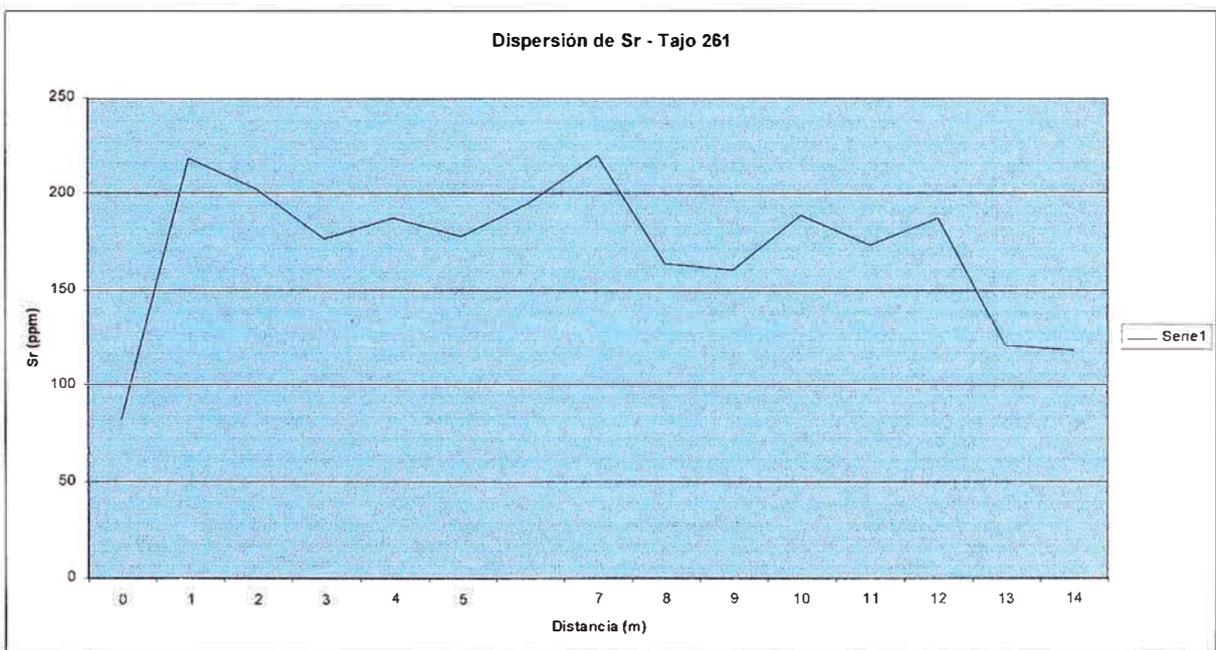


Gráfico V-2.- Dispersión de Sr sobre roca huésped de cuerpo Rosario, Tajo 261.

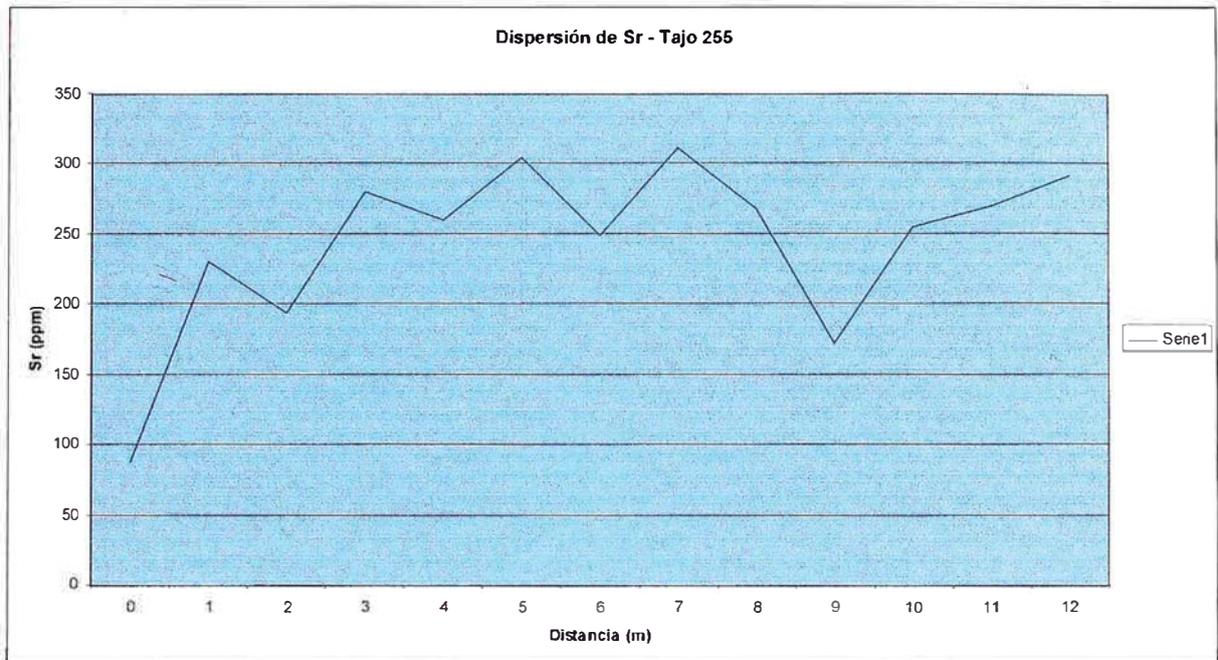


Gráfico V-3.- Dispersión de Sr sobre roca huésped de cuerpo Rosario, Tajo 255.

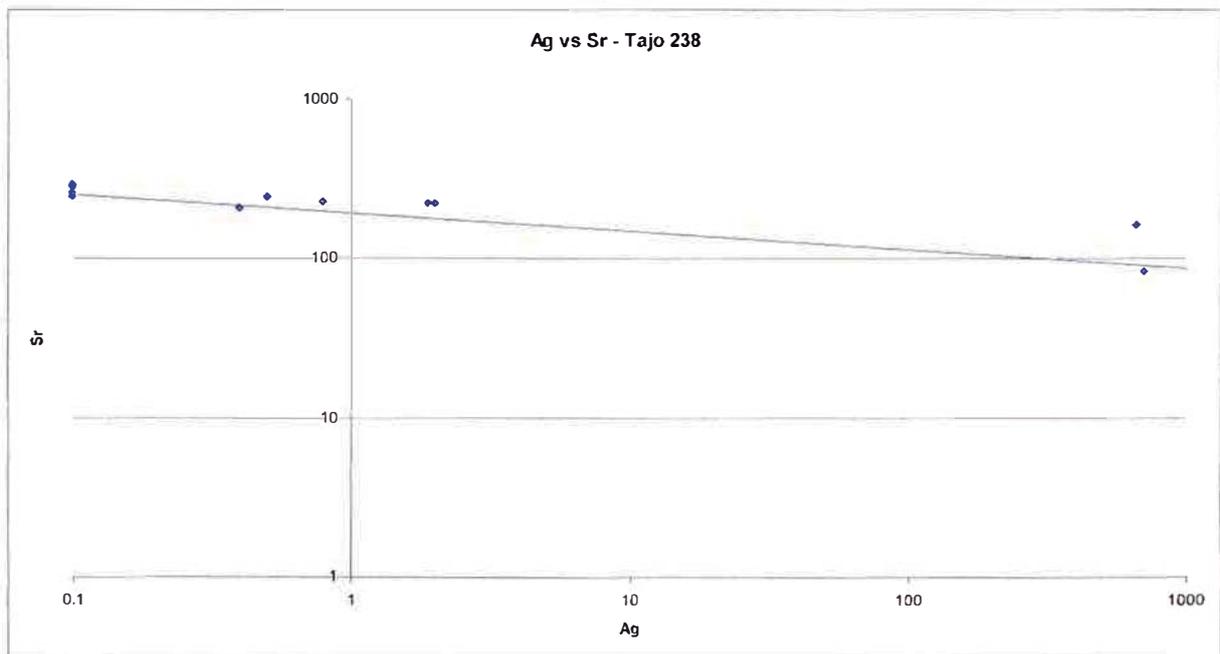


Gráfico V-4.- Relación inversa Ag-Sr de muestras sobre roca huésped de cuerpo Rosario, Tajo 238.

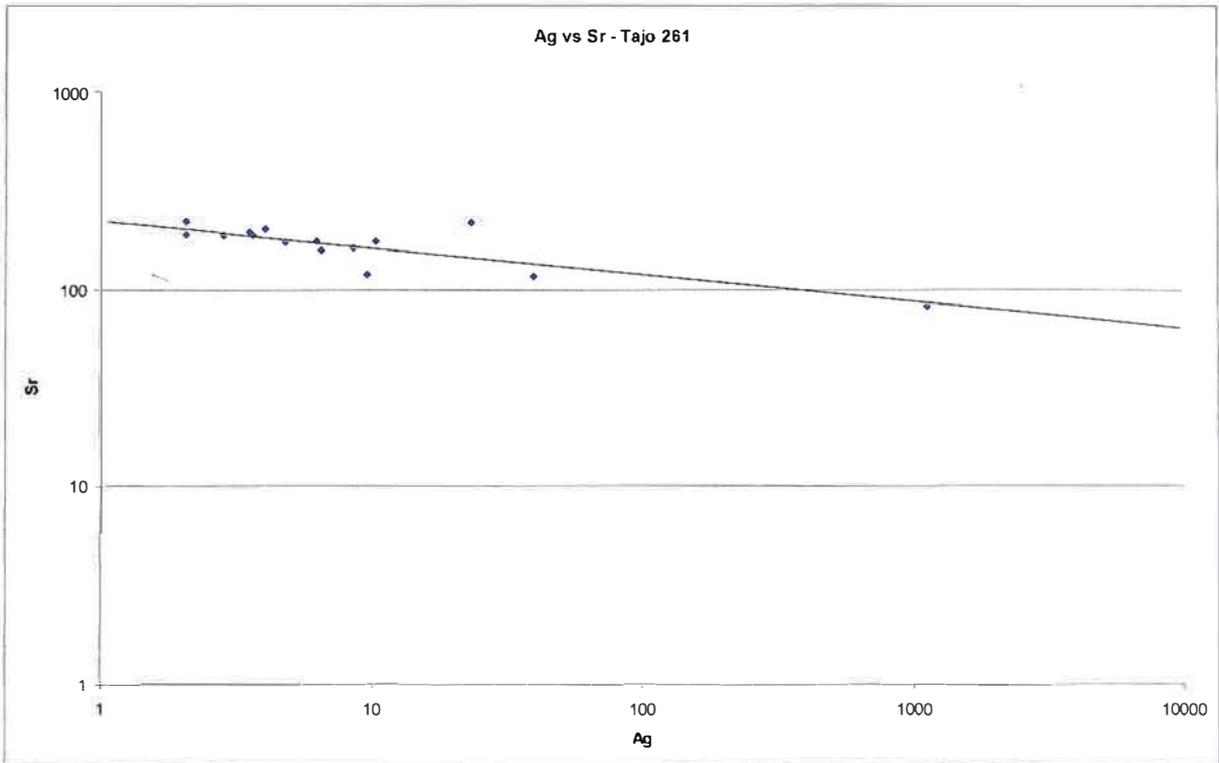


Gráfico V-5.- Relación inversa Ag-Sr de muestras sobre roca huésped de cuerpo Rosario, Tajo 261.

