

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA, GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA**



**“GEOLOGÍA Y GÉNESIS DE CUAJONE”**

**INFORME DE INGENIERIA  
PARA OPTAR ÉL TITULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO GEÓLOGO**

Presentado por:  
**HELLER AGUSTÍN BERNABÉ TAPIA**

**Lima – Perú  
2002**

## Geología y Génesis de Cuajone

Este Trabajo lo dedico a mi  
amada esposa:  
Virginia Luz.

A mis dos lindas hijas:  
Sedy Stéfanny del Rosario  
Yeinmy Linda Kristal

Y a mis padres:  
Gildardo y María Jesús

Heller

---

**INDICE**

	Pag.
<b>Capítulo I</b>	
<b>Introducción</b>	1
1.1. Resumen	1
1.2. Ubicación	2
1.3. Potencial del Yacimiento	2
<b>Capítulo II</b>	
<b>Exploración y Desarrollo de Cuajone.</b>	6
2.1. Historia	6
2.2. Trabajos de Exploración	7
2.2.1. Prospección Geofísica	7
2.2.1. Prospección Geoquímica	11
2.3. Campañas de Perforación	13
<b>Capítulo III</b>	
<b>Geología Regional.</b>	21
3.1. Fisiografía	21
3.2. Litoestratigrafía	21
3.2.1. Formación Chocolate	23
3.2.2. Grupo Toquepala	23
3.2.2.1. Formación Toquepala	24
3.2.2.2. Formación Inogoya	24
3.2.2.3. Volcánico Paralaque	25
3.2.2.4. Volcánico Quellaveco	25
3.2.2.5. Serie Alta	25
3.2.2.6. Riolita Yarito	25
3.2.2.7. Riolita Tinajones	25
3.2.3. Rocas intrusivas	25
3.2.4. Formación Moquegua	26
3.2.5. Formación Huaylillas	27
3.2.6. Formación Chuntacala	27
3.2.7. Formación Capillune	28
3.2.8. Formación Barroso	28
3.2.9. Depósitos Cuaternarios	28
3.3. Geología Estructural Regional y Distrital	28
3.3.1. El Sistema de fallas Incapuquio	28
3.3.2. Falla Micalaco	29

3.3.3.	Falla Viña Blanca	29
4.3.4.	Falla Botiflaca	30

## Capítulo IV

<b>Geología Local.</b>		<b>31</b>
4.1.	Fisiografía	31
4.2.	Litoestratigrafía	31
4.2.1.	Rocas Preminerales	31
4.2.1.1.	Andesita Basáltica	31
4.2.1.2.	Riolita Porfirítica	34
4.2.1.3.	Dolerita Toquepala	34
4.2.2.	Rocas Intrusivas	35
4.2.2.1.	Diorita	35
4.2.2.2.	Rocas Latita Porfirítica	35
4.2.2.3.	Brechas	37
4.2.2.4.	Diques	37
4.2.3.	Rocas Postminerales	37
4.2.3.1.	Formación Huaylillas	37
4.2.3.2.	Formación Chuntacala	39
4.2.3.3.	Depósitos Cuaternarios	41
4.3.	Geología Estructural de la Mina	41
4.3.1.	Brechas	42
4.3.2.	Falla Mayor Sur	44
4.3.3.	Análisis Estereográfico	45
4.4.	Alteraciones Hidrotermales	47
4.4.1.	Alteración Potásica	47
4.4.2.	Alteración Propílica	48
4.4.3.	Alteración Fílica	48
4.4.4.	Alteración Fílica – Potásica	48
4.4.5.	Alteración Fílica – Propílica	50
4.4.6.	Alteración Argílica - Fílica	50
4.4.7.	Alteración Supérgena	50
4.4.7.1	Alteración Argílica	50
4.5.	Mineralización	50
4.5.1.	Mineralización de Cobre	50
4.5.1.1	Zona Lixiviada	51
4.5.1.2	Zona de Oxidos	51
4.5.1.3	Zona Enriquecida	53
4.5.1.4.	Zona Transicional	53
4.5.1.5.	Zona Primaria	53
4.5.2.	Mineralización de Molibdeno	54

---

**Capítulo V**

<b>Modelamiento Geológico</b>	<b>55</b>
5.1. Introducción	55
5.1.1. Modelo de Roca	59
5.1.2. Modelo de Alteraciones	63
5.1.3. Modelo de Mineralización	66
5.1.3.1. Modelo de Índice de Solubilidad	66
5.1.4. Modelo de Durezas	70
5.1.5. Modelo Geometalúrgico	73
5.1.5.1. Criterios de Selección	73
5.1.5.1.1. Control geológico por tipo de Roca	73
5.1.5.1.2. Control geológico por tipo de Alteración	73
5.1.5.1.3. Control geológico por zonas de Mineralización	75
5.1.5.1.4. Control geológico por tipo de Durezas	75
5.1.5.2. Definición de las zonas Geometalúrgicas	76
5.1.5.3. Zonas geometalúrgica, Mina Cuajone	76
5.1.5.4. Descripción de las zonas Geometalúrgicas	79
5.1.5.5. Control geológico de las zonas Geometalúrgicas	83

**Capítulo VI**

<b>Génesis de Cuajone</b>	<b>84</b>
6.1. Introducción	84
6.2. Génesis de Cuajone	84
<b>Conclusiones</b>	<b>98</b>
<b>Recomendaciones</b>	<b>102</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>103</b>

---

## **GEOLOGÍA Y GÉNESIS DE CUAJONE.**

### **CAPITULO I**

#### **INTRODUCCIÓN**

##### **1.1. RESUMEN**

El yacimiento de cobre porfirítico de Cuajone se encuentra emplazado al Sur del Perú en la Cordillera Occidental de los Andes en el Flanco Andino del Departamento de Moquegua entre 3,150 y 3,500 m.s.n.m. interceptado por las quebradas Chuntacala y Torata.

Históricamente se tiene referencia que desde fines del siglo pasado se tuvo una explotación de cobre a pequeña escala en forma de cateos superficiales. Fué en el año de 1937 en que la Cerro de Pasco Corporation, por intermedio de una campaña exploratoria, determina la zona como un proyecto potencial de cobre porfirítico de baja ley.

Después de mapeos superficiales y levantamientos topográficos, en 1942 se inicia la primera campaña de perforación diamantina exploratoria del yacimiento a la que le sucede una campaña aerofotográfica, prospección Geofísica-Geoquímica, pruebas metalúrgicas y nuevas campañas de perforación confirmatorias y los estudios de factibilidad del proyecto en la década del 60.

A fines del año 1969 se inicia la etapa de construcción y desbroce de material para preparar la mina. En el año de 1976 se comienza con la producción del yacimiento.

Se ha desarrollado un modelo de la evolución del yacimiento en el que litológicamente se tiene la presencia de rocas pertenecientes al Grupo Toquepala preminerales de las cuales la andesita basáltica ha sido una gran receptora de la mineralización, también se tienen rocas intrusivas entre las que destaca el primer pulso de latita porfirítica que resulta ser la mas importante por que trajo consigo la mineralización. Finalmente se tienen rocas postminerales correspondientes a la Formación Huaylillas y Chuntacala sin interés económico. Toda esta secuencia se desarrolla desde fines del Cretáceo hasta la actualidad.

Estructuralmente se tiene una tendencia generalizada hacia el Noroeste en el que las principales manifestaciones están representadas por la presencia de brechas, cuerpos intrusivos, diques y estructuras regionales como las fallas

## *Geología y Génesis de Cuajone*

Botiflaca y Viña Blanca las cuales forman un corredor donde se ha emplazado el yacimiento que tiene una forma elongada en la misma dirección. El predominio de estructuras dentro del tajo tiene también una dirección Noroeste.

Las alteraciones hidrotermales están representadas principalmente por una alteración potásica que ha sido determinada por medio de taladros diamantinos y que en la actualidad todavía no aflora en superficie, una alteración propílica que bordea al yacimiento en un halo de aproximadamente cuatro kilómetros y una alteración retrógrada filica originada principalmente por aguas meteóricas con temperaturas entre 500 y 100° C. Adicionalmente existen alteraciones gradacionales y sobreimpuestas en los contactos entre ellas. También se tiene una alteración supérgena representada por la alteración argílica.

La mineralización del yacimiento está relacionada principalmente a la intrusión de latita porfirítica que sucedió entre 50 y 60 MA de antigüedad. Presenta una mineralización regular, homogénea y tiene una mineralogía simple.

Actualmente Cuajone tiene 25 años de producción. En total se han extraído 1,505 millones de toneladas de material de los cuales 425 millones se han tratado en la concentradora con una ley promedio de 0.96 % de Cu

Alternativos estudios exploratorios hacia el Noroeste y en profundidad que se han realizado a partir del año 1982, han permitido incrementar las reservas de mineral. Actualmente se tienen 1,430 millones de toneladas con una ley promedio de 0.648 % de Cu y 0.020 % de Mo considerando un cutoff de 0.40 % de Cu.

### **1.2. UBICACIÓN**

Geográficamente se encuentra ubicado en el Departamento de Moquegua, Provincia de Mariscal Nieto, Distrito Torata. Ver gráfico 1.2-1.

El Pórfido de Cuajone se encuentra emplazado en la Franja Cuprífera Sur del Perú en el flanco Andino de la Cordillera Occidental de los Andes peruanos, el cuerpo mineralizado se encuentra entre 2,560 y 3,475 m.s.n.m. aproximadamente de 1.1 x 2.5 km. de extensión. Ver gráfico 1.2-2

El cuerpo mineralizado se emplaza parcialmente en la ladera Sur de la Quebrada Torata y es cortada en su parte central de Este a Oeste por la Quebrada Chuntacala que tributa sus aguas a la Quebrada Torata aproximadamente a 4 km. aguas abajo.

### **1.3. POTENCIAL DEL YACIMIENTO**

El Proyecto Cuajone desde sus inicios fue considerado como el más importante que se estaba desarrollando en el Perú.

La mina Cuajone mueve actualmente 200,000 TC de material/día, lo cual la hace considerar como una de las 10 primeras minas en el ámbito mundial en cuanto a importancia. Para poder lograr este objetivo, se tienen palas con capacidades de hasta 80 TC por cucharón y camiones de 240 TC de capacidad. Todo el movimiento del equipo es monitoreado y controlado a través del "Truck Dispatch" que permite elaborar automáticamente reportes y conocer inmediatamente las ocurrencias que están sucediendo en todo momento.