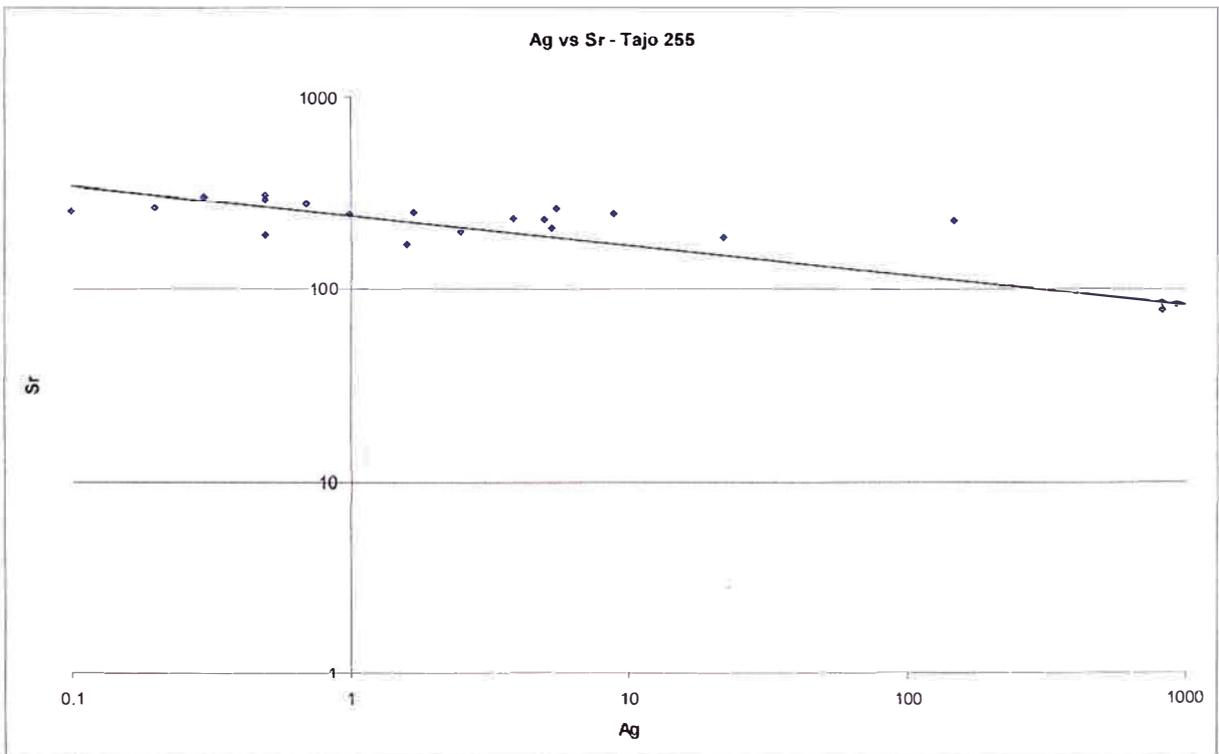


Gráfico V-6.- Relación inversa Ag-Sr de muestras sobre roca huésped de cuerpo Rosario, Tajo 255.

El Mn se encuentra presente en todo el yacimiento tanto en las zonas mineralizadas como en las rocas encajonantes, siendo en este último caso valores más bajos pero anómalos. Se podría considerar anómalo valores mayores a 1% de Mn, y puede servir como guía de exploración, considerando además que este elemento presenta halos de anomalías considerables en el yacimiento.

5.5. Isovalores

Martínez (1985), mostró que en los cuerpos Rosa Norte, Irma y Viviana las leyes mayores de Ag ocurren a media altura (donde los cuerpos son más anchos) y disminuyen tanto hacia arriba como hacia abajo, así como del centro hacia la periferia de los cuerpos. Los núcleos más ricos pueden definirse con contornos de 30 oz. Ag/t para Rosa Norte, 20 oz. Ag/t para Viviana y 15 oz. Ag/t para Irma (que tienen dos núcleos a diferentes alturas). Lo cual nos hace pensar que dicho fenómeno también podría darse en el cuerpo Rosario.

Sin embargo, las figuras de Bussell et al. (1990) para las vetas Luz y Rosa indican que las franjas de leyes mayores de Ag, Mn, Zn y Pb son más sinuosas que lo que se había pensado anteriormente. Para la veta Luz muestran además que las franjas de leyes máximas parecen reflejar los anchos de veta.

D. Machuca (2004), realizó el análisis estadístico y geoestadístico del cuerpo Rosario (figura V-1) considerando los elementos Ag, Pb, Zn y Mn, realizando análisis de correlación entre los cuatro elementos a fin de identificar asociaciones entre ellos, y análisis de la variación de leyes según la cota con el objetivo de determinar zoneamientos de las leyes según la elevación (figuras V-2, 3, 4 y 5). El objetivo principal fue sentar las bases y delinear el proceso del uso de la geoestadística como herramienta para la predicción de las leyes, de forma que pueda ser usada para la estimación de recursos y

el control de leyes, indicando cualitativamente el grado de certeza con que se realiza esta estimación.

Es importante estudiar la variación de leyes según la elevación para determinar si existe una gradación vertical de estas y si el requisito geoestadístico de estacionareidad se mantiene verticalmente. Se dice que una variable es estacionaria si su media y varianza se mantienen aproximadamente constantes a lo largo, ancho y alto del volumen de estudio, de no ser el caso, no se podrían aplicar exitosamente técnicas de estimación de la geoestadística estacionaria, sino que se necesitaría emplear métodos más sofisticados y por consiguiente softwares especializados. Para analizar la variación de leyes según la cota se promediaron las muestras a intervalos verticales de 5m para los cuatro elementos estudiados.

Los elementos económicos, Ag, Zn y Pb presentan leyes más o menos uniformes según la variación de altitud, mientras que el Mn muestra un ligero incremento de sus valores según la elevación.

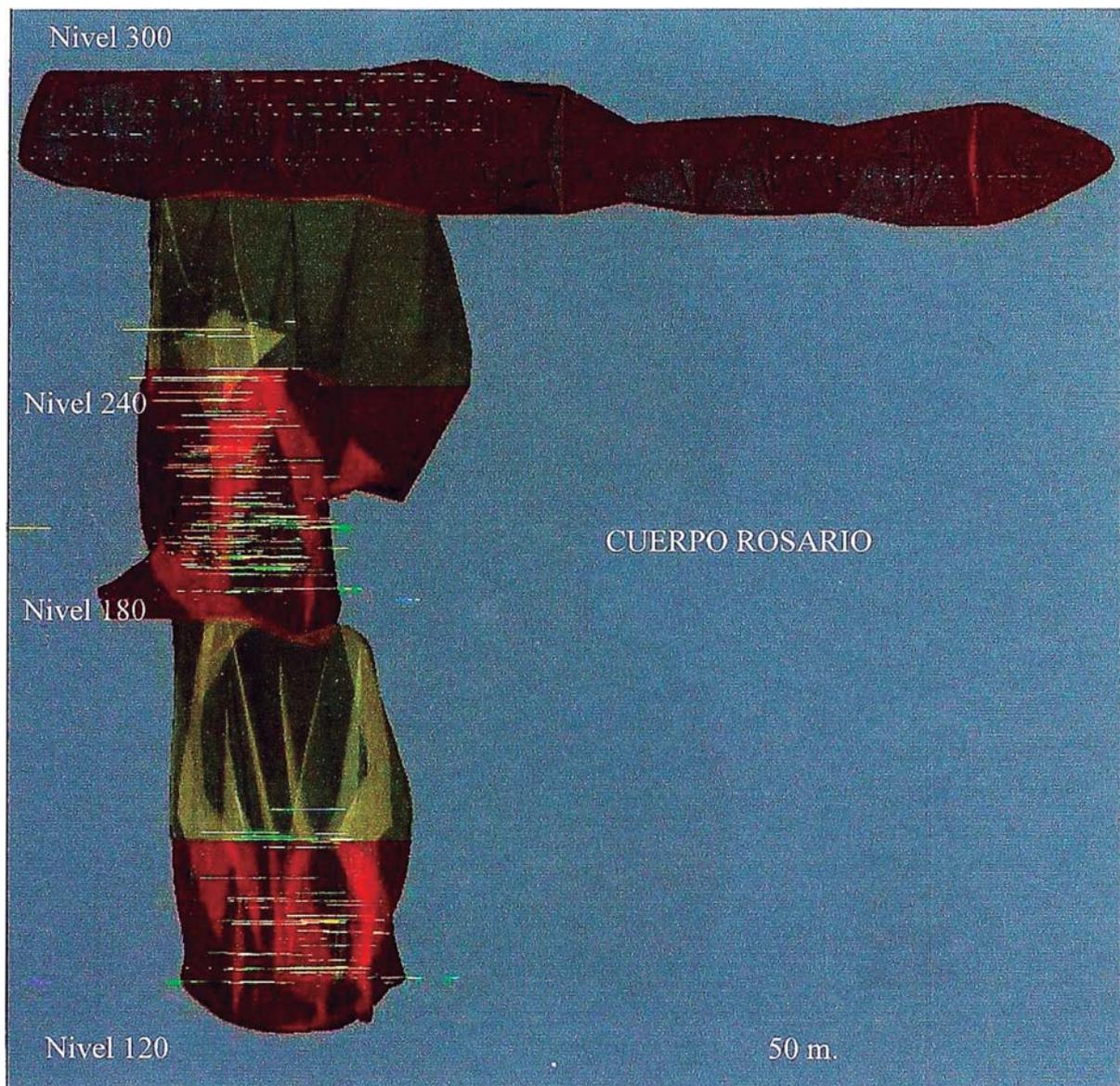


Figura V-1.- Distribución de la ubicación de muestras en el Cuerpo Rosario, desde el nivel 300 hasta el nivel 120.

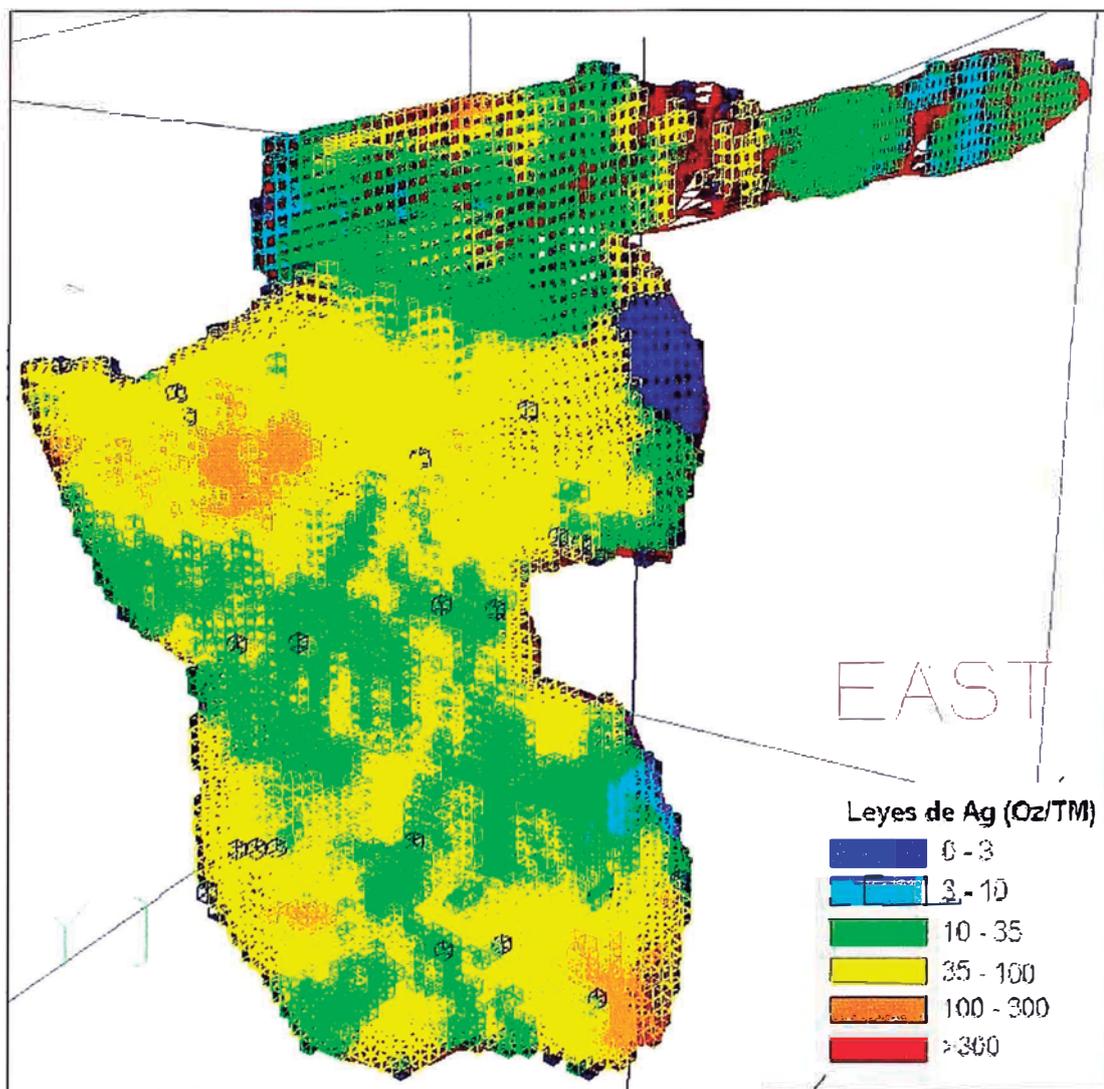


Figura V-2.- Vista al NE de la distribución de Leyes de Ag del Cuerpo Rosario.