La concentradora de Cuajone últimamente ha sido ampliada para pasar 87,090 TM de mineral (Una de las concentradoras más grandes del Perú), su diseño inicial fue para pasar 36,288 TM. Las proyecciones que se tienen para la concentradora son poder ampliarla hasta llegar a una capacidad de 140,000 TM. Todo el proceso está controlado mediante computadoras

El yacimiento de Cuajone actualmente tiene reservas de 1,430 Millones de TM de mineral con una ley promedio de 0.648% de Cu y 0.020 % de ley de Molibdeno con un Cutoff de 0.40 % de ley de Cu, todas estas reservas, considerando el ritmo actual de tratamiento de mineral, le otorga una vida muy cercana a los 45 años.

Desde los inicios de las operaciones hasta Diciembre de 1998, la concentradora de Cuajone ha tratado aproximadamente 425 Millones de TC de mineral con una ley promedio de 0.97 % de Cu.

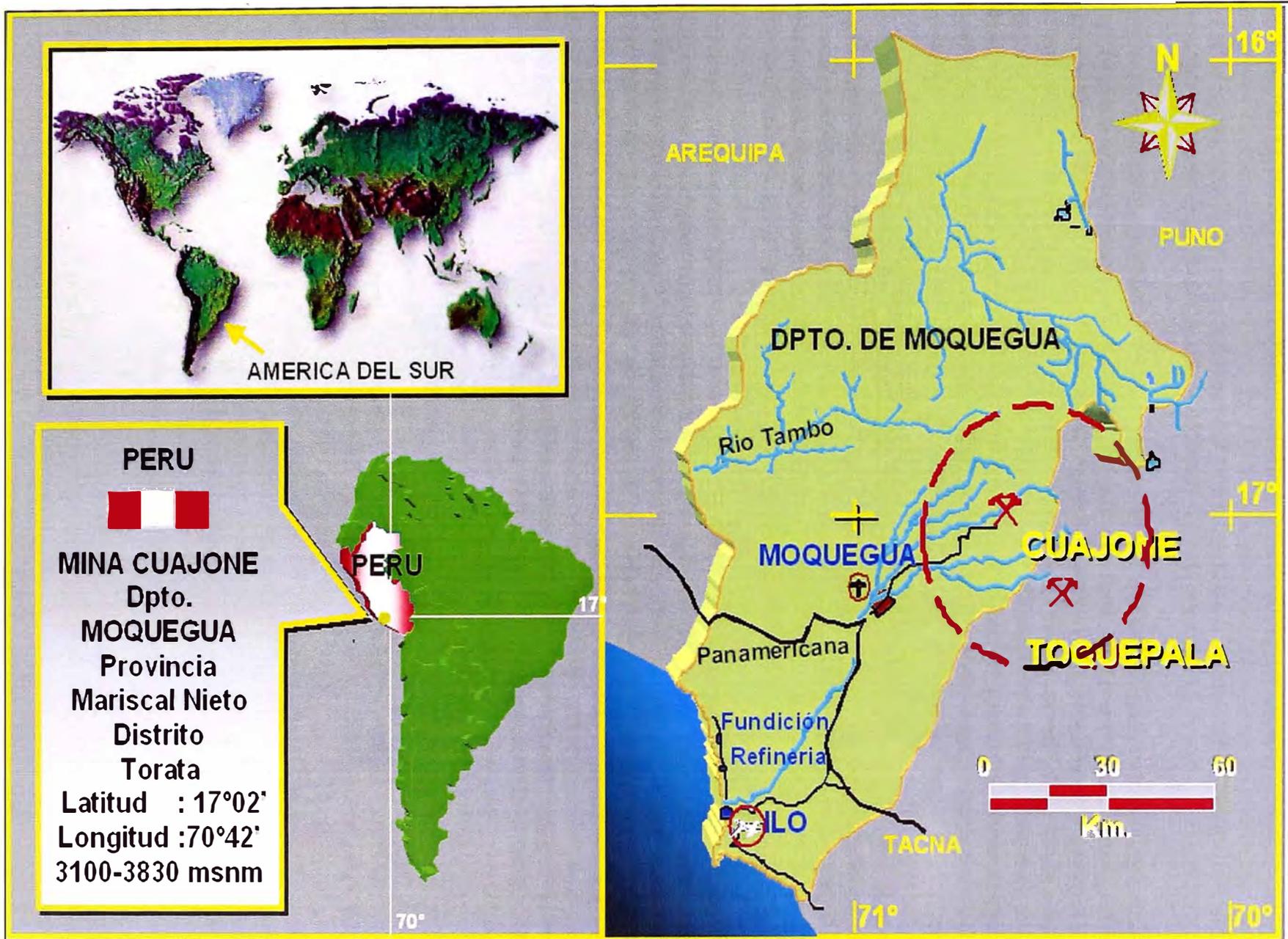


Gráfico 1.2-1 Ubicación Geográfica de la Mina Cuajone



## **CAPITULO II**

### **EXPLORACION Y DESARROLLO DE CUAJONE.**

#### **2.1. HISTORIA**

El conocimiento de la existencia de yacimientos de cobre en la ladera Sur de la Quebrada Torata, data de fines del siglo XIX, en la que por breves referencias en literatura geográfica, se dice de ocurrencias de cobre en forma generalizada entre Cuajone y Toquepala, en la que delgadas menas de óxidos de cobre y material enriquecido fueron explotados en una escala muy limitada. Por el difícil acceso, la naturaleza desértica del area y la lejanía de estos depósitos, se descontinuaron las operaciones mineras.

Fue en el año de 1929, después de resolverse el Conflicto de Límites entre Perú y Chile, en que se renovó el interés en estas áreas por los mineros locales, entre los que se encontraba el Sr. Julio E. Gianella que fue el propietario de los denuncios de la zona de Cuajone.

En el año de 1937, el prospecto de Cuajone fue reconocido como un proyecto potencial de depósito de Cobre Porfirítico por el geólogo A.C. Schmedeman quien trabajaba en una campaña de exploración realizada por la Cerro de Pasco Corporation. Posteriormente la misma compañía bajo la opción de compra comienza a perforar taladros exploratorios en el año 1942 y adquiere los denuncios de Cuajone en 1943.

Diez años después la Northern Perú Mining and Smelting Co. que era una subsidiaria de American and Smelting Co. (ASARCO) junto con la Compañía Newmont Corporation, continuaron con la exploración del yacimiento perforando taladros diamantinos y churn drill.

Con los estudios de factibilidad del proyecto de Toquepala, en 1954 se formó Southern Peru Copper Corporation (SPCC).

El 19 de Diciembre de 1969, después de 18 meses de negociaciones, se suscribe un convenio bilateral con el Gobierno Revolucionario de la Fuerza Armada del Perú para llevar a cabo el Proyecto de Cuajone.

Entre 1969 y 1970 se realizan tres campañas más de perforación diamantina y se inicia la etapa de construcción, infraestructura y desbroce de material del yacimiento cuprífero de Cuajone con la implementación de carreteras, túneles, campamentos, talleres, oficinas, redes de agua y electricidad que finalmente darían a luz el proyecto.

## *Geología y Génesis de Cuajone*

Fue en el año 1976 en que se inicia la producción de la operación minera más grande del Perú y hasta estos momentos representa uno de los proyectos más importantes del país. Hacia 1980 se inicia la separación del Moly de los concentrados en la nueva planta construida para ese fin.

En 1995 en el mes de Noviembre se inicia la explotación de los óxidos de cobre cuyas soluciones son enviadas a través de tubería a Toquepala que es donde se encuentra la Planta de Lixiviación.

Entre 1994 y 1997 se realiza una nueva campaña de perforación diamantina y de RC con la finalidad principal de aumentar sustancialmente las reservas de mineral y hacer exploraciones al Noroeste y Sureste del Tajo. En 1996 se realiza una campaña de Magnetometría. Y a fines del año 1998, se termina la ampliación de la Concentradora de Cuajone que tiene una capacidad de tratamiento de 96,000 TC por día.

En Noviembre de 1999 el Grupo México adquiere las acciones de Asarco y se constituye como el principal accionista de SPCC.

### **2.2. TRABAJOS DE EXPLORACION**

#### **2.2.1. PROSPECCIÓN GEOFISICA.**

Los primeros trabajos de Exploración Geofísica que se usaron en Cuajone se inicio en el año 1951, llamado Método Potencial Self y Resistividad, realizado por La Cerro de Pasco-Newmont Exploration, donde se muestran las anomalías de % de sulfuros, ver gráfico 2.2.1-1, la existencia de sulfuros fue interpretada por valores altos anómalos de cargabilidad que son típicos de la presencia de sulfuros en depósitos diseminados.

Posteriormente entre el 17 de Octubre y el 17 de Diciembre de 1993 y con el propósito de complementar la información existente y delimitar el área mineralizada al NO del tajo de Cuajone para poder decidir los taladros de exploración, se realizó un levantamiento geofísico de polarización inducida detallado sobre 1,600 hectáreas con estaciones de sondeo geofísico formando una red cuadrática de 200 x 200 m. aproximadamente. Topográficamente se colocaron puntos cada 400 m. considerando 392 sondeos de IP. Se levantaron 326 sondeos eléctricos.

Para definir la distribución de sulfuros, este levantamiento geofísico fue efectuado con mediciones de Resistividad (R, en ohm-m) y de Cargabilidad (M, en mv/v) en secuencia utilizando el mismo dispositivo de electrodos y la misma instrumentación. Los sulfuros son eléctricamente conductores y pueden ser localizados con medidas de Cargabilidad (J. Arce 1994).

## *Geología y Génesis de Cuajone*

También existen otros minerales indeseables como el grafito que dan valores anómalos de cargabilidad, por lo que resulta muy importante la interpretación geológica que se puede hacer.

En depósitos diseminados, las resistividades están mayormente determinadas por humedad y litología. Las formaciones silicificadas presentan resistividades muy altas.

En este estudio, los horizontes que interesaron fueron aquellos con cargabilidad superior al doble del nivel de fondo (background) local que está en el rango de 5 a 8 mv/v por lo que se escogió un valor de 20 mv/v como mínimo para ser considerado anómalo.

Tanto la prospección geofísica como la prospección geoquímica fueron utilizadas para localizar taladros exploratorios en el sector Noroeste de la mina. Las anomalías de mayor intensidad coincidieron con el cuerpo mineralizado de 107 millones de toneladas de reservas que fueron determinadas en la campaña de perforación realizada entre los años 1987 y 1988. Hacia el Noroeste del río Torata en la ladera Norte de dicha quebrada se obtuvieron también dos pequeñas anomalías prospectables que posteriormente fueron perforadas con diamantina dando valores muy bajos de cobre.