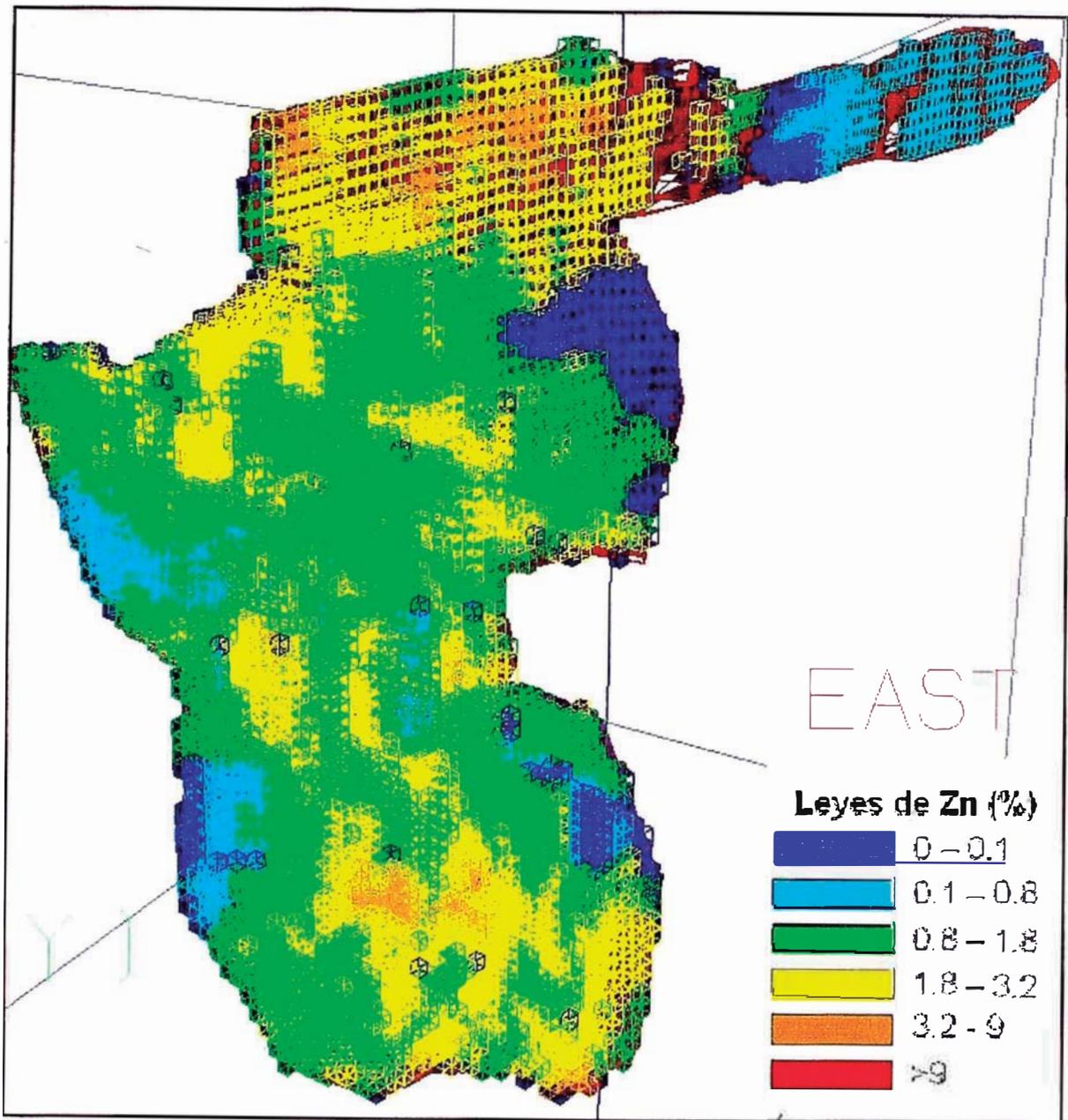


Figura V-3.- Vista al NE de la distribución de Leyes de Zn del Cuerpo Rosario.

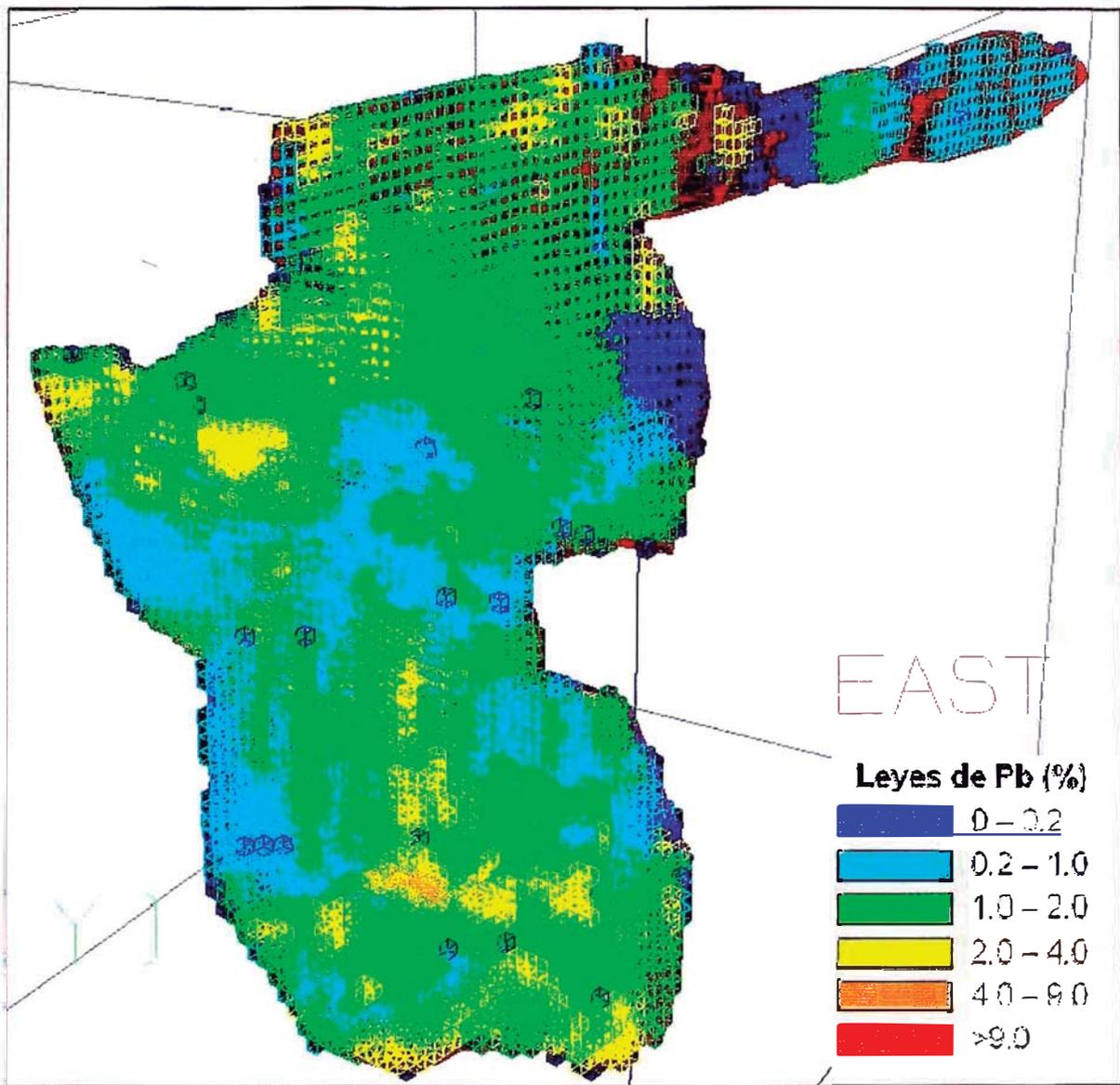


Figura V-4.- Vista al NE de la distribución de Leyes de Pb del Cuerpo Rosario.

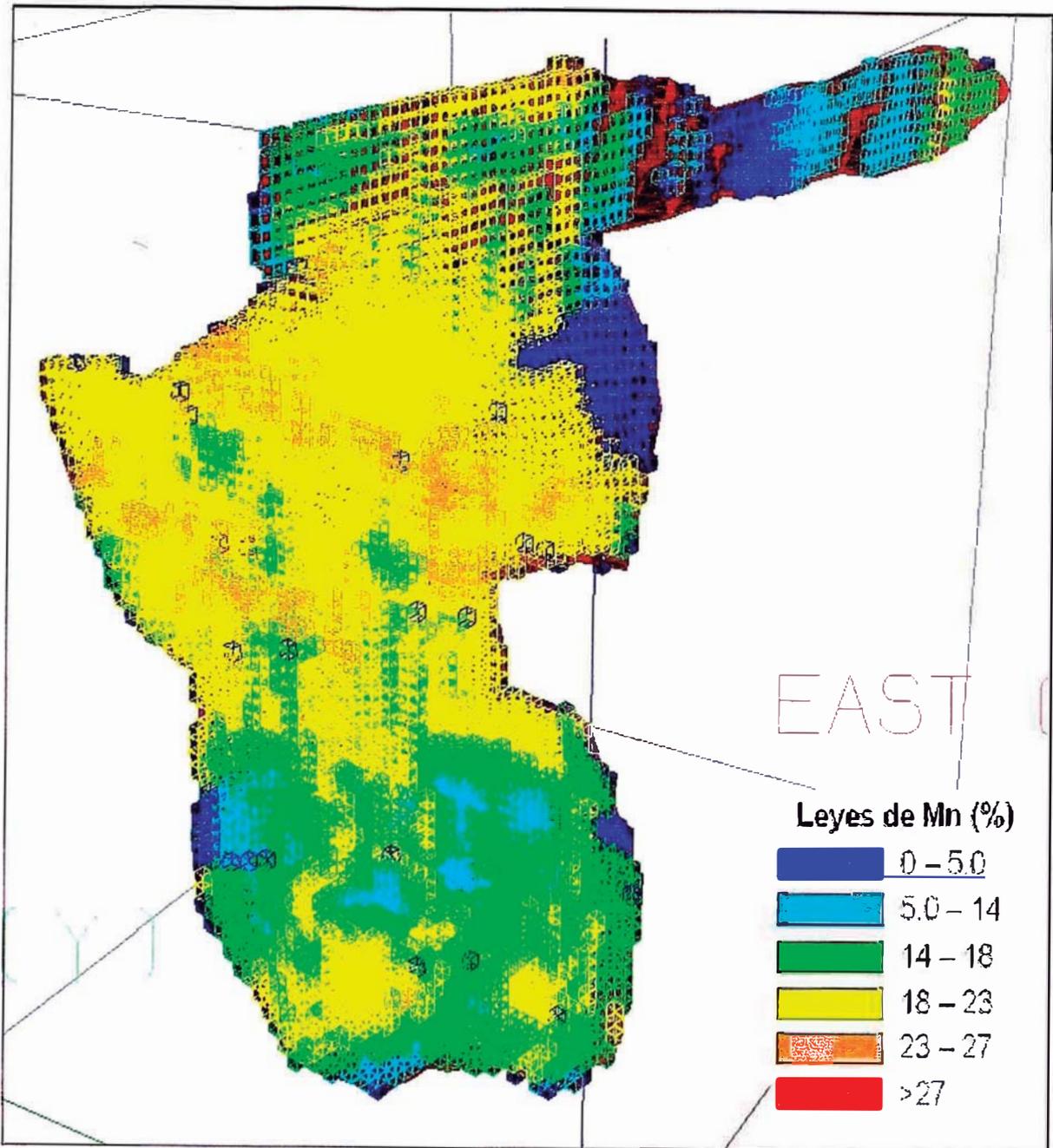


Figura V-5.- Vista al NE de la distribución de Leyes de Mn del Cuerpo Rosario.