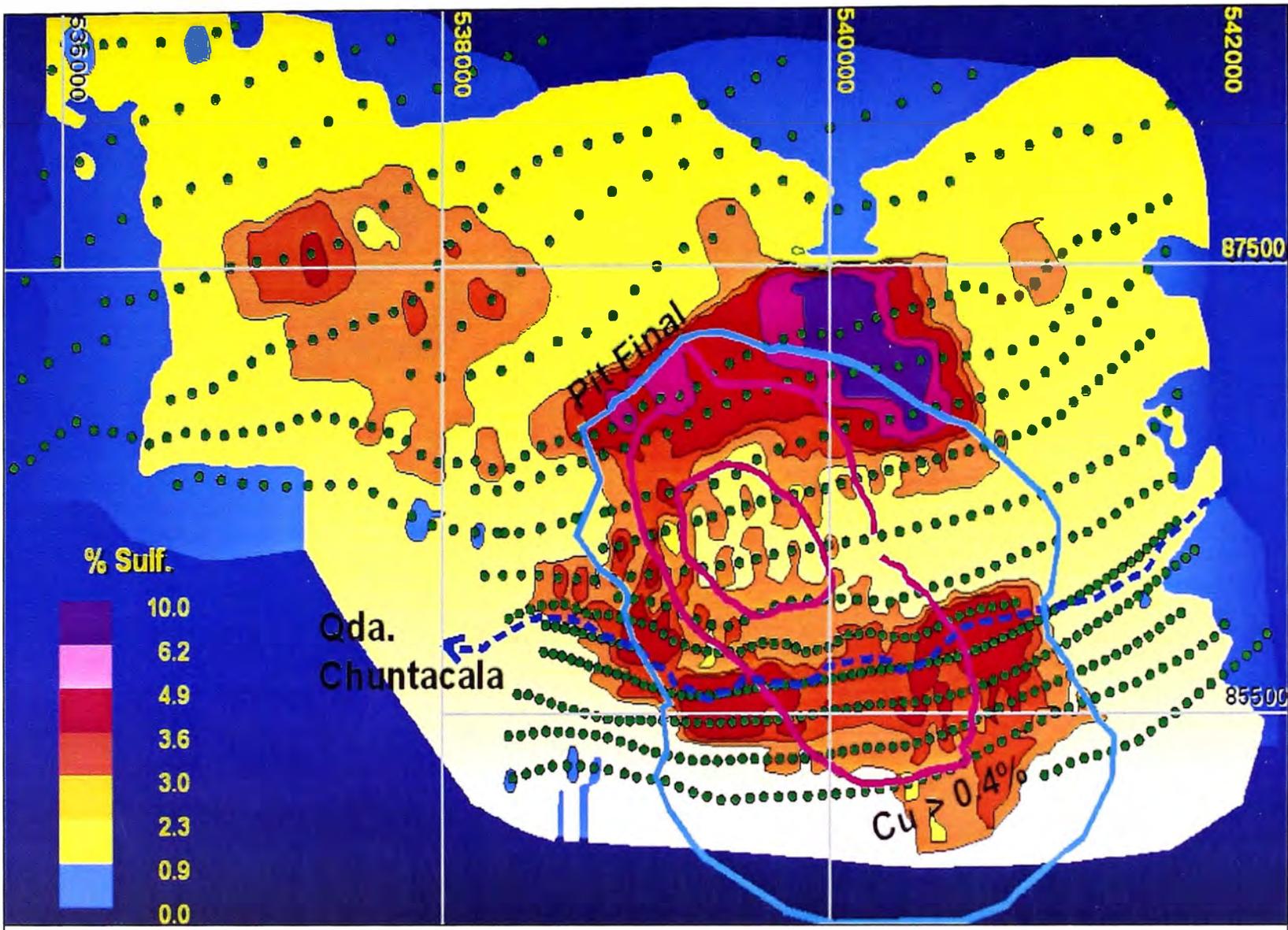


Gráfico 2.2.1-1. Exploracion Geofisica en 1951, primeros métodos de Geofisica usados en Cuajone llamado Método Potencial Self y Resistividad (% Sulf) , realizado por La Cerro de Pasco-Newmont Exploration.

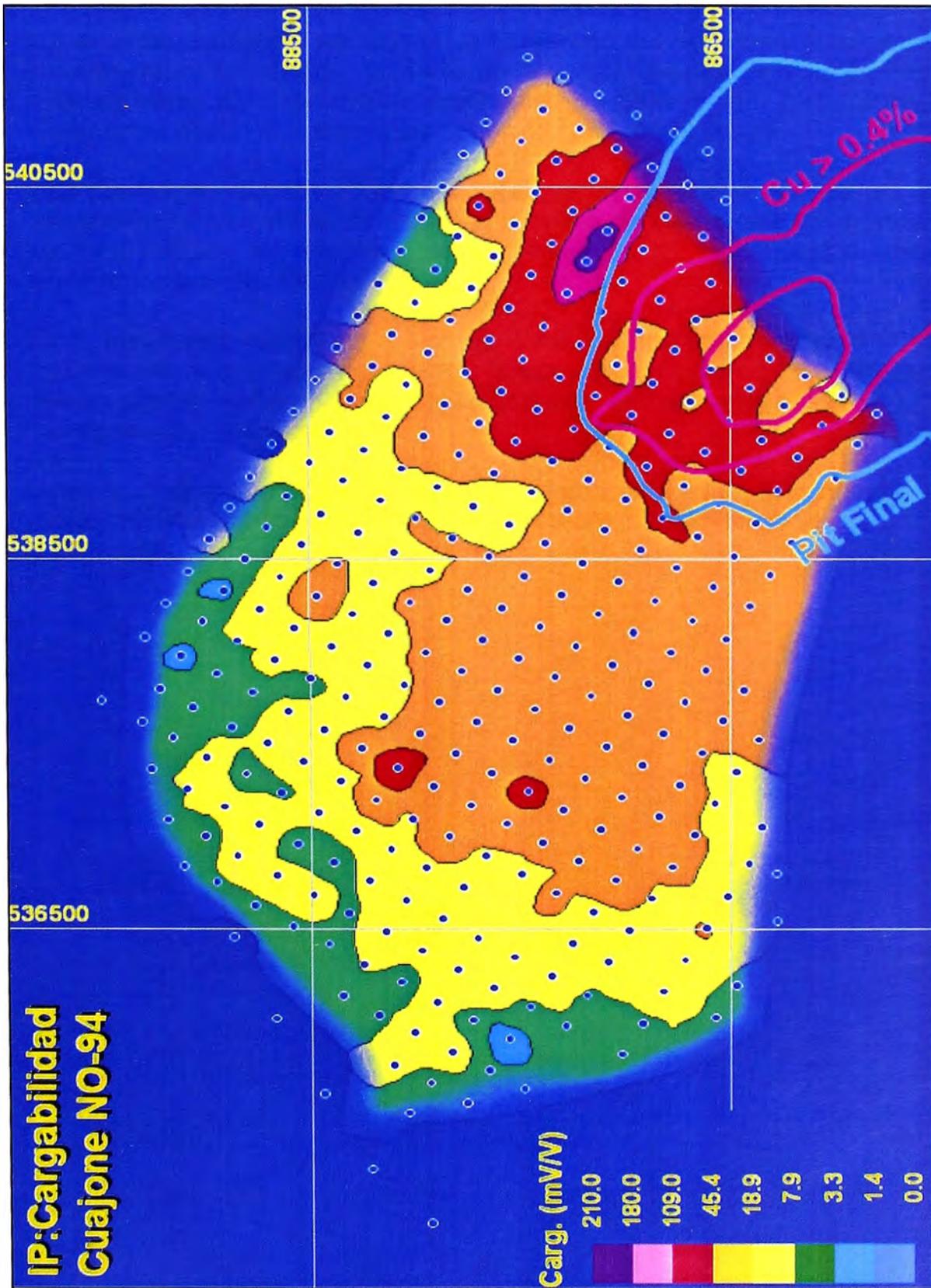


Gráfico 2.2.1-2. Exploración Geofísica Cuajone Noroeste - 1994. Método de Polarización Inducida: Cargabilidad del Horizonte Anómalo.

### **2.2.2. PROSPECCIÓN GEOQUIMICA.**

En el sector Noroeste del tajo en la Quebrada del río Torata entre los meses de Setiembre y Octubre de 1993 se hizo un muestreo de rocas con fines Geoquímicos en una malla rectangular de 200 x 100 mts. para poder determinar posibles ocurrencias minerales en todo el sector.

Los puntos de muestreo fueron fijados por topografía en un total de 267 de los cuales se muestrearon 255 en la mayoría de casos se trató de muestrear la roca insitu. Las muestras fueron enviadas a un Laboratorio para ser ensayadas por Cu, Mo, Ag y Au.

Con las leyes obtenidas de cada uno de los elementos, se hizo un tratamiento matemático-estadístico fijando los parámetros logarítmicos de la media poblacional y el grado de variabilidad. Estos parámetros nos fijaron el background y la anomalía.

Los resultados que se obtuvieron, nos dieron anomalías prospectables en el sector NO del tajo los cuales fueron posteriormente perforados.

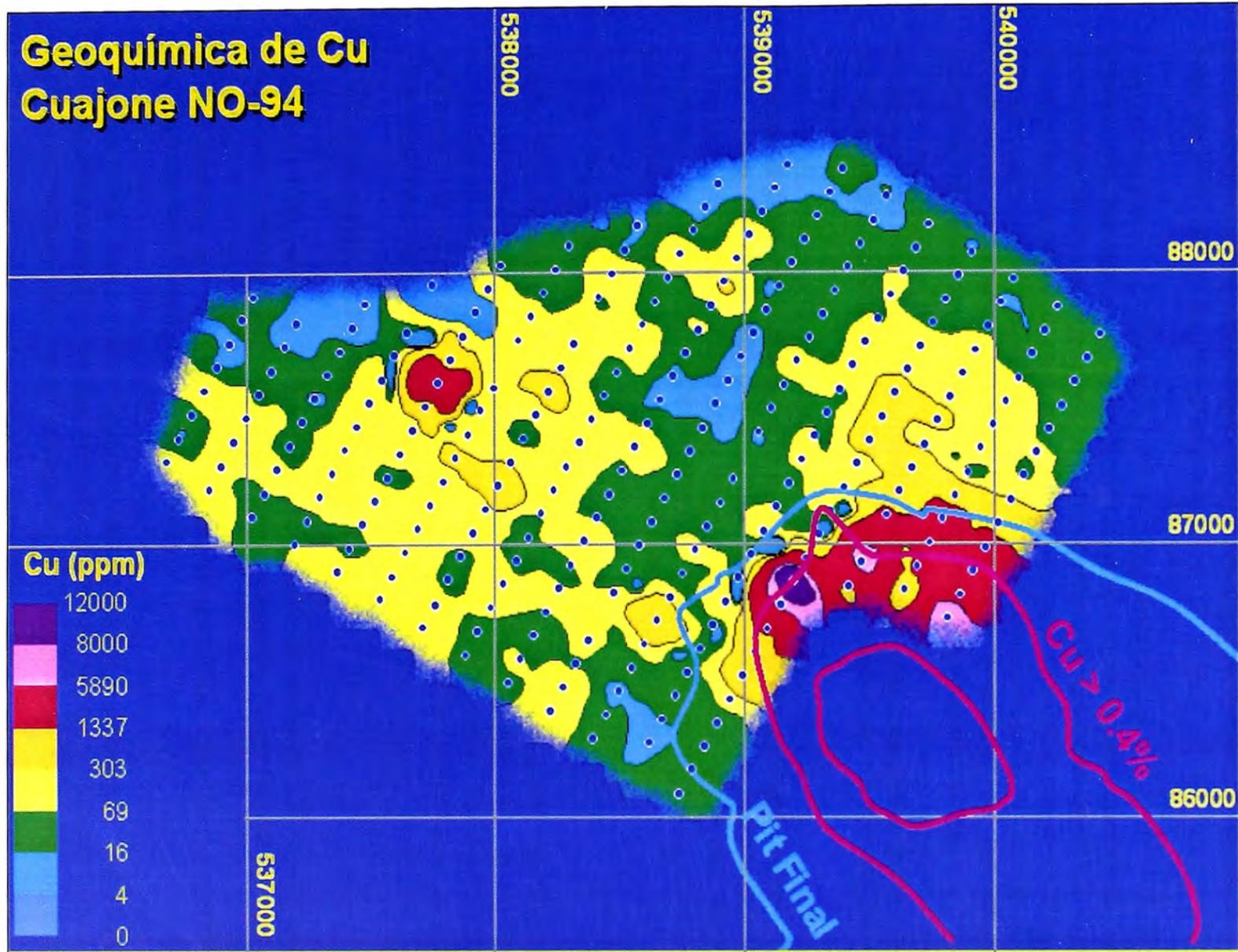


Gráfico 2.2.2-1. Exploración Geoquímica Cuajone Noroeste – 1994. Las anomalías definen la expansión del cuerpo mineralizado al NW, posteriormente se perforaron en estas anomalías, con buenos resultados.

## **2.3. CAMPAÑAS DE PERFORACIÓN.**

Desde 1942 hasta el 2001 se han desarrollado diez campañas principales de perforación que han totalizado 802 taladros que sumados dan una longitud total de 276,290.06 m. Ver gráfico 2.3-1

Las primeras campañas estuvieron direccionadas a explorar y delimitar el yacimiento, posteriormente se hicieron perforaciones para confirmar zonas de mineralización y valores de leyes, también sirvieron para delimitar contactos geológicos, evaluar zonas inestables, instalar piezómetros e inclinómetros. Finalmente la perforación estuvo direccionada a explorar en zonas aledañas a la mina, a condenar áreas que se van a utilizar de botaderos y a incrementar reservas de mineral principalmente en profundidad.

El 82.5 % de los taladros han sido perforados con máquinas diamantinas, el 11 % se realizó con Churn drill y el 6.5 % con máquinas de circulación de aire reversa.

El total de datos obtenidos de la perforación nos ha permitido tener una idea mas clara del potencial del yacimiento, su forma, tipos de mineralización, minerales, tipos de alteración, tipos de rocas, RQD, gravedad específica, durezas, y reservas principalmente. Adicionalmente se pueden hacer planeamientos de minado a corto, mediano y largo plazo

### **2.3.1. Campaña de Perforación 1942 – 1945.**

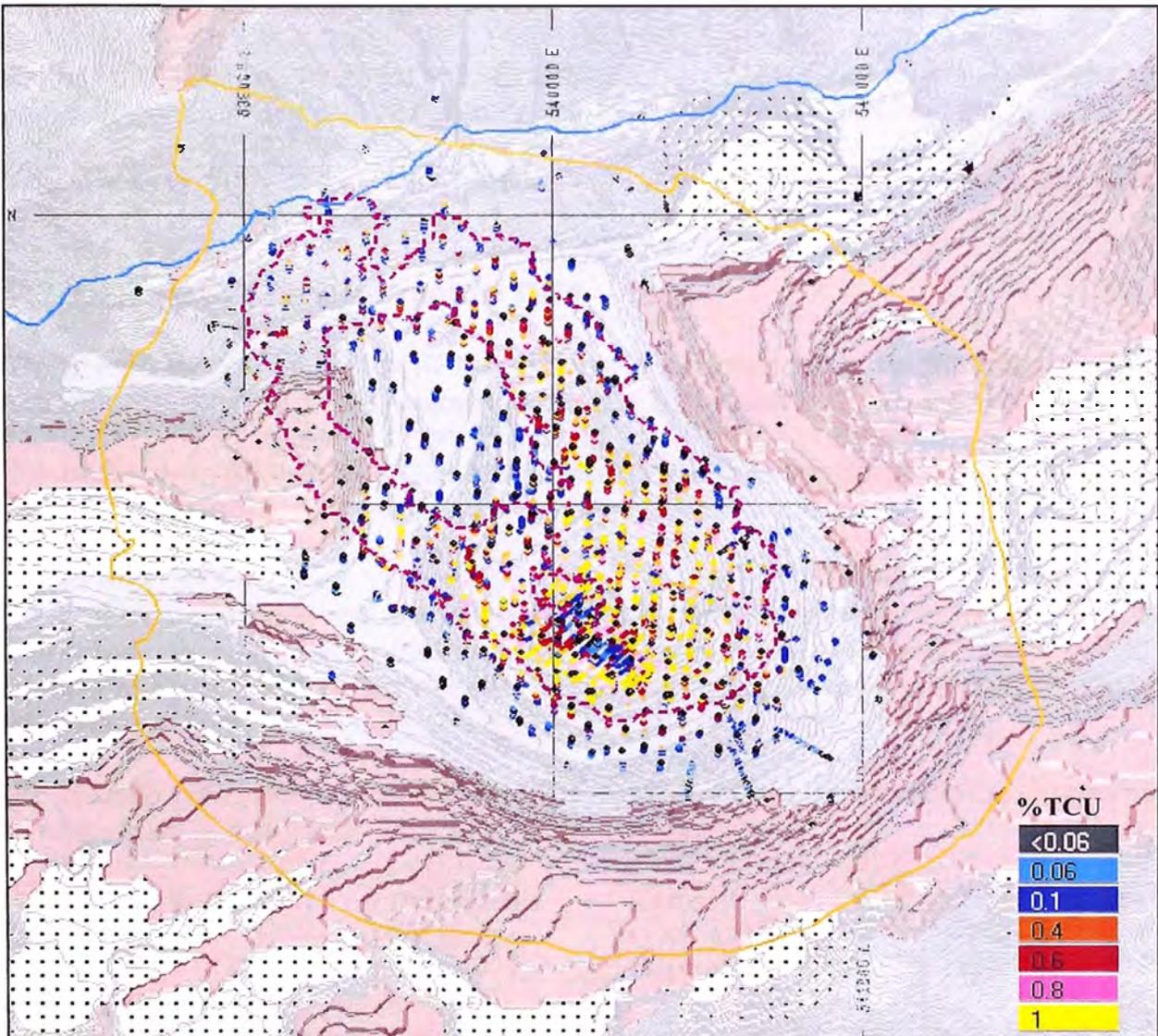
Cerro de Pasco Copper Corporation inició una campaña de Perforación Diamantina en Cuajone, basado en un contrato de opción de compra que consistía en la perforación de 40 taladros que totalizaron 12,364.90 m. con un promedio de 309.12 m./taladro. Con los resultados obtenidos, la Cerro de Pasco se hace propietaria de Cuajone.

### **2.3.2. Campaña de Perforación 1952 – 1954.**

Northern Peru Mining & Smelting Co. (Asarco) y Newmont Mining Corp. se unen con la finalidad de continuar con la exploración de Cuajone.

Primeramente se hizo una prospección geofísica que se le denominaba método de Self Potential and Resistivity.

También se tiene conocimiento de que se realizaron investigaciones preliminares de prospección geoquímica en el material volcánico que cubría el cuerpo mineralizado y en la vegetación existente en estas rocas. **No se**



**Gráfico 2.3-1 Campañas de perforación 1942-2001 - Mina Cuajone**

obtuvieron dispersiones secundarias de mineralización en dichas rocas volcánicas ni en las plantas que crecen sobre estas rocas (P.R. Eakins 1956).

Con la información de la prospección geofísica y la perforación realizada en la década de 1940, se proyectó y realizó una nueva campaña de perforación que consistió de un total de 88 taladros de los cuales 70 fueron hechos con churn drill y 18 fueron perforados con diamantina. El total de metros perforados ascendía a 30,115.60 (26,545.20 mts. de churn drill y 3,570.40 mts. de diamantina).

## *Geología y Génesis de Cuajone*

La principal finalidad de esta campaña fue la de delimitar el principal cuerpo mineralizado conocido como Chuntacala Orebody por estar localizado en medio de la Quebrada Chuntacala.

En el año 1955 K. Richard y J. Courtrigth hacen un Cálculo de Reservas de mineral considerando un ángulo de talud de 45 ° en el que obtienen:

<b>Millones de TC</b>	<b>Ley Promedio</b>	<b>Cutoff</b>	<b>Stripping Ratio</b>
374.2	1.12 % de Cu	0.70 % de Cu.	1.87 : 1

### **2.3.3. Campaña de Perforación 1965 – 1966.**

Para esta época, Southern Perú Copper Corporation es la copropietaria del yacimiento cuprífero de Cuajone junto con Billington B.V. subsidiaria de Shell.

Se perforaron 83 taladros que totalizaron 21,820.47 m. dando un promedio de 262.89 m./taladro, obteniéndose un alto grado de recuperación de testigos (92.70%).

El objetivo principal de este programa de perforación fue el de evaluar la cantidad de reservas minables que se tenían en el cuerpo mineralizado desde el Nivel 3500 hasta el nivel 3100 con una potencia máxima de sulfuros de hasta 400 m.

El cálculo de reservas de mineral fue realizado por el método de polígonos limitándose la extensión lateral a 60 m. Se estimaron:

<b>Millones de TC</b>	<b>Ley Promedio</b>	<b>Cutoff</b>	<b>Stripping Ratio</b>
474	0.99 % de Cu.	0.45 % de Cu.	2.74 : 1
24	1.29 % de Ox. De Cu.	0.45 % de Cu.	2.74 : 1
102 Sulf. de baja ley	0.32 % de Cu.	0.20 % de Cu	2.74 : 1

Durante este periodo de perforación, se hicieron también 18 taladros en la BLP (Segundo pulso intrusivo de latita porfirítica) que se encuentra emplazada al Noroeste del cuerpo mineralizado principal, para confirmar la ausencia de mineralización explotable y delimitarla en este sector. También unos pocos taladros fueron perforados en la andesita basáltica mineralizada que bordea a este cuerpo en la ladera Sur del río Torata, confirmando así la presencia de mineralización económica en dicha roca.