DISTRIBUCIÓN DE LEYES Y ZONACIÓN

La distribución de leyes fue estudiada inicialmente por Alpers (1980) para la veta Luz, luego por Martínez (1985) para la veta Rosa y posteriormente Bussell et al. (1990) para las vetas Luz y Rosa. Éstos estudios muestran franjas sinuosas subhorizontales en las secciones verticales longitudinales de las vetas al plotear las leyes económicas de Ag, Mn, Zn y Pb. Se observa que las franjas de leyes de Zn y Pb coinciden muy bien. Las franjas de leyes de Ag y Mn coinciden generalmente, pero no siempre. Las franjas de Zn y Pb tienden a ser paralelas a las de Ag y Mn, superponiéndose las cuatro en muchos lugares. Pero en otros sitios los dos pares se cruzan o están paralelos es decir, zoneados. Estos resultados confirman lo que se esperaría de la secuencia paragenética, porque el Zn y el Pb se depositaron mayormente durante la etapa II, la Ag se depositó más en la etapa III, y el Mn se redistribuyó en ambas etapas, pero se encuentra más en la etapa III.

Martínez (1985) hizo una interpretación independiente de la veta Rosa, concluyendo que sus franjas de leyes mayores de Ag y Mn ascienden paulatinamente hacia el oeste y fueron cortadas por la falla Socorro.

Los gráficos de leyes y cocientes usando ejes logarítmicos, muestran buenas correlaciones lineales positivas para Ag-Mn y Zn-Pb, Petersen (2001). Ésta última tiene una pendiente de 45° , como se esperaría para elementos precipitados en una etapa paragenética. La correlación Ag-Mn difiere de 45° porque estos elementos tienen dispersiones distintas. Para Ag-Zn, Ag-Pb, Mn-Zn y Mn-Pb no se tienen correlaciones lineales positivas, sino más bien una falta de correlación o franjas de correlación negativa o de arco.

Todas estas observaciones indican que las franjas de leyes mayores de Ag, Mn, Zn y Pb no están suficientemente zoneadas entre sí como para guiar la exploración tratando de determinar si una intersección de veta de baja ley está <<encima>> o <<debajo>>, en el lado <<distal>> ó <<proximal>> de la franja de mena. Para ello habría que usar otros elementos indicativos con análisis geoquímicos y/o isotópicos.

5.6. Comportamiento de elementos de importancia

En superficie, manchas de óxidos de Mn en la caliza y óxidos de Fe en fracturas o en fallas indican actividad hidrotermal que probablemente estén ligadas a mineralización económica.

Martínez (1986) muestra que en superficie (a 5,050 m. de altura) hay venillas de calcita que bordean a un intrusivo que aparentemente no está mineralizado. Pero que bajo tierra múltiples venillas de calcita ocurren encima, debajo y adyacente a los cuerpos de mena hasta distancias que varían desde casi cero hasta unos 40 m.

Martínez (1986) también tomó muestras en el nivel 590 a lo largo de 4 perfiles alejándose del cuerpo Rosa Norte hacia el N, S, E y O. Tres de las cuatro muestras que tomó del cuerpo dieron 360 ppm Ag, lo que equivale a unas 10-12 oz. Ag/t, por lo cual pueden considerarse como representativas a la mena. La cuarta dio 7,000 ppm Ag, por lo cual se omitió este valor no representativo. Los demás datos se plotearon en gráficos semilogarítmicos, que extrapolando los alineamientos disponibles, se obtienen distancias de 30, 35, 50 y 55 m. cuyo promedio resulta 42.5 m., para el máximo rango de detección de la mena usando análisis geoquímicas rutinarios con un límite de detección de 1 ppm Ag.

Evidentemente, convendría continuar el estudio de Martínez (1986) examinando otros cuerpos y usando otros elementos - Mn, Zn, Pb, Sb, As, Fe, Ca, Mg - e isótopos de C y O para aumentar la distancia a la cual puede detectarse un cuerpo. Esto podría usarse para detectar cuerpos adyacentes a galerías y cruceros, considerando además la información de sondajes ejecutados.

Sin embargo Richard Tosdal (2004), usando isótopos de carbono y oxígeno en venas de calcita y roca huésped , tanto de superficie como de interior mina en la zona de la veta Rosa, determinó que el distrito minero de Uchucchacua presenta $\delta^{18}\text{O}$ 16‰ y $\delta^{13}\text{C}$ -6‰ en promedio (figuras V- 6, 7, y 8), llegando a las siguientes conclusiones:

- El venilleo de calcita tiene $\delta^{18}\text{O}$ (14-19 ‰) con bajos valores en profundidad.
- No hay halos laterales de alteración a niveles mayores a 4950 m.
- Decrecimiento del halo lateral de $\delta^{18}\text{O}$ (> 10 m) a una profundidad de 4450 m
- Decrecimiento de $\delta^{13}\text{C}$ (de 0 a -9 ‰) se correlaciona con $\delta^{18}\text{O}$
- Las vetas tardías registran influencia meteórica.

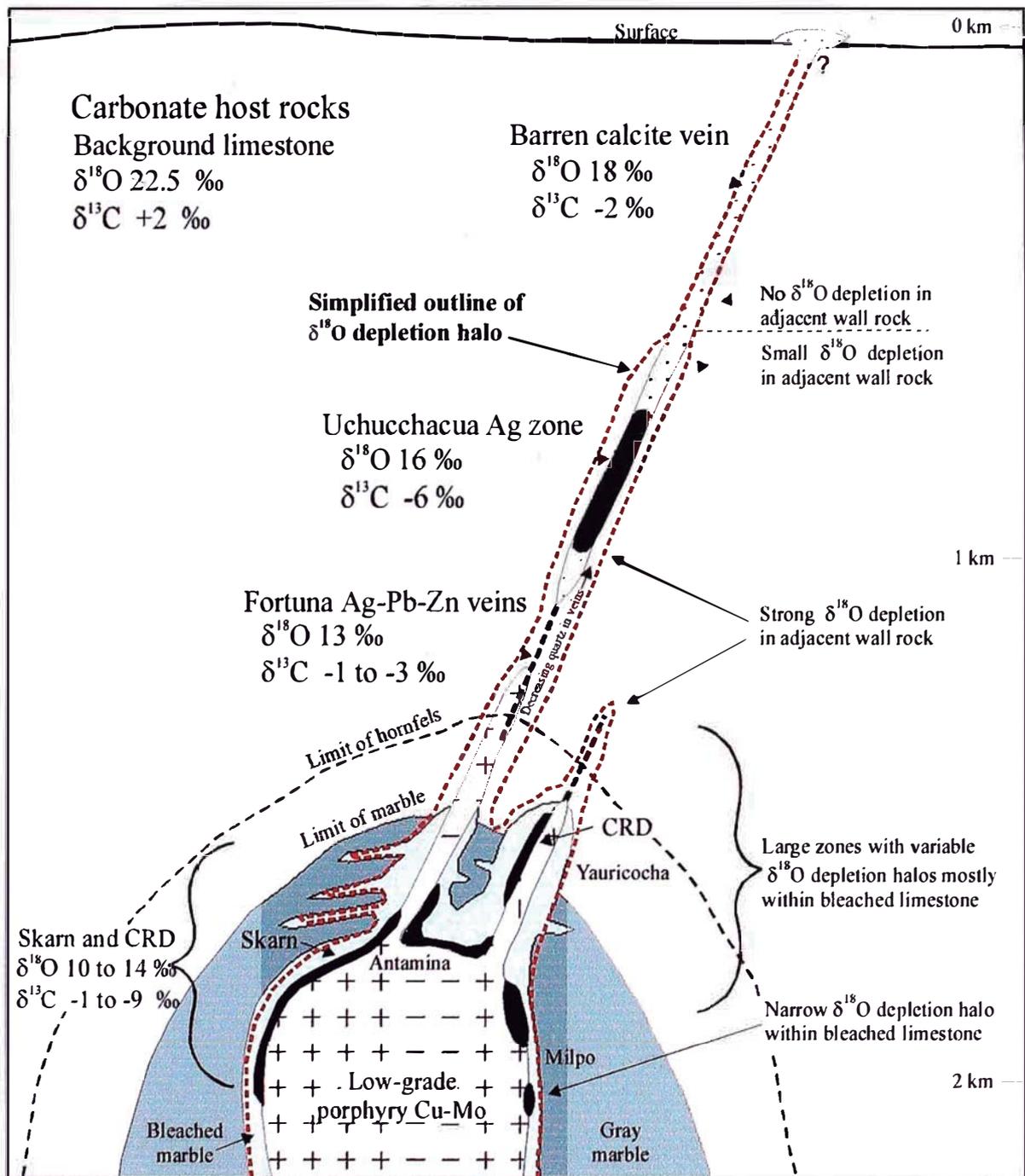


Figura V-6.- Esquema general según isótopos de oxígeno y carbono de los yacimientos pertenecientes al metalotecto estudiado por la University of British Columbia (2002).

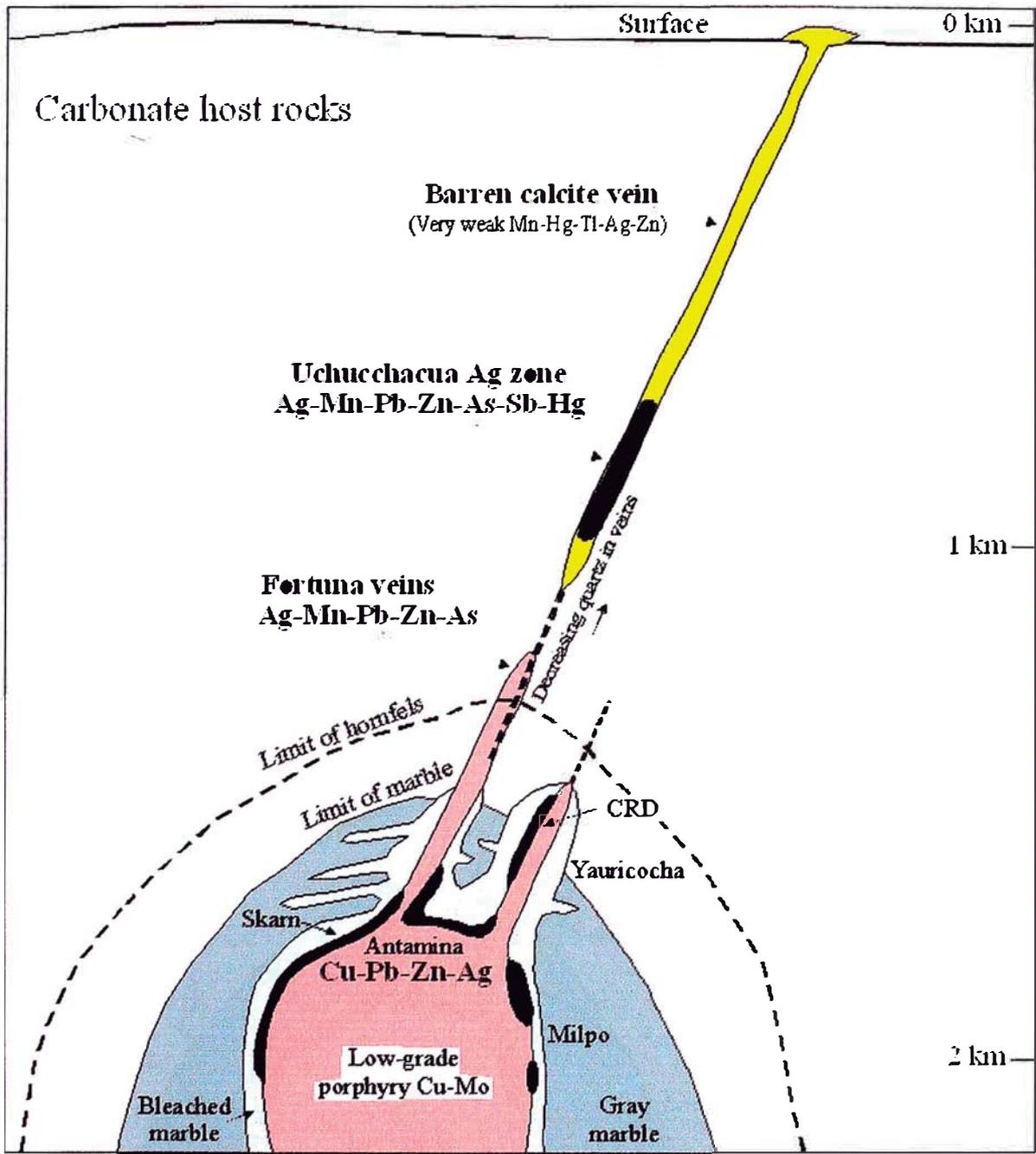


Figura V-7.- Esquema general según la mineralización de los yacimientos pertenecientes al metalotecto estudiado por la University of British Columbia (2002).