Adicionalmente en la Quebrada Chuntacala en el nivel 3445 Norte se hizo un túnel de 380 m. de longitud del cual se extrajeron 10,000 toneladas de mineral que fueron enviados a la planta piloto de Toquepala para hacer

estudios metalúrgicos y definir un adecuado Flowsheet para la Concentradora.

#### **2.3.4. Campaña de Perforación 1969-1970.**

Fue necesario hacer un programa adicional de perforación diamantina de 39 taladros con la finalidad de definir el límite de mineralización en el sector Sur del cuerpo mineralizado, mejorar la información en las zonas donde se habían obtenido altas leyes de Cu (Sulfuros Secundarios) y chequeo de los taladros de churn drill perforados en la década del 50. Se perforaron 5,695.23 m. con un promedio de 146.03 m./taladro.

#### **2.3.5. Campaña de Perforación 1982 – 1987.**

Después de 6 años de producción, se inició una nueva campaña de perforación que tuvo varios objetivos entre los cuales principalmente se requería aumentar las reservas de mineral para lo cual se hizo un programa que abarcaba hasta el nivel 2950 buscando extender el pit en profundidad, para lo cual se perforaron 77 taladros diamantinos que totalizaron 24,206.07 m. (promedio de 314.36 m./taladro), simultáneamente con estos taladros se pudo delimitar lateralmente el cuerpo mineralizado y parte de ellos sirvió para hacer pruebas metalúrgicas.

Entre Diciembre de 1984 y Marzo de 1985 se procedió a hacer un estudio económico para obtener la pared final por el método de Pushbacks aplicados a polígonos en el cual, se obtiene las paredes finales utilizando sectores de circunferencias y bloques radiales a un centro arbitrariamente escogido en el yacimiento. Es un método que incorpora variables económicas. Cada sector radial tiene un espaciamiento entre líneas que corresponde al promedio de los ángulos del talud que se encuentran dentro del sector.

La valorización de los bloques incluye: el tonelaje de mineral, sulfuros de baja ley, desmonte, ley de cobre, ley de molibdeno, costos promedio (Diciembre 83 – Setiembre 84), recuperaciones de concentradora, recuperaciones de fundición, recuperaciones de refinería y descuentos por transporte y refinación. El análisis por computadora era por tajadas fijas, aquella tajada cuyo valor económico acumulado era el mayor de todos, era la que definiría la pared final.

Se desarrollaron diferentes alternativas utilizando diferentes parámetros, finalmente se tuvo una en la que se consideraba el precio de la libra de cobre en US\$ 0.80, precio de la libra de molibdeno en US\$ 3.0, y un cutoff de 0.55 % de Cu. Las reservas reportadas al 01 de Enero de 1985 fueron de 290.5 millones de toneladas con una ley promedio de 0.96 % de Cu, también

se reportaron 273.5 millones de toneladas de material de baja ley y desmonte. El stripping ratio fué de 0.942:1.

### **2.3.6. Campaña de Perforación 1987 – 1988.**

Los antiguos taladros en el sector Noroeste del tajo indicaban mineralización, pero este sector nunca fue bien definido, por lo que se inició una campaña de perforación diamantina consistente en 14 taladros que totalizaron 3,417.26 m. (promedio de 244.09 m./taladro) para mejorar el conocimiento del potencial económico del sector Noroeste. La malla de perforación fue diseñada con un espaciamiento de 170 x 230 m. La perforación se inició en Noviembre de 1987 y finalizó en Agosto de 1988. Adicionalmente se perforaron 3 taladros con fines geotécnicos que totalizaron 422.30 m. (promedio de 140.37 m./taladro).

Todos los taladros fueron perforados en la ladera Sur de la Quebrada del río Torata delimitándose un cuerpo con la forma de una media luna y en la que se pudieron determinar aproximadamente 107 millones de toneladas de reservas de mineral con un promedio de ley de 0.70% de Cu y 0.038 % de MoS<sub>2</sub> considerando un cutoff de 0.45 % de Cu.

En los niveles superiores se tuvo una cubierta volcánica postmineral correspondiente a la formación Chuntacala que es estéril y variaba en potencia desde 10 hasta 135 m.

En 1990 después de terminadas las campañas de perforación realizadas entre 1982 y 1990 que debían evaluar principalmente hasta el Nivel 2950, se hace un nuevo cálculo de reservas utilizando un software aplicado a la minería. Los sistemas Gemcom (PCXPLO & PCMINE) y WHITTLE 3D fueron aplicados hasta llegar a la alternativa # 23 en la que se obtuvieron 619 millones de toneladas. de mineral con una ley promedio de 0.845% de Cu, con un cutoff de 0.53 % de Cu y considerando un precio por libra de Cu de US\$ 0.80.

### **2.3.7. Campaña de Perforación de Piezómetros 1991 – 1994.**

Con el propósito de tener una mejor idea del nivel freático y entender de una manera más adecuada el comportamiento del agua subsuperficial, se perforaron 24 taladros diamantinos con fines hidrológicos y geotécnicos. En donde se instalaron piezómetros abiertos para controlar las variaciones del nivel freático. En total se perforaron 4,626.33 m. (promedio de 192.76 m./taladro).

### **2.3.8. Campaña de Perforación 1994 – 1997.**

Con la finalidad de incrementar reservas de mineral en profundidad y hacia el Noroeste del tajo, delimitar lateralmente el cuerpo mineralizado y los corredores que unen el tajo con la extensión NO, hacer evaluaciones geotécnicas é hidrológicas y finalmente hacer exploraciones al Norte del río Torata y al Sureste del tajo actual; se realizó esta campaña de perforación que se inició en Noviembre de 1994 y terminó en Agosto de 1997. En total se perforaron 206 taladros diamantinos que totalizaron 110,771.03 m. (promedio de 537.72 m./taladro) y 43 taladros de Circulación de Aire Reversa (RC) con un total de 10,922.10 m. (promedio 254 m./taladro).

El objetivo principal del programa de perforación fue el aumento de reservas de mineral con la profundización hasta el nivel 2770 en el actual tajo é incremento del tonelaje mineral existente en el sector NO.

A fines del año de 1997, el cálculo de reservas minables ascendía a 1,422 millones de toneladas con una ley promedio de Cu de 0.64% y promedio de Molibdenita de 0.033%. El stripping ratio era de 1.40:1. Las reservas geológicas alcanzaron a 2,470 millones de toneladas con una ley promedio de 0.607 % de Cu y 0.033 % de MoS<sub>2</sub>. En ambos casos se considera una ley de corte (cutoff) de 0.40 % Cu.

El cálculo de reservas se realizó en tres etapas (R. Rojas 1997): La primera etapa consistió en la verificación de los datos de leyes obtenidas de los taladros diamantinos y de los taladros de blast hole (producción). El manejo de los datos de leyes de cores obtenidos de la perforación diamantina fué hecho usando el software PC-XPLOR. El compósito, análisis estadístico y pasos sucesivos en el estudio fueron realizados usando el paquete de Medsystem con el soporte de otros paquetes como Microsoft Excel, Power Point y Microsoft Word.

En la segunda etapa, se hizo la estimación de reservas de mineral en todos los bancos incluidos en el modelo de leyes, los resultados se obtuvieron por dos métodos convencionales tradicionales en Southern que son el de Polígonos y el de Inverso a la Distancia. Posteriormente fue aplicada una técnica geoestadística en los mismos bancos usando la misma información de los taladros diamantinos que fueron utilizados por los métodos convencionales. Variogramas experimentales fueron computarizados con sus correspondientes modelos teóricos determinados.

En la fase tres, los resultados de estimación obtenidos por las técnicas usadas en el estudio, fueron comparadas con las leyes de bloques actuales para obtener la precisión estimada en cada bloque individual y la posible sobrestimación de cada método.

### **2.3.9. Campaña de Perforación 1997 – 1999.**

Se han perforado a partir de Agosto de 1,997 taladros para evaluar espesor de la Toba Cristal lado NE del tajo, Inclínómetros al rededor del pit final y taladros para pruebas metalúrgicas de la zona de mineral del pusback 2 y 3, se perforaron con taladros diamantinos y circulación reversa en zonas intermedias de los taladros ya existentes en promedio, terminó en Agosto de 1999. Con un total de 44 taladros de diamantina (DDH) que totalizaron 4,654.45 mts. (Promedio de 105.8 mts./taladro) y 18 taladros de Circulación de Aire Reversa (RC) con un total de 2506.29 mts. con un total de 2,506.29 mts. (Promedio 139.20 mts./taladro).

Al 31 de Diciembre de 1999 con los nuevos modelos geológicos de tipos de roca, de alteración, mineralización y un reanálisis de las densidades se hizo una nueva estimación de las reservas Geológicas y Minables por el método del Kriging Ordinario, el cálculo de reservas minables asciende a 1,418,284,100 millones de Toneladas Métricas con una ley promedio de Cu de 0.64% y promedio de Molibdeno de 0.021%. La relación de desbroce es de 1.47 y se consideraron los ángulos inter-rampas de Call Nicholas. Las reservas geológicas alcanzan a 2,191,317,500 Millones de Toneladas Métricas con una ley promedio de 0.603 % de Cu y 0.021 % de Mo. En ambos casos se considera una ley de corte (cutoff) de 0.40 % Cu.

### **2.3.10. Campaña de Perforación 2000 – 2001**

Se han perforado a partir del 24 de Setiembre del 2000 taladros para proveer el total de muestras a Concentradora para realizar pruebas de flotación y a Lixiviación para realizar pruebas de columnas, mejorar la definición de las reservas minables, definir los limites de mineralización y afinar los contactos de rocas, se perforaron con taladros diamantinos, terminó en Julio de 2001. Con un total de 81 taladros de diamantina (DDH) que totalizaron 34,343.49 mts. (Promedio de 424.0 mts./taladro) de los cuales 67 verticales y 14 inclinados.

El objetivo principal del programa de perforación fue evaluar el plan de desarrollo para sulfuros de baja ley (BLP) y proveer muestras para las recuperaciones de flotación y lixiviación.

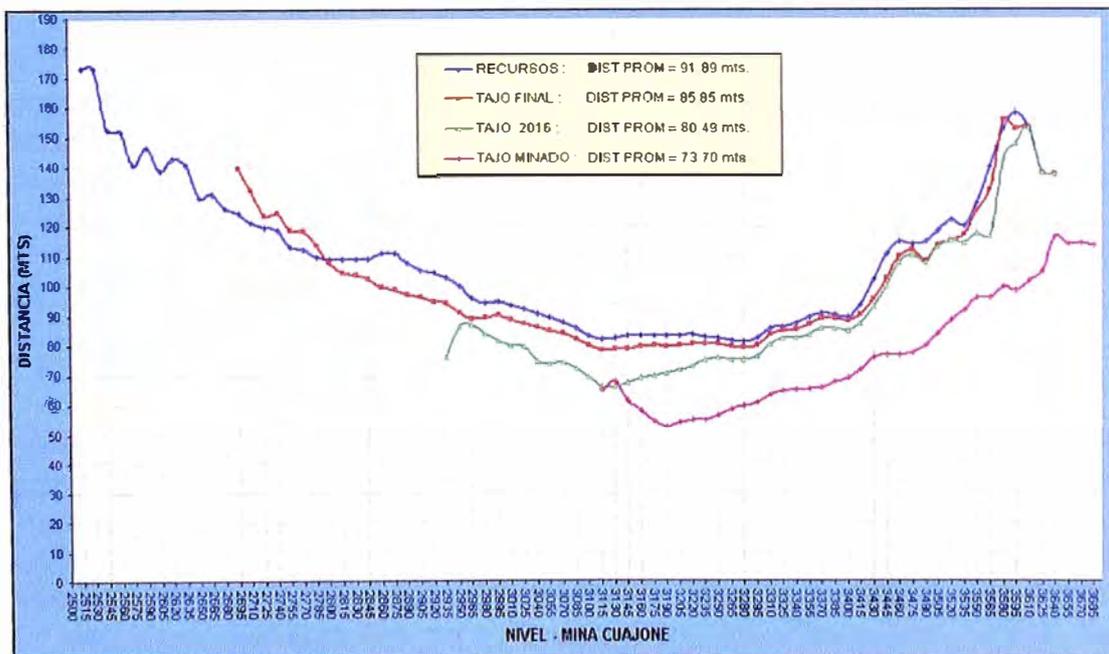
Al 30 de Junio del 2001 con los nuevos modelos geológicos de tipos de roca, de alteración, mineralización, zonas geometalúrgicas y con los resultados de las pruebas metalúrgicas que después fueron modelizados matemáticamente, mediante fórmulas se han estimado la recuperación y grado de Cu y Mo para cada bloque del modelo de mina, se hizo una nueva estimación de los recursos Geológicas y reservas minables por el método del Kriging Ordinario, el cálculo de reservas minables para concentradora asciende a 1,446.6 millones de TM con una ley promedio de Cu de 0.649%

con una recuperacion promedio de 83.2% y promedio de Molibdeno de 0.020% y para lixiviación asciende 28.93 millones de TM de los cuales 16.02 millones son de alta y mediana solubilidad con un ley promedio de Cu de 0.659% con una recuperación promedio de 59.28% y 12.91 millones de baja solubilidad con una ley promedio de Cu de 0.279% con una recuperación promedio de 54.90%. La relación de desbroce es de 2.18, dicho radio de desbroce se ha incrementado por que los ángulos inter-rampas recomendados por Golder Associates son más echados. Las reservas geológicas alcanzan a 2,163.2 Millones de Toneladas Métricas con una ley promedio de 0.612 % de Cu y 0.0202 % de Mo. En ambos casos se considera una ley de corte (cutoff) de 0.40% Cu. Y como reservas de sulfuros de baja ley (SBL) lixiviables ( $0.06 \leq \%TCu < 0.40$ ) de sulfuros de baja ley tenemos 1,373.94 millones de toneladas métricas con una ley promedio de Cu de 0.195% con una recuperación promedio de 12.70%.

### 2.3.11. ESPACIAMIENTO DE PERFORACIÓN

Se ha utilizado el método geoestadístico de Kriging puntual, el gráfico 2.3.11-1 muestra el espaciamiento de perforación banco por banco.

El espaciamiento promedio obtenido para reservas minadas es de 73.70 m., para las reservas sin minar (tajo final) es de 85.85 m., para el tajo de 15 años es 80.49 m., y para los recursos geológicos es de 91.89 m.



**Gráfico 2.3.11-1 Promedio Global de espaciamiento de perforación (1942-2001)**

## **CAPITULO III**

### **GEOLOGÍA REGIONAL**

#### **3.1. FISIOGRAFÍA**

Fisiográficamente se puede diferenciar: La Cordillera de la Costa, la Llanura Costanera, el Flanco Andino y la Cadena de Conos Volcánicos. Estas áreas fisiográficas se encuentran emplazadas longitudinalmente de Sureste a Noroeste y se encuentran definidos mayormente por la altitud, relieve, el clima y la geología.

La Cordillera de la Costa forma una serie de montañas de hasta 1800 m.s.n.m. que se presentan en forma discontinua. Están compuestas mayormente por rocas intrusivas de edades que varían entre 140 y 190 MA. Se observan dioritas, granodioritas, dioritas cuarcíferas, monzonitas, riolitas latitas, diabasas, aptitas, etc.

La Llanura Costanera esta constituida mayormente por la Formación Moquegua que viene a ser un relleno de una cuenca longitudinal entre la cadena Costanera y el pie de los Andes. Se encuentra emplazada entre 350 y 3,000 m.s.n.m. con una leve inclinación hacia el Suroeste.

El Flanco Andino está constituido por rocas volcánicas y macizos intrusivos que muestran una topografía abrupta con fuertes pendientes cuyas cumbres llegan a los 4,000 m.s.n.m. En las partes altas se presenta una topografía moderadamente ondulada con algunos sectores planos mayormente cubierto por rocas volcánicas.

La Cadena de los Conos Volcánicos abarca una franja de 20 a 30 km. de ancho con un rumbo Noroeste Sureste cuyas cimas alcanzan altitudes hasta 5,815 m.s.n.m. (Volcán Tutupaca) que gran parte del año se encuentra cubierto por nieve. Ver gráficos 3.1-1 y 3.1-2.

#### **3.2. LITOESTRATIGRAFÍA**

En el área de estudio el afloramiento de las rocas a nivel regional son: En el Jurásico (Volcánicos Chocolate) que afloran cerca al puerto de Ilo en la Cadena de la Costa, en el Cretáceo Superior - Paleoceno (Grupo Toquepala) que aflora una parte en la Mina Cuajone y mayormente se extiende en el flanco andino, del cretáceo superior al eoceno-paleoceno (Rocas intrusivas del Batolito de la Costa Segmento Toquepala) afloran en la mina Cuajone del flanco andino y entre la cadena de la costa y llanura costanera, en el oligoceno superior al mioceno inferior

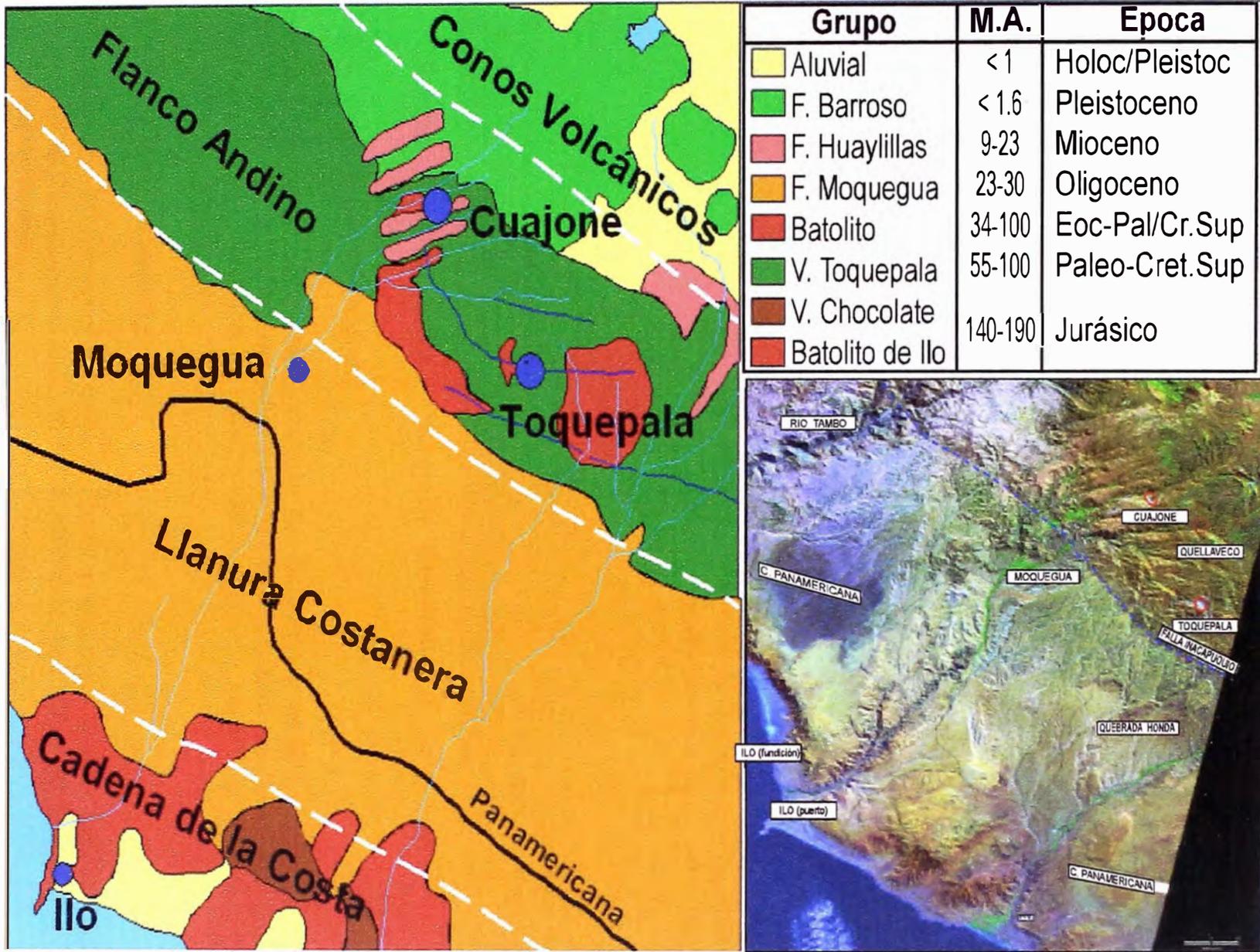
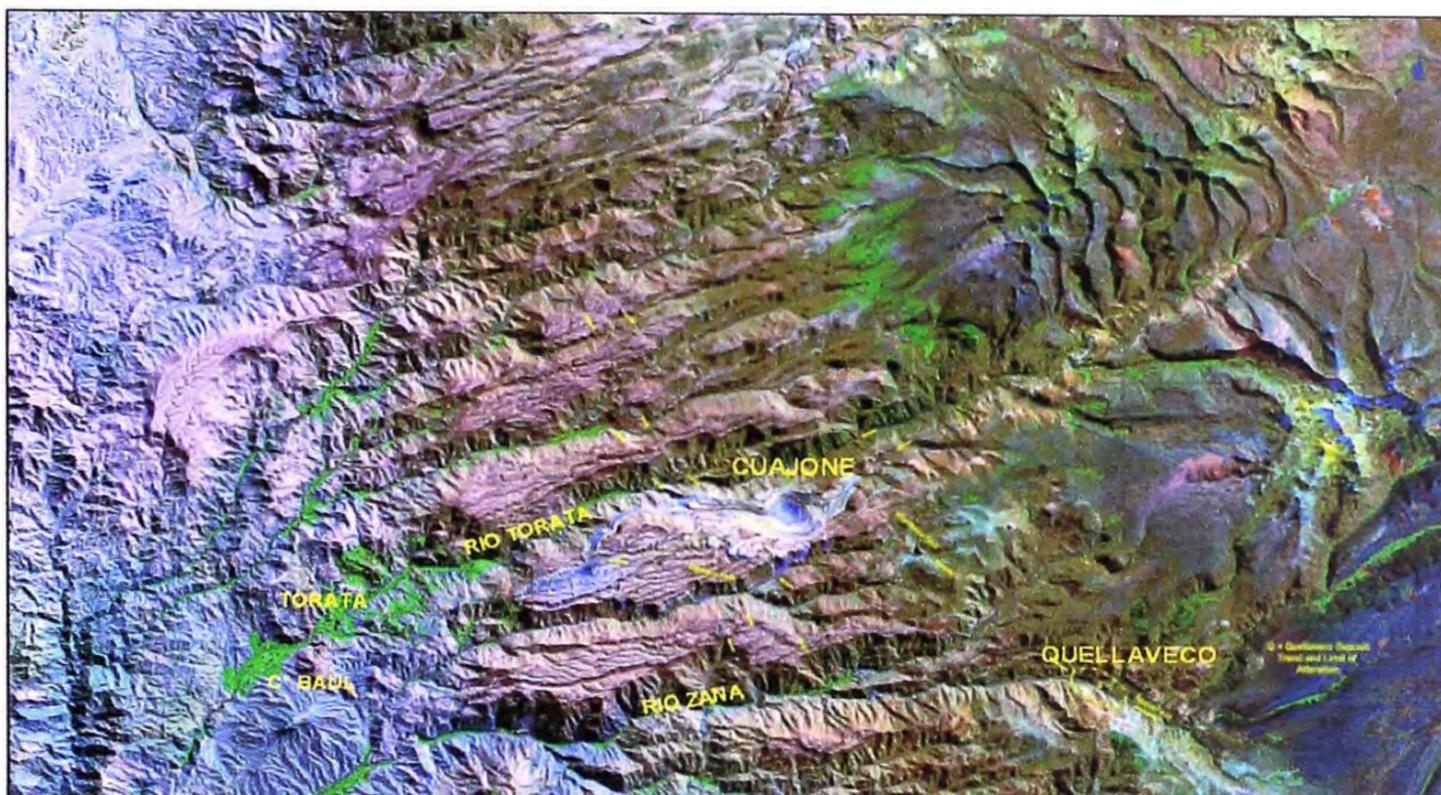