Idealized vertical distribution of carbonate-hosted deposits and stable isotope halos

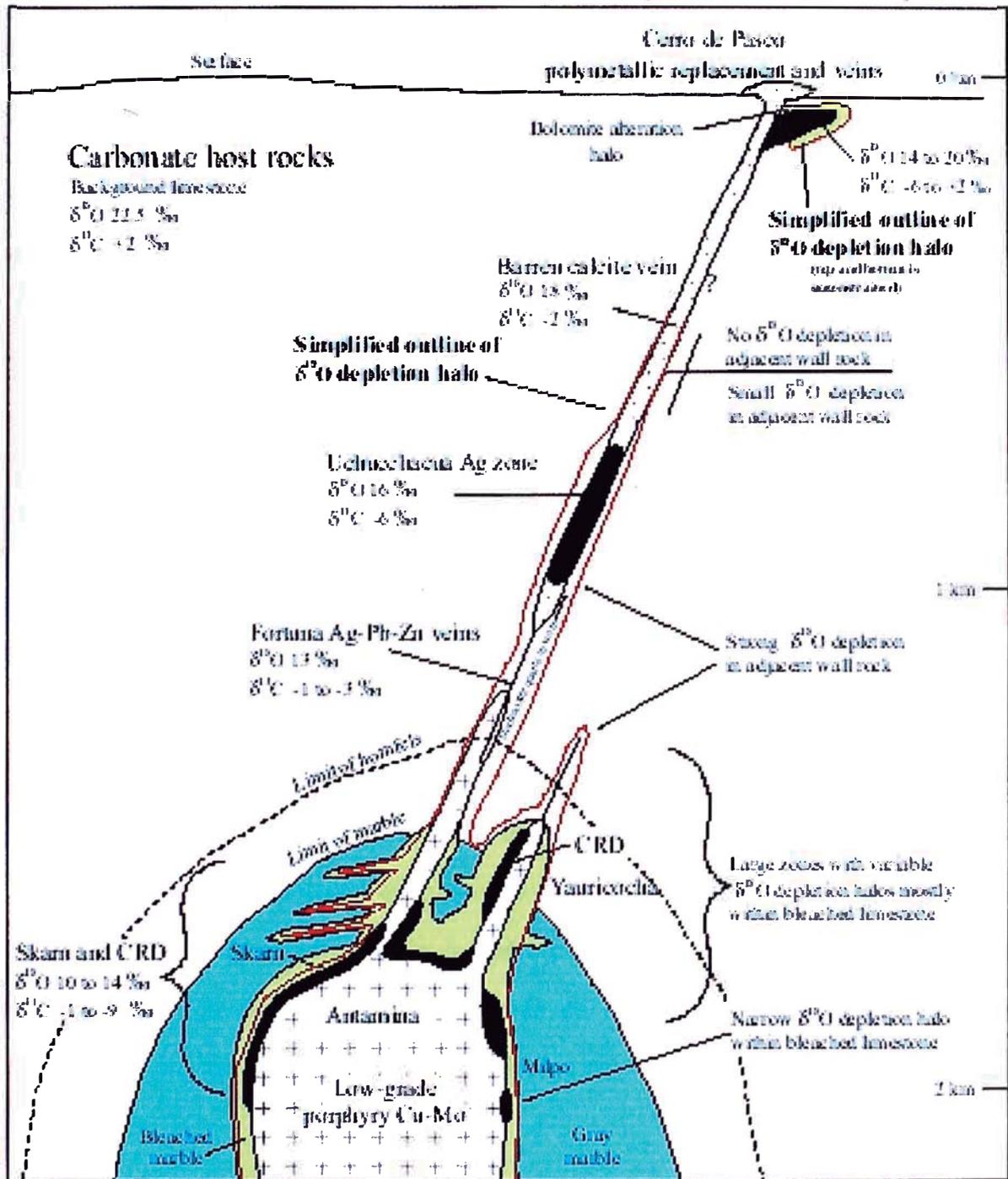


Figura V-8.- Esquema general según isótopos de oxígeno y carbono, además de las alteraciones de los yacimientos pertenecientes al metalotecto estudiado por la University of British Columbia (2002).

CAPITULO 6. APLICACIÓN DEL ANÁLISIS ESTRUCTURAL, MINERALÓGICO Y GEOQUÍMICO INTEGRADO PARA LA EXPLORACIÓN

5.1. Análisis Estructural

Se ha reconocido estructuras importantes como la falla Rosa y el anticlinal Cachipampa, los cuales jugaron un papel importante para la formación del cuerpo Rosario, al norte de la falla Rosa, y otros cuerpos mineralizados al sur de la falla Rosa situados esencialmente en el Jumasha inferior. Tal posición puede obedecer a una combinación de control estratigráfico, por la menor permeabilidad del intervalo margoso del tope de Jumasha inferior; y de control estructural por una estructura más profunda. Este último podría haber sido ejercido por una rampa mayor en profundidad, ésta estructura es necesaria para explicar la existencia del Anticlinal Cachipampa (C. Angeles, 2002).

El cuerpo Rosario se define como un "pipe" de 300 m. aproximadamente asociado a la falla Rosa, cuyo origen esta ligado probablemente a paleokarsts observando que alrededor del cuerpo se encuentran masas de calcita esparítica muy gruesa, con clastos de caliza, rellenando cavidades de sección ovalada, tratándose probablemente de precipitación en cavidades cársticas. Además se asocia a la existencia de brechas hidrotermales pre-mineral cortadas por un sistema de venas de extensión asociadas a la mineralización.

Las venas de extensión de calcita gruesa, orientadas SO – NE, fuertemente inclinadas y con fluorescencia UV roja son tardías y se hallan desarrolladas en la periferia del Cuerpo Rosario. Esta generación de venas puede resultar una útil característica asociada a la mineralización, y puede ser registrada en presencia y densidad en la cartografía subterránea.

La mineralización examinada en la periferia Norte del Cuerpo Rosario ocurrió bajo un régimen de compresión OSO – ENE (N260 – 080 es la bisectriz del diedro agudo de los desgarres conjugados), con la dirección de extensión asociada NO – SE. Fallas y venas de ésta fase antecedieron, se intercalaron con eventos de brechamiento hidrotermal y mineralización.

5.2. Análisis Mineralógico

En la delimitación de cuerpos de mena, de interés económico, los cambios zonales a menudo son buenos indicadores para saber si el mineral tendrá mayor extensión o se cerrará durante la exploración avanzada y esto constituye una aplicación práctica de la zonación a nivel de un cuerpo mineral individual. Por su parte, la zonación a nivel distrital puede permitir orientar la exploración hacia áreas superficiales o a determinadas profundidades en las que es esperable encontrar cuerpos de mineral.

En la zona del cuerpo Rosario no se observa alguna alteración significativa a excepción de la calcitización, llegando a manifestarse por más de 20 m. del cuerpo. Se presenta como un craquelamiento con presencia de stringers de calcita y en algunos casos asociado a brechas hidrotermales. Lo cual permite usar este tipo de alteración como una guía de exploración más local.

Es probable que en Uchucchacua la edad de 24.5 Ma del dique pre-mineral corresponda al alineamiento magmático con dirección NE, mientras que la edad entre 5 y 10 Ma refleja al magmatismo y a la mineralización relacionados a la posición de la franja magmática principal en dicho periodo de tiempo.

Petersen (2001), muestra que la mayor parte del mineral de Uchucchacua (72.4%) tiene altas leyes de Ag-Mn y bajas leyes de Zn-Pb, lo que significa que consiste

principalmente de la etapa III. Por otro lado, solo un 6.3% del mineral tiene mayores contenidos de Zn-Pb y bajos de Ag-Mn, representando mineral de la etapa II. Los demás tipos de mineral (21.3%) representan mezclas de ambos tipos de mineral. El hecho de que ambas etapas de mineral estén presentes en Carmen, Socorro y Casualidad refuerza la idea de que probablemente pertenecen a una sola celda hidrotermal y no a celdas separadas.

5.3. Análisis Geoquímico

Según Richard Tosdal (2003), en la veta Rosa, la plata, Mn, As, Sb, Cd, Mo, S, Sn, Te, y metales base aumentan en profundidad, mientras que el mercurio decrece. Sobre el horizonte mineralizado, las vetas de calcita blanca generalmente no contienen una anomalía geoquímica significativa, excepto por esporádicos valores de Ag y Mn asociados a sulfuros. Dentro del horizonte mineralizado las vetas de calcita blanca ejerce un fuerte control en la dispersión lateral de elementos lejos de las vetas mineralizadas, y contienen anomalías en Ag, Mn, As, Tl, Cu, Pb, Zn, Cd y P, con débil anomalía en Au, Sn, W.

Mientras que, en las rocas encajonantes del cuerpo Rosario, los elementos que presentan anomalías son Ag, Ar, Cu, Fe, Mn, Pb, S, Sb, Sr y Zn, en un radio de hasta 10 metros fuera del cuerpo.

Uno de los elementos que presenta relación inversa a la Ag y a otros elementos es el Sr, el cual aumenta de valor al alejarse del cuerpo y decrece al acercarse al mismo. Este fenómeno se debe a que los fluidos hidrotermales consumen al Sr que se encuentra presente en las calizas a partir de los foraminíferos.

Por lo tanto este elemento podría ser considerado como una guía en la exploración, teniendo en cuenta que el rango de valores anómalo oscila entre 50 y 150 ppm.

La distribución de leyes fue estudiada inicialmente por Alpers (1980) para la veta Luz, luego por Martínez (1985) para la veta Rosa y posteriormente Bussell et al. (1990) para las vetas Luz y Rosa. Éstos estudios muestran franjas sinuosas subhorizontales en las secciones verticales longitudinales de las vetas al plotear las leyes económicas de Ag, Mn, Zn y Pb. Se observa que las franjas de leyes de Zn y Pb coinciden muy bien. Las franjas de leyes de Ag y Mn coinciden generalmente, pero no siempre. Las franjas de Zn y Pb tienden a ser paralelas a las de Ag y Mn, superponiéndose las cuatro en muchos lugares. Pero en otros sitios los dos pares se cruzan o están paralelos es decir, zoneados. Estos resultados confirman lo que se esperaría de la secuencia paragenética, porque el Zn y el Pb se depositaron mayormente durante la etapa II, la Ag se depositó más en la etapa III, y el Mn se redistribuyó en ambas etapas, pero se encuentra más en la etapa III.

5.4. Clasificación del tipo de Yacimiento

Uchucchacua es un depósito argentífero hidrotermal epigenético del tipo skarn distal y reemplazo de carbonatos, en donde las soluciones mineralizantes finalmente alojadas en cavidades cársticas dieron lugar a la formación de cuerpos y mantos mineralizados. Además podemos encontrar relleno de fractura o vetas, las cuales sirvieron como canales de circulación de fluidos hidrotermales.

Las rocas que hospedan la mineralización son mayormente calizas y margas del Cretáceo superior (Formación Jumasha).

La mineralización económica consiste de Sulfosales de Plata, Galena, Esfalerita, Pirita en ganga de minerales de Manganeseo (Alabandita, Johansenita, Bustamita, Rodocrosita, Rodonita, etc).

El control estructural es de suma importancia y guía para la búsqueda de nuevos cuerpos y mantos así como la presencia de craquelamiento con venilleo de calcita asociados a las estructuras. La mineralización se ha emplazado en la zona de intersección de vetas, fallas, con intenso venilleo de calcita, en la influencia de los flancos del anticlinal de Cachipampa y asociados a intrusivos en profundidad.

La franja mineralizada de Plata en Uchucchacua, donde está incluidos los cuerpos y mantos, tiene en promedio 200 metros de altura, con una tendencia a profundizar debajo del nivel 120.

Uchucchacua, por su mineralización asociada a Manganeseo (Alabandita) parece ser única en Sudamérica.

Se puede afirmar, según la nueva visión de yacimientos, que los tres componentes que dan origen a la formación de un yacimiento como son la fuente, el conducto y la trampa de la mineralización, en el distrito de Uchucchacua están definidos de la siguiente manera:

Fuente de la mineralización: Fluidos hidrotermales provenientes de intrusivos profundos no determinados, en combinación con salmueras provenientes del basamento.

Conducto de la mineralización: Fallas con continuidad en vertical y horizontal que por lo general sufrieron dilatación en diversos episodios tectónicos, además de la presencia de zonas de brecha asociadas a grandes estructuras, y paleokarst. Todo ello en conjunto asociado a la presencia del anticlinal Cachipampa.

Trampa de la mineralización: Principalmente litoestratigráfica, correspondiente a las rocas del Jumasha medio e inferior, teniendo como barreras poco permeables al

horizonte de caliza margosa ubicada en el tope del Jumasha inferior, además del horizonte marcador ubicado entre el Jumasha medio y superior.

5.5. Aplicación del Análisis Integrado

Se ha mostrado que el análisis estructural, mineralógico y geoquímico nos brinda información consistente en la toma de decisiones durante la exploración dentro del Distrito Minero Uchucchacua, ya que estos tres factores están íntimamente ligados en la ocurrencia de mineralización, debido a que en la génesis del yacimiento intervienen grandes estructuras pre-existentes como un complejo sistema de fracturas, en rocas carbonatadas con horizontes impermeables, en donde la mineralización presenta un zoneamiento a lo largo del distrito minero.

Así pues, como número uno se tiene el aspecto estructural dentro del distrito minero, seguido de la geoquímica y mineralogía como factores determinantes. Por tal motivo es necesario determinar los principales sistemas de fracturas, y orientar la exploración a lo largo del sistema que se encuentre ligado a la mineralización, considerando además el horizonte litológico favorable ubicado entre el Jumasha inferior y medio, que finalmente se complementa con la tendencia del flujo mineralizante determinado por el zoneamiento adyacente caracterizado por la disminución de la abundancia de algún elemento determinado como el Sr.

Uchucchacua es un yacimiento muy bondadoso, en donde hay mucho por estudiar y quizás surjan nuevos criterios para la exploración que den mejores resultados logrando así el incremento de las reservas. Como por ejemplo el estudio de isótopos de oxígeno y carbono, así como también el de inclusiones fluidas y la fluorescencia asociada al hidrotermalismo.

CAPITULO 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La evidencia de encontrar cavidades rellenas por calcita esparítica en la roca huésped del cuerpo Rosario, indica que es muy probable que procesos cársticos, concentrados principalmente en zonas de debilidad como fallas, intersección de estructuras, y craquelamiento asociado a cambios de rumbo de grandes estructuras, hayan existido previos a la mineralización originando zonas favorables para la mineralización, lo cual podría servir como guía de exploración.
- En base al estudio de petrofacies realizado en calizas de la formación Jumasha, se ha determinado que las calizas del miembro inferior son del tipo grainstone y no presentan horizontes margosos, lo cual las hace favorables para el reemplazamiento, que asociado al aspecto estructural podría considerársele como un metalotecto.
- La mineralización del cuerpo Rosario se ha emplazado en las calizas masivas del miembro inferior de la formación Jumasha, adyacente a la veta Rosa y presenta intenso venilleo de calcita, el cual puede servir como guía de exploración teniendo en cuenta una concentración mayor a 10% de venilleo de calcita.
- Se esta considerando, en el presente estudio, el uso de fluorescencia de rayos ultravioleta en la etapa de exploración, ya que el venilleo de calcita relacionado con hidrotermalismo al ser expuesto a rayos ultravioleta desprende una fuerte fluorescencia roja, debido a la presencia de valores anómalos en Mn (no mayor a 3.3 mol% de MnCO_3) y Ga. Este fenómeno se ha observado alrededor del cuerpo Rosario por más de 100 m. fuera de este.

- Los resultados obtenidos a partir de secciones pulidas del cuerpo Rosario muestran que la mena está conformada principalmente por minerales de la etapa II, lo cual indica incremento de temperatura del sistema y en consecuencia poco aporte de mineralización de la etapa III. Mientras que la zonación muestra que en profundidad los óxidos de fierro como la magnetita aumentan, y el manganeso decrece.
- Se ha determinado en la periferia del cuerpo Rosario, la presencia de un sistema de venillas de calcita NE – SW, relacionadas íntimamente con la mineralización, que desprenden fluorescencia roja, y que probablemente sea una característica de la mayoría de cuerpos mineralizados del distrito, lo cual podría ser cartografiada y usada como guía de exploración dentro del Distrito Minero Uchucchacua.
- Integrar el análisis estructural de una zona en estudio en Uchucchacua tomando en cuenta no solo estructuras mayores sino también sistemas de fracturas e intensidad de venilleo de calcita; con el análisis geoquímico teniendo en cuenta el rangos menores a 200 ppm de Sr para zonas anómalas; y el análisis mineralógico con el estudio de fluorescencia para minerales como la calcita, nos permitirá definir mejores targets de exploración.
- Se ha podido llegar a la conclusión de que el cuerpo Rosario forma parte de un skarn distal, ya que se tiene como evidencia la presencia de minerales como johansenita y bustamita, además del estudio de isótopos realizado a lo largo de la veta Rosa el cual indica $\delta^{18}\text{O}$ 16‰ y $\delta^{13}\text{C}$ -6‰ para las calizas huésped.

- Se recomienda realizar estudios de isótopos estables, principalmente de oxígeno y carbono, como herramienta de exploración para determinar halos de influencia existentes, producto de la interacción de los fluidos mineralizantes y la roca huésped, tomando como base el estudio realizado por científicos de la University of British Columbia denominado “Sources and exhausts in polymetallic carbonate rock-hosted ore deposits: Miocene magmatism and alteration in Central Perú”.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

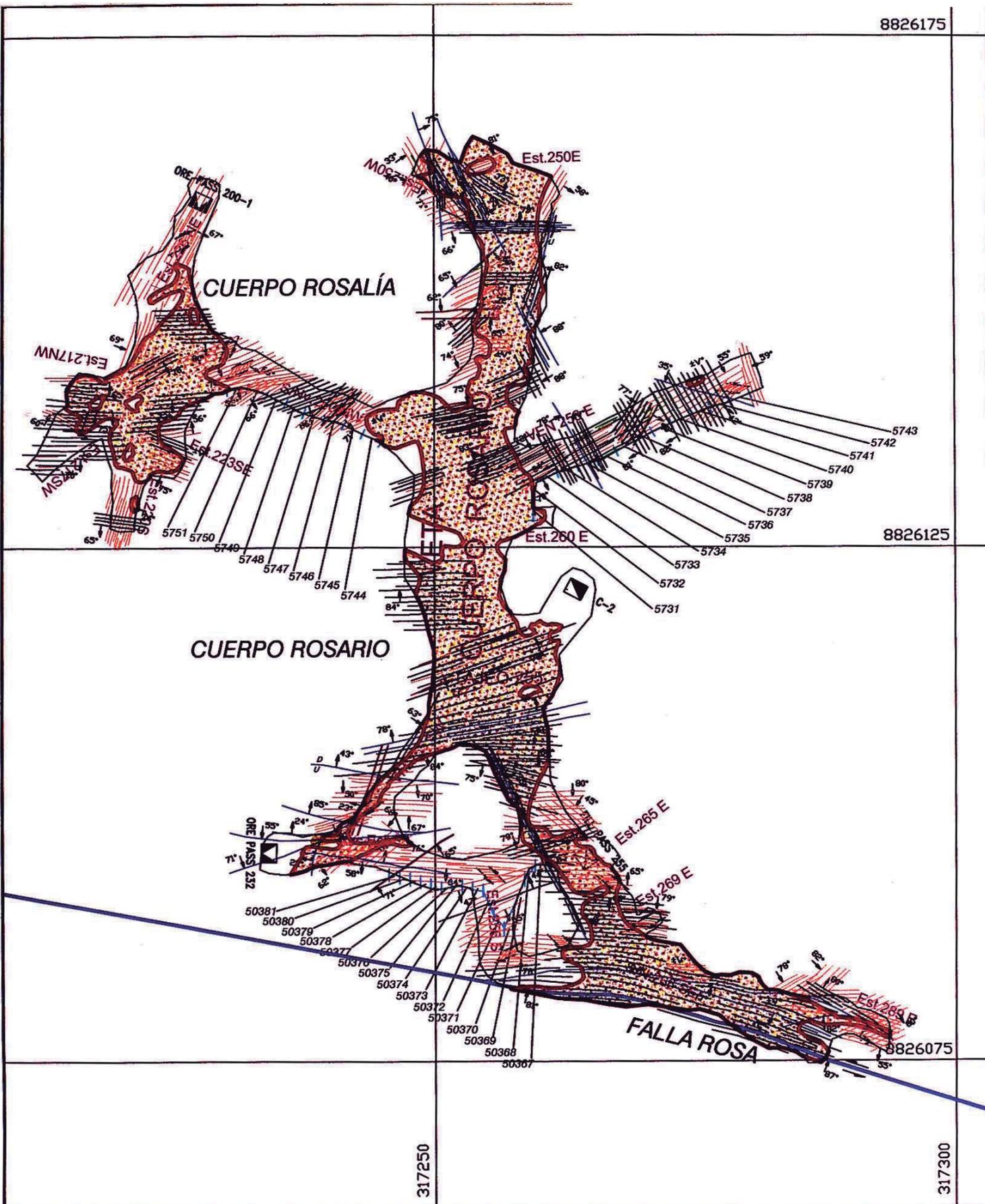
- M. Andrew Bussell, Charles N. Alpers, Ulrich Petersen, Alistair N. Baxter, 1993. - "The Ag-Mn-Pb-Zn Vein, Replacement, and Skarn Deposits of Uchucchacua, Peru: Studies of Structure, Mineralogy, Metal Zoning, Sr Isotopes, and Fluid Inclusions" - Publicación Boletín 41 Sociedad Geológica del Perú.
- Charles N. Alpers, 1980. - "Mineralogy, Paragenesis, and Zoning of the Luz Vein, Uchucchacua, Peru" - Tesis para obtener el grado A.B. en la Universidad Harvard.
- Maurice Romani, 1982. - "Geología de la Región Minera Uchucchacua" - Tesis para obtener el título de Doctor en la Universidad de Grenoble I.
- M.K. A. Bussell y A.N. Baxter, 1986. - "Structural Controls of Ore Deposition in the Uchucchacua District, Central Peru" - Londres.
- A.N. Baxter y M. A. Bussell, 1986. - "Estudio Geológico y del Potencial Minero del Área entre Uchucchacua y Pacush" - Lima.
- Julio Caldas V., Jorge Yauri V, Cesar Farfán B, 1998. - "Levantamiento Geológico de la Región Uchucchacua" - Lima.
- Pascual Martínez, 1986. - "Controles y guías de exploración de cuerpos argentíferos en skarn del yacimiento de Uchucchacua" - Tesis para obtener el grado de master en la Universidad Nacional de Ingeniería - Lima.