Gráfico 3.1-1 Fisiología y Geología Regional - Mina Cuzajone

## *Geología y Génesis de Cuajone*

(La Formación Moquegua) formado por clastos continentales afloran en toda la Llanura Costanera, en el Mioceno Inferior al Mioceno Superior (Volcánicos Huaylillas y Volcánicos Chuntacala) afloran en la Mina Cuajone, en el Plioceno (Volcánicos Barroso) afloran en los Conos Volcánicos. En el Holoceno Pleistoceno (depósitos glaciares aluviales y coluviales). ver gráfico 3.1-1



**Gráfico 3.1-2 Fisiografía , fotografía Satelital de la Mina Cuajone**

### **3.2.1. Formación Chocolate**

Aflora principalmente en la Cordillera de la Costa y se presenta como una alternancia de derrames de brechas y tufos con capas de calizas marrones. Esta formación pertenece al Liásico del Jurásico y está datado entre 150 y 190 MA de antigüedad.

### **3.2.2. Grupo Toquepala**

Viene a ser el basamento de las rocas presentes en el área y están mayormente compuestos por rocas volcánicas con algunas intercalaciones de clastos gruesos.

Se le asigna una edad de 34 a 100 MA ( Cretáceo Superior al Plioceno).

### **3.2.2.1. Formación Toquepala**

Esta constituido en la parte inferior por una secuencia de derrames, brechas de flujo y piroclásticos de composición andesítica, dacítica y riolítica. En su parte media se presentan bancos de conglomerados y areniscas. En la parte superior se tiene derrames y brechas de flujos riolíticos y aglomerados.

### **3.2.2.2. Formación Inogoya**

Esta formado por una intercalación de conglomerados y areniscas gruesas. Los conglomerados son gruesos, compuestos de clastos volcánicos en una matriz arenotufácea, los clastos disminuyen en tamaño hacia los niveles superiores. Sobreyace discordantemente a la Formación Toquepala.

### **3.2.2.3. Volcánico Paralaque**

Esta compuesto mayormente por derrames de dacitas, riolitas, andesitas, piroclásticos y conglomerados en los niveles superiores. Sobreyace discordantemente a la Formación Inogoya.

### **3.2.2.4. Volcánico Quellaveco**

Sobreyace discordantemente al Volcánico Paralaque y esta constituido por varios miembros:

#### **3.2.2.4.1. Pórfido Quellaveco (RP)**

Consiste de flujos macizos de riolitas con granos gruesos de cuarzo redondeados y ortosas mayormente blanquesinas en una matriz fina. En la zona de Cuajone se le conoce con el nombre de Riolita Porfirítica, mientras que en la zona de Toquepala se le conoce como Cuarzo Quellaveco (QQ).

#### **3.2.2.4.2. Dolerita Toquepala (TD)**

Esta constituida por una dolerita basal en discordancia con el Pórfido Quellaveco cuyas características más saltantes son las rocas de grano fino de color gris oscuro a parduscas en algunos sectores.

#### **3.2.2.4.3. Pórfido Cuarcífero Toquepala (TQ)**

Sobreyace a la dolerita con discordancia erosional, presenta una textura porfirítica con granos gruesos de cuarzo redondeados a subredondeados en una matriz afanítica silicea.

#### **3.2.2.4.4. Andesita Toquepala (TA)**

Sobreyace discordantemente también al Pórfido Cuarzifero Toquepala, presenta una coloración gris verdosa a negra y tiene una textura fina.

#### **3.2.2.4.5. Riolita Toquepala (TR)**

Sobreyace discordantemente a la Andesita Toquepala, se presenta mayormente bandeada con pequeños lentes de feldespatos. Es de color gris claro violáceo.

#### **3.2.2.5. Serie Alta**

Es una secuencia de flujos volcánicos compuestos en su parte inferior por riolitas rosáceas ocasionalmente brechoides con textura porfirítica de feldespatos y cuarzos subredondeados en una matriz fina, también se tiene la presencia de flujos andesíticos brechoides de colores negruscos verdosos a marrones con textura porfirítica intercalados con brechas de flujo y conglomerados. En los niveles más recientes se encuentran flujos riolíticos rosáceos conglomerados y piroclásticos.

#### **3.2.2.6. Riolita Yarito**

La riolita es de color claro rosácea y violácea. Presenta una textura porfirítica con fenos de feldespatos de hasta 0.5 cm. generalmente caolinizados. También se presentan algunas hornblendas alteradas. La matriz es microgranular a afanítica.

#### **3.2.2.7. Riolita Tinajones**

Aflora en las cercanías de Cuajone, presenta una coloración rosado claro, grisácea y blanco amarillenta. Presenta una textura porfirítica y su ocurrencia es en bancos medianos a gruesos. Se puede observar granos de cuarzo angulares a redondeados, feldespatos y micas en una matriz microcristalina a afanítica. Sobreyace en discordancia a la Serie Alta.

### **3.2.3. Rocas intrusivas**

En el área afloran rocas intrusivas conformadas por dioritas, granodioritas, granitos, monzonitas cuarzíferas, latitas, dacitas, chimeneas de brecha y diques de diferentes dimensiones conformando pequeños apófices y grandes stocks que atraviezan las rocas pertenecientes al Grupo Toquepala.

Las edades de estos intrusivos varían del cretáceo superior al terciario inferior a medio (37 a 100 MA).

## *Geología y Génesis de Cuajone*

Los intrusivos que se presentaron entre 50 y 60 MA de antigüedad son los que mayormente han traído la mineralización tal y como se puede comprobar en los yacimientos de cobre de Toquepala, Quellaveco, Cuajone y Cerro Verde mayormente asociados a cuerpos intrusivos ácidos a intermedios de dacitas, monzonitas y latitas que vienen a conformar una faja mineralizada dentro de la Sub Provincia Cuprífera del Pacífico en el flanco occidental de los Andes del Sur del Perú que se correlacionan con los depósitos de cobre del Norte de Chile.

El origen se le atribuye a la Tectónica de Placas en donde la placa subductora del Pacífico Oriental en contacto con la placa Continental a lo largo de la zona de Benioff, generó una fusión parcial de la corteza oceánica en algunos casos rica principalmente en minerales de cobre, que se introdujeron a la corteza a través de zonas de debilidad como fallas, fisuras y brechas.

Las rocas encajonantes o receptoras de los intrusivos pertenecen al Grupo Toquepala.

### **3.2.4. Formación Moquegua**

Se depositó en la depresión tectónica formada entre los cerros de la Cadena Costanera y el pie del Frente Andino.

Sobreyace discordantemente en forma parcial al Grupo Toquepala y a los intrusivos de la Cadena Costanera y del Batolito del Sur del Perú. Su origen se le atribuye a un prolongado período de erosión en el Terciario (Oligoceno a Mioceno Inferior).

Las rocas continentales fueron erosionadas y depositadas formando arcillas, areniscas, conglomerados, areniscas tufáceas y tobas que vienen a constituir en gran parte lo que geomorfológicamente se denomina la Llanura Costanera con una topografía de relieve suavizado.

Se le asigna una edad de 23 a 30 MA ( Oligoceno).

La Formación Moquegua ha sido subdividida en Moquegua inferior y superior.

#### **3.2.4.1. Moquegua Inferior.**

Compuesta principalmente por areniscas arcósicas a tufáceas interestratificadas con areniscas arcillosas y arcillas. Toda esta secuencia presenta capas y venillas de yeso.