- Mineral Deposit Research Unit - University of British Columbia, 2002. - "Sources and Exhausts in Polymetallic Carbonate Rock-Hosted Ore Deposits: Miocene Magmatism and Alteration in Central Perú" - Canadá.
- Carlos Angeles, 2002.- "Geologia Estructural del Sector Oriental del Distrito Minero de Uchucchacua" – Lima.

ANEXOS

TAJO	ESTRUCTURA	RUMBO	BUZAMIENTO	AZIMUT (°)	DESCRIPCIÓN
238	Falla	N20°E	SE81°	20	Falla dextral con relleno de cac.
238	Falla	N30°W	SW86°	150	Falla con poco relleno de calcita.
238	Falla	N60°E	NW88°	240	Falla con poco relleno de calcita.
238	Venilla	N82°E	NW62°	262	VLL. de cac, rdc, py y gn.
238	Venilla	E-W	N77°	270	VLL. de cac y rdc.
238	Venilla	N28°E	SE62°	28	VLL. de cac.
238	Venilla	N77°E	SE78°	77	VLL. de cac y rdc.
255	Falla	N70°E	SE55°	70	Falla con relleno de cac, py, gn, rdc de 0,8m de ancho.
255	Falla	N27°W	NE81°	333	Falla con poco relleno de cac.
255	Falla	N32°W	NE65°	328	Falla inversa (?) con poco relleno de cac.
255	Falla	N85°W	SW70°	95	Falla dextral con relleno de cac.
255	Falla	N50°E	SE70°	50	Falla que controla de alguna manera la mineralización
255	Falla	N65°E	SE60°	65	Falla normal dextral con relleno de cac.
255	Falla	E-W	N47°	180	Falla normal sin relleno de cac.
255	Venilla	N57°E	NW95°	237	VLL. de cac, 2da fase
255	Venilla	N82°E	SE64°	82	VLL. de cac, 1ra. fase.
255	Fam. de VLLs.	N45°E	SE75°	45	Familia de VLLs de cac, 1ra. fase, paralelas a la falla anterior.
255	Fam. de VLLs.	N82°E	NW38°	262	Familia de VLLs de cac, 2ra. fase, que cortan a las VLLs anteriores
255	Venilla	N75°E	SE40°	75	VLL. de cac. Se ven algunas venillas paralelas a ésta.
255	Venilla	N50°W	NE84°	310	VLL. de cac.
255	Venilla	N30°W	NE66°	330	VLL. de cac.
255	Fam. de VLLs.	N50°W	NE60°	310	Familia de VLLs de cac, 2da. fase.
255	Fam. de VLLs.	N70°E	NW70°	250	Familia de VLLs de cac, 1ra. fase.
255	Fam. de VLLs.	N80°W	NE86°	280	Familia de VLLs de cac, 1ra. fase.
255	Fam. de VLLs.	N83°E	NW65°	263	Familia de VLLs de cac con platas rojas, py diss. y rdn.
255	Fam. de VLLs.	E-W	S66°	90	Familia de VLLs de cac, 2ra. fase, algunas con aparente movimiento dextral.
255	Fam. de VLLs.	N85°W	SW50°	95	Familia de VLLs de cac, 2ra. fase.
255	Fam. de VLLs.	N76°E	SE78°	76	Familia de VLLs de cac, 1ra. fase.
255	Fam. de VLLs.	N72°E	NW80°	252	Familia de VLLs de cac
255	Fam. de VLLs.	N85°E	NW70°	265	Familia de VLLs de cac y rdn, 2ra. fase
255	Fam. de VLLs.	E-W	S60°	90	Familia de VLLs de cac, 1ra. fase.
255	Fam. de VLLs.	N85°E	NW85°	265	Familia de VLLs de cac con silicatos, platas rojas y py diss., 3ra. fase.
255	Fam. de VLLs.	N70°E	SE55°	70	Familia de VLLs de cac.
255	Fam. de VLLs.	N60°E	SE47°	60	Venillas de cac formando arreglo escalonado, definiendo falla potencial dextral.
255	Fam. de VLLs.	N65°E	SE58°	65	Familia de VLLs de cac.
255	Fam. de Fract.	N42°W	NE60°	318	Familia de fracturas sin relleno de cac.
255	Fam. de Fract.	N80°E	NW49°	260	Familia de fracturas, algunas con relleno de cac.
255	Fam. de Fract.	N25°W	NE4°	335	Familia de fracturas con relleno de cac, 3ra. fase.
255	Fractura	N12°E	NW15°	192	Fractura con relleno de cac, 3ra. fase.
255	Fam. de Fract.	N30°W	NE48°	330	Familia de fracturas sin relleno de cac.
255	Falla	N80°W	SW87°	100	Falla sinextral (?) sin relleno de cac.
255	Falla	N85°W	SW88°	95	Falla normal con poco relleno de cac, 2da. fase.
255	Falla	N75°E	NW37°	255	Falla con relleno de cac, que forma cuña con falla anterior.
255	Fam. de Fract.	N35°W	NE65°	325	Familia de fracturas sin relleno de cac.
255	Fam. de VLLs.	N70°E	SE70°	70	Familia de VLLs de cac, y arreglo escalonado definiendo falla potencial dextral.
255	Fractura	N40°W	NE56°	320	Fractura con relleno de cac.
255	Fam. de Fract.	N80°E	NW38°	260	Familia de fracturas con poco relleno de cac, y aparente movimiento inverso (?).
255	Fractura	N32°W	NE75°	328	Fractura con relleno de cac.
255	Venilla	N63°W	NE55°	297	VLL. de cac irregular que se corta en la fractura anterior.
255	Fam. de VLLs.	N60°E	SE70°	60	Familia de VLLs de cac.
255	Fractura	N88°W	NE82°	272	Fractura con relleno de cac.
255	Falla	N80°W	SW43°	100	Falla importante que delimita mineral.
255	Fam. de Fract.	N63°W	SW55°	117	Familia de fracturas sin relleno de cac.
255	Fam. de VLLs.	N70°E	NW65°	250	Familia de VLLs de cac.
255	Fam. de Fract.	N70°E	SE85°	70	Familia de fracturas sin relleno de cac.
255	Fam. de Fract.	N80°E	SE72°	80	Familia de fracturas sin relleno de cac.
255	Fam. de Fract.	N36°E	SE55°	36	Familia de fracturas con relleno de cac.
255	Venilla	N88°W	SW70°	92	VLL. de cac.
255	Venilla	N38°E	SE83°	38	VLL. de cac.
255	Fam. de VLLs.	N55°E	SE54°	55	Familia de VLLs de cac.
255	Venilla	N50°W	NE70°	310	VLL. de cac, que corta a familia de VLLs anterior.
255	Falla	N65°E	SE55°	65	Falla con panizo y relleno de cac.
255	Falla	N70°W	SW84°	110	Falla Rosa, tiene crustific. bandeada de cac con panizo y OXs Fe, y delimita mineral.
255	Fam. de VLLs.	N40°E	SE55°	40	Familia de VLLs de cac, muy fina.
255	Falla	E-W	S69°	90	Falla dextral (?) con relleno de cac, rdn bandeada, gn, py, SILC. y en parte brechada.
255	Falla	N83°E	NW45°	263	Falla que delimita mineral.
255	Fam. de VLLs.	N88°W	SW82°	92	Familia de VLLs de cac, (6 VLLs/m).
255	Falla	N80°W	SW82°	100	Falla con poco relleno de cac y panizo.
255	Falla	N84°E	+/- Vertical	84	Falla dextral con relleno de cac, SILC. y panizo con OXs Fe. Se une a falla Rosa.
255	Falla	E-W	+/- Vertical	90	Falla dextral con poco relleno de cac. Se une a falla Rosa.
255	Falla	N65°E	NW80°	245	Falla inversa con poco relleno de cac.
255	Fam. de VLLs.	N85°E	+/- Vertical	85	Familia de VLLs de cac craquelada.
255	Falla	N85°W	SW68°	95	Falla dextral (?) con relleno de cac, rdn bandeada, SULF., SILC. y en parte brechada.
255	Fam. de VLLs.	E-W	S80°	90	Familia de VLLs de cac.
255	Fam. de Fract.	N81°E	NW60°	261	Familia de fracturas sin relleno de cac. Post mineral.
255	Falla	N75°W	+/- Vertical	285	Falla con poco relleno de cac.
255	Fam. de VLLs.	N65°W	SW32°	115	Familia de VLLs de cac.
255	Falla	N60°E	SE70°	60	Falla dextral con relleno de cac.
255	Fam. de VLLs.	N75°E	SE80°	75	Familia de VLLs de cac.
255	Falla	N76°E	+/- Vertical	76	Falla dextral (?) con poco relleno de cac.
255	Fam. de Fract.	N68°E	SE71°	68	Familia de fracturas sin relleno de cac.
255	Fam. de VLLs.	N21°E	SE45°	21	Familia de VLLs de cac, 1ra. fase.
255	Fam. de VLLs.	N23°E	SE50°	23	Familia de VLLs de cac, 1ra. fase.
255	Fam. de VLLs.	N74°E	SE78°	74	Familia de VLLs de cac, 2da. fase, y corta a las familias anteriores.
255	Fam. de VLLs.	N60°E	+/- Vertical	60	Venillas de cac formando arreglo escalonado, definiendo falla potencial dextral.
255	Falla	N24°E	SE50°	24	Falla con relleno de cac.
255	Fam. de Fract.	N75°E	NW76°	255	Familia de fracturas sin relleno de cac.
255	Falla	N50°W	SW82°	130	Falla sinextral (?) con poco relleno de cac.
255	Fam. de Fract.	N80°W	NE80°	260	Familia de fracturas, algunas con relleno de cac.
255	Fam. de VLLs.	N30°E	SE77°	30	Familia de VLLs de cac, craquelada.
255	Fam. de Fract.	N80°E	SE74°	80	Familia de fracturas sin relleno de cac.
255	Fam. de Fract.	N57°E	+/- Vertical	57	Familia de fracturas sin relleno de cac.

255	Fractura	N78°E	SE83°	78	Fractura con poco relleno de cac.
255	Fractura	N73°E	SE80°	73	Fractura sin relleno de cac.
255	Venilla	N72°E	NW74°	252	Venilla de cac.
255	Fam. de Fract.	N43°E	SE70°	43	Familia de fracturas sin relleno de cac.
255	Fam. VLLs. Y Fract.	N68°E	NW83°	248	Familia de VLLs de cac y fracturas.
255	Venilla	N87°E	NW72°	267	Venilla de cac, 2da. fase.
255	Fam. de VLLs.	N75°W	NE44°	285	Venillas de cac formando arreglo escalonado, definiendo falla potencial sinextral.
255	Fam. de VLLs.	N20°E	SE84°	20	Venillas de cac formando arreglo escalonado, definiendo falla potencial sinextral.
255	Fam. de VLLs.	N35°E	SE76°	35	Venillas de cac formando arreglo escalonado, definiendo falla potencial dextral.
255	Fam. de VLLs.	N75°E	NW77°	255	Venillas de cac formando arreglo escalonado, definiendo falla potencial dextral.
255	Fam. de Fract.	N68°E	NW81°	248	Familia de fracturas, algunas con relleno de cac.
255	Fam. de Fract.	N75°E	NW80°	255	Familia de fracturas sin relleno de cac.
255	Fam. de Fract.	N84°E	NW82°	264	Familia de fracturas sin relleno de cac.
255	Fam. de VLLs.	N78°E	SE70°	78	Familia de VLLs de cac.
255	Falla	N78°E	NW83°	258	Falla dextral que delimita mineral (platas rojas, gn, py, cac y SiLC).
255	Fam. de VLLs.	N60°E	SE54°	60	Familia de VLLs de cac y arreglo escalonado, definiendo falla potencial dextral.
255	Fam. de Fract.	N12°W	SW88°	168	Familia de fracturas sin relleno de cac.
255	Fam. de VLLs.	N10°E	+/- Vertical	10	Familia de VLLs de cac.
255	Fam. de VLLs.	N24°E	SE60°	24	Familia de VLLs de cac.
255	Fam. de VLLs.	N28°E	SE56°	28	Familia de VLLs de cac.
255	Venilla	N40°E	SE60°	40	Venilla de cac.
255	Fam. de Fract.	N73°E	NW84°	253	Familia de fracturas con relleno de cac.
255	Falla	N50°E	SE70°	50	Falla sin relleno de cac.
255	Fam. de Fract.	N30°W	NE58°	330	Familia de fracturas sin relleno de cac, 3ra. fase.
255	Falla	N30°W	NE50°	330	Falla con poco relleno de cac, que tiene un movimiento de tipo normal.
255	Fam. de VLLs.	N60°E	SE72°	60	Familia de VLLs de cac, 2da. fase.
255	Fam. de VLLs.	N30°W	NE70°	330	Familia de VLLs de cac, 1ra. fase.
255	Fam. de VLLs.	N80°W	NE85°	280	Familia de VLLs de cac.
255	Fam. de VLLs.	N30°W	NE65°	330	Familia de VLLs de cac, que son cortadas por la familia de VLLs de cac siguiente.
255	Fam. de VLLs.	N75°E	SE75°	75	Familia de VLLs de cac.
255	Falla	N65°E	NW45°	245	Falla con poco relleno de cac.
255	Fractura	N60°E	SE70°	60	Fractura sin relleno de cac.
255	Fam. de VLLs.	N85°E	NW82°	265	Familia de VLLs de cac, 1ra. fase.
255	Fam. de VLLs.	E-W	S45°	90	Familia de VLLs de cac, 2da. fase.
255	Fam. de Fract.	N25°W	SW84°	155	Familia de fracturas sin relleno de cac.
255	Fam. de VLLs.	N30°W	NE76°	330	Familia de VLLs de cac muy finas, 1ra. fase.
255	Fam. de VLLs.	N50°E	+/- Vertical	50	Familia de VLLs de cac, 2da. fase.
255	Fam. de Fallas.	N25°W	NE81°	335	Familia de fallas con relleno de cac y poco panizo.
255	Fam. de VLLs.	N38°E	SE50°	38	Familia de VLLs de cac muy finas, 1ra. fase.
261	Falla	N66°W	SW86°	66	Falla con relleno de cac y OXs-Fe. Estructura de cristificación bandeada de cac.
261	Falla	N80°E	+/- Vertical	100	Falla sinextral, con relleno de cac.
261	Venilla	N50°E	SE85°	130	Venilla de cac, 2da. fase.
261	Venilla	N60°W	NE15°	60	Venilla de cac, 1da. fase.
261	Falla	N73°W	SW72°	73	Falla que cambia de rumbo a (E-W, S79°) y presenta relleno de cac, py y gn.
261	Venilla	N65°E	SE88°	115	Venilla con cac y rdc.
261	Fam. de Fallas	N50°W	SW34°	50	Familia de fallas con poco relleno de cac.
261	Falla	N80°E	NW76°	100	Falla con poco relleno de cac.
261	Falla	N86°E	NW85°	94	Falla reactivada, con material brechado de Clz. con frag. de cac y rdn bandeada.
261	Fam. de Fract.	N82°W	NE80°	82	Familia de fracturas sin relleno de cac.
261	Fam. Fract. y Fallas.	N84°E	NW58°	96	Familia de fracturas y fallas sin relleno de cac.
261	Falla	N74°E	NW85°	106	Falla con poco relleno de cac.
261	Falla	N80°W	SW65°	80	Falla con poco relleno de cac.
261	Falla	N55°W	SW80°	55	Falla sinextral normal importante con relleno de cac (20cm.). OXs-Fe. milonita negra.
261	Falla	N75°E	+/- Vertical	105	Falla sinextral que se une a la anterior, tiene OXs-Fe y reprecipitación de cac.
261	Fam. de Fract.	N75°W	SW70°	75	Familia de fracturas con relleno de OXs-Fe (LIMs).
261	Fam. de VLLs	N45°E	NW44°	135	Familia de VLLs de cac (<2cm., sep. 2-15cm.).
261	Fam. de VLLs	N70°E	+/- Vertical	110	Familia de VLLs de cac y stringers (<1cm., sep. 2-5cm.) son irregulares.
261	Fractura	N80°E	NW78°	100	Fractura que corta mineral y tiene relleno de Clz triturada con M.O.
261	Falla	N82°W	NE75°	82	Falla con relleno fino de Clz triturada con M.O. Asociada a la mineralización.
261	Fam. de Fract.	N60°W	SW58°	60	Familia de fracturas con relleno de OXs-Fe (LIMs).
261	Fam. de VLLs	N55°E	NW63°	125	Familia de VLLs de cac en zona intensamente craquelada.
261	Fam. de Fract.	N60°W	SW42°	60	Familia de fracturas con relleno de OXs-Fe (LIMs) y cac en zona craquelada.
261	Fam. de Fract.	N38°W	NE40°	38	Familia de fracturas finas separadas 3-10cm.
261	Fam. de VLLs	N30°W	SW60°	30	Familia de VLLs de cac (<3cm., sep. 1-10cm.), en zona moderadamente craquelada.
261	Fam. de VLLs	E-W	N69°	90	Familia de VLLs de cac (<2cm., sep. 2-10cm.).
261	Fam. de VLLs	N15°E	NW78°	165	Familia de VLLs de cac (<1cm., sep. 3-15cm.).
261	Fam. de Fract.	N67°E	NW55°	113	Familia de fracturas sin relleno de cac que corta todo.
261	Fam. de Fract.	N-S	E45°	180	Familia de fracturas sin relleno de cac que se cortan en la familia de fract. anterior.
261	Fam. de VLLs	N25°W	SW57°	25	Familia de VLLs de cac (<3cm., sep. 1-8cm.), en zona moderadamente craquelada.
261	Fam. de Fract.	N15°W	NE67°	15	Familia de fracturas sin relleno de cac.
261	Fam. de VLLs	N30°E	NW61°	150	Familia de VLLs de cac (<3cm., sep. 20-30cm.) no muy prolongada.
261	Fam. de VLLs	N60°E	SE80°	120	Familia de VLLs (<1cm., sep. 2-15cm.), en zona craquelada y arreglo sinextral.
261	Venilla	E-W	S85°	90	Venilla con mineral de sulfuros, silicatos y carbonatos. No es muy continua.
261	Fam. de VLLs	N80°W	NE76°	80	Familia de VLLs de mineral de sulfuros, silicatos y carbonatos.
261	Fam. de VLLs	N67°E	NW85°	113	Familia de VLLs de cac (<2cm., sep. 5-30cm.).
261	Fam. de VLLs	N30°W	SW40°	36	Familia de VLLs de cac (<2cm., sep. 10-20cm.), y presencia de microvenillas de py.
261	Fam. de VLLs	N65°E	+/- Vertical	115	Familia de VLLs de cac (<1cm., sep. 2-15cm.).
261	Fam. de VLLs	N85°E	SE85°	95	Familia de VLLs de cac (<2cm., sep. 10-30cm.).
261	Fam. de VLLs	N65°E	NW66°	115	Familia de VLLs (<1cm., sep. 3-20cm.), y arreglo escalonado sinextral.



317250

317300

 U. P. UCHUCCHACUA C o m p a ñ í a d e M i B u e n a v e n t u r a	
Elaborado : Ing. V. Sánchez P.	06/11/2006
Dibujado : Ing. V. Sánchez P.	06/11/2006
Revisado : Ing. A. Sabastizagal V.	
Aprobado : Ing. D. Briones A.	

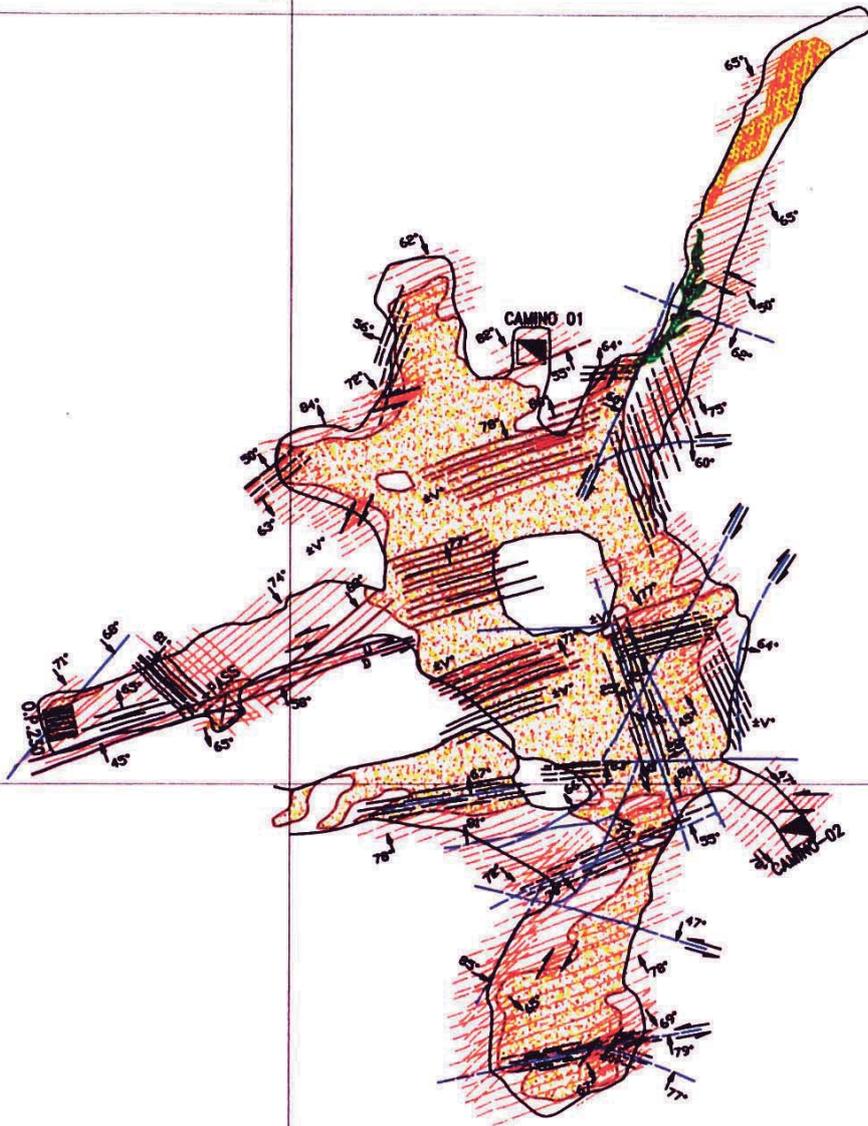
PLANO GEOLOGICO CPO. ROSARIO - TJO. 255 NIVEL 240 MINA CARMEN	
Area / Dpto : GEOLOGIA	
Sección : GEOLOGIA	

Formato : A4	
Lámina : -	Rev. : A
Escala : 1/500	
Código DWG : S	

E-317,250

E-317,300

N-8'826,150



N-8'826,100

N-8'826,050

Compañía de Mi Buena Ventura U. P. UCHUCCHACUA

PLANO GEOLOGICO
VETA ROSARIO - TAJEO 261
NV-180
MINA CARMEN

Formato :
A4

Lámina : 1/1 Rev. : A

Escala :
1/500

Código DWG :
U

Elaborado : ING. V. SANCHEZ / J. PARI

Dibujado : ING. V. SANCHEZ / J. PARI

06/11/2008

Revisado : ING. ANGEL SABASTIZAGAL V.

Aprobado : ING. DANIEL BRIONES A.

Area / Departamento : GEOLOGIA

Sección : GEOLOGIA

VER:
plano N°1
plano N°2
plano N°3