#### **3.2.4.2. Moquegua Superior.**

Presenta una secuencia areno conglomerádica intercalada con tufos redepositados, areniscas y arcillas. Sobreyace al Moquegua Inferior con discordancia débil. Los clastos de los conglomerados son mayormente redondeados y de una composición volcánica casi íntegramente compuesta por rocas del Grupo Toquepala.

#### **3.2.5. Formación Huaylillas**

Es una secuencia volcánica de tufos y flujos lávicos de colores blancos rosáceos que se presentan generalmente en las cumbres de los cerros a manera de lenguas sobre rocas del Grupo Toquepala y Formación Moquegua en discordancia paralela.

Consiste de tufos dacíticos, riolíticos y traquíticos compuestos de feldespatos, micas, escasas hornblendas y fragmentos de pómez.

La textura varía de tufos de grano grueso, poroso, blando y friable a flujos o derrames compactos, macizos, duros y silicificados. Presentan bandeamientos de flujo y en algunos horizontes son visculares.

Se le asigna una edad de 17 a 22.8 MA ( Mioceno inferior a medio).

#### **3.2.6. Formación Chuntacala.**

Es una secuencia de tobas, aglomerados de colores, rosáceos y marrones cuyos Miembros se encuentran en unos casos en forma gradacional y en otros en discordancia erosional atribuidos a levantamientos y erosiones sucesivas intraformacionales.

La secuencia empieza con el Conglomerado Basal, luego se tiene la Toba Cristal, Toba Inferior, Aglomerado Inferior, Toba Superior, Aglomerado Superior, finalmente en las cumbres Andesita Porfirítica.

Se le asigna una edad de 9 a 14 MA ( Mioceno medio a superior)

### **3.2.7. Formación Capillune.**

Es una sucesión de conglomerados, areniscas, arcillas y tufos que sobreyacen discordantemente a la Formación Huaylillas y Formación Chuntacala.

Se les atribuye una edad Pliocénica superior. Por la naturaleza de los sedimentos se ha determinado su depositación en un ambiente continental lacustre por medio de fuertes corrientes de corto recorrido.

### **3.2.8. Formación Barroso.**

Serie de rocas y derrames volcánicos compuestos de andesitas, traquitas, y traquiandesitas intercaladas con brechas de flujo, piroclásticos y aglomerados. Conforman principalmente la Cadena de Conos Volcánicos.

Sobreyace en discordancia paralela a la Formación Capillune. Se le asigna una edad Terciario Superior- Cuaternario (Plioceno-Pleistoceno).

### **3.2.9. Depósitos Cuaternarios.**

Principalmente en los lechos de los ríos, quebradas y laderas de cerros; se han depositado morrenas, aluviales y coluviales de variada composición y tamaño.

## **3.3. GEOLOGIA ESTRUCTURAL REGIONAL Y DISTRITAL.**

La tendencia estructural en el Sur del Perú es predominantemente de orientación Noroeste Sureste tal y como se puede apreciar en la Fosa Oceánica del Pacífico, el Batolito de la Costa, el Planicie Costeño, el Flanco Occidental de los Andes y las grandes fallas regionales como es el caso de Incapuquio, Micalaco, Viña Blanca y Botiflaca.

### **3.3.1. El Sistema de fallas Incapuquio.**

Tienen un rumbo preferencial entre 290 y 310° y han sido reconocidas desde cerca al límite de la frontera con Chile, atraviesa el Departamento de Tacna y gran parte del Departamento de Moquegua en una distancia aproximada de 140 km. de largo. Tienen hasta 1 km. de ancho compuesta de rocas alteradas y trituradas y un buzamiento subvertical. Ver gráfico 1.2-2.

De acuerdo a Wilson y García 1967; las fallas son de tipo transcurrente y han tenido lugar durante el Terciario Inferior.

### **3.3.2. Falla Micalaco.**

Aflora en las inmediaciones de la mina Toquepala entre el pueblo de Micalaco y la quebrada Cortadera.

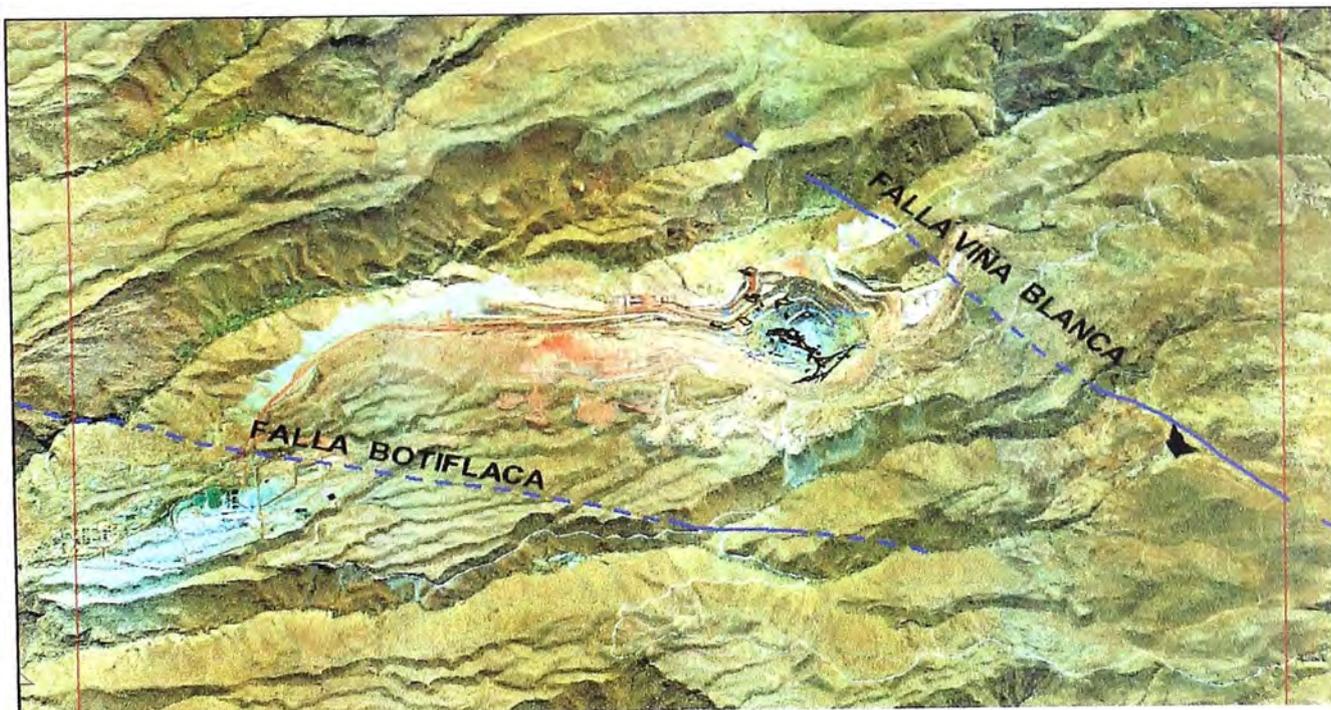
Tiene un afloramiento de 21 km de longitud y llega a tener potencias de hasta 500 m. principalmente en zonas de cizalla.

Su buzamiento es subvertical y está mayormente rellena por cuarzo, turmalina, sulfuros, diques, brechas, rocas trituradas, ligera alteración hidrotermal, material fracturado y material cizallado.

Esta estructura se encuentra limitando la mineralización en el sector Sur de la mina Toquepala con un rumbo de 290°.

### **3.3.3. Falla Viña Blanca.**

Tiene un afloramiento aproximado de 5.5 km. en la Riolita Porfírica a 3 km. al Este-Sureste de la mina Cuajone.



**Gráfico 3.3.3-1 Sistemas de Falla Distrital, la mina Cuajone se encuentra emplazada dentro del sistema de Fallas de Viña Blanca y Botiflaca .**

## *Geología y Génesis de Cuajone*

No atraviesa a las rocas volcánicas postminerales de la Formación Huaylillas, lo cual indica que su ocurrencia sucedió probablemente en el Terciario Inferior y no ha tenido reactivaciones posteriores.

Tiene una dirección predominante de N290° y un buzamiento preferencialmente subvertical. Se presenta como una serie de estructuras paralelas y sinuosas que varían en potencia hasta 2 m. pero que en conjunto pueden llegar hasta 20 m. El relleno está mayormente conformado por rocas fracturadas, rocas cizalladas, brechas y fragmentos de rocas de diferente y variada composición. Ver gráfico 3.3.3-1

### **3.3.4. Falla Botiflaca.**

Aflora aproximadamente a 2.5 km. al Suroeste de la mina Cuajone en forma sinuosa con una longitud de aproximadamente 20 km. cruzando las quebradas de Cocotea y Torata.

Tiene una dirección generalizado de N280° a N300° y presenta un buzamiento subvertical. La potencia llega hasta 40 m. (Manrique y Plazoles 1974) y está compuesta por roca fuertemente fracturada, brechas heterolíticas compuestos por clastos y fragmentos subangulares a subredondeados.

Atravieza rocas pertenecientes al Grupo Toquepala y por posibles reactivaciones posteriores también atraviezan rocas postminerales volcánicas pertenecientes a la Formación Huaylillas. Ver gráfico 3.3.3-1.

## CAPITULO IV

### GEOLOGÍA LOCAL

#### 4.1. FISIOGRAFÍA

La Mina de Cuajone se encuentra en el Flanco Andino que está constituido por rocas volcánicas y macizos intrusivos que muestran una topografía abrupta con fuertes pendientes cuyas cumbres llegan a los 4,000 m.s.n.m. En las partes altas se presenta una topografía moderadamente ondulada con algunos sectores planos mayormente cubierto por rocas volcánicas. Ver gráfico 3.1-1 y gráfico 3.1-2.

El cuerpo mineralizado ha sido parcialmente erosionado en el lado Noroeste por el río Torata y débilmente erosionado en su parte central de Este a Oeste en la Quebrada Chuntacala que tributa sus aguas en épocas de lluvia al río Torata.

#### 4.2. LITOESTRATIGRAFÍA

La litología que predomina en Cuajone está mayormente conformada por rocas volcánicas que se han ido depositando a través de los tiempos desde fines del Cretáceo hasta la actualidad. En el área no se tienen afloramientos de rocas de mayor antigüedad. Ver grafico 4.2-1

En total se tienen 23 tipos de roca que han sido divididos en:

##### 4.2.1. Rocas Preminerales.

Vienen a constituir rocas pertenecientes al Grupo Toquepala a las que se les asigna una edad Cretáceo superior–Terciario inferior entre 60 y 100 MA de antigüedad.

##### 4.2.1.1. Andesita Basáltica.

Es una roca de color gris verdosa a negra dependiendo del grado de alteración. Presenta una textura que varía de fanerítica holocristalina de grano fino a porfirítica.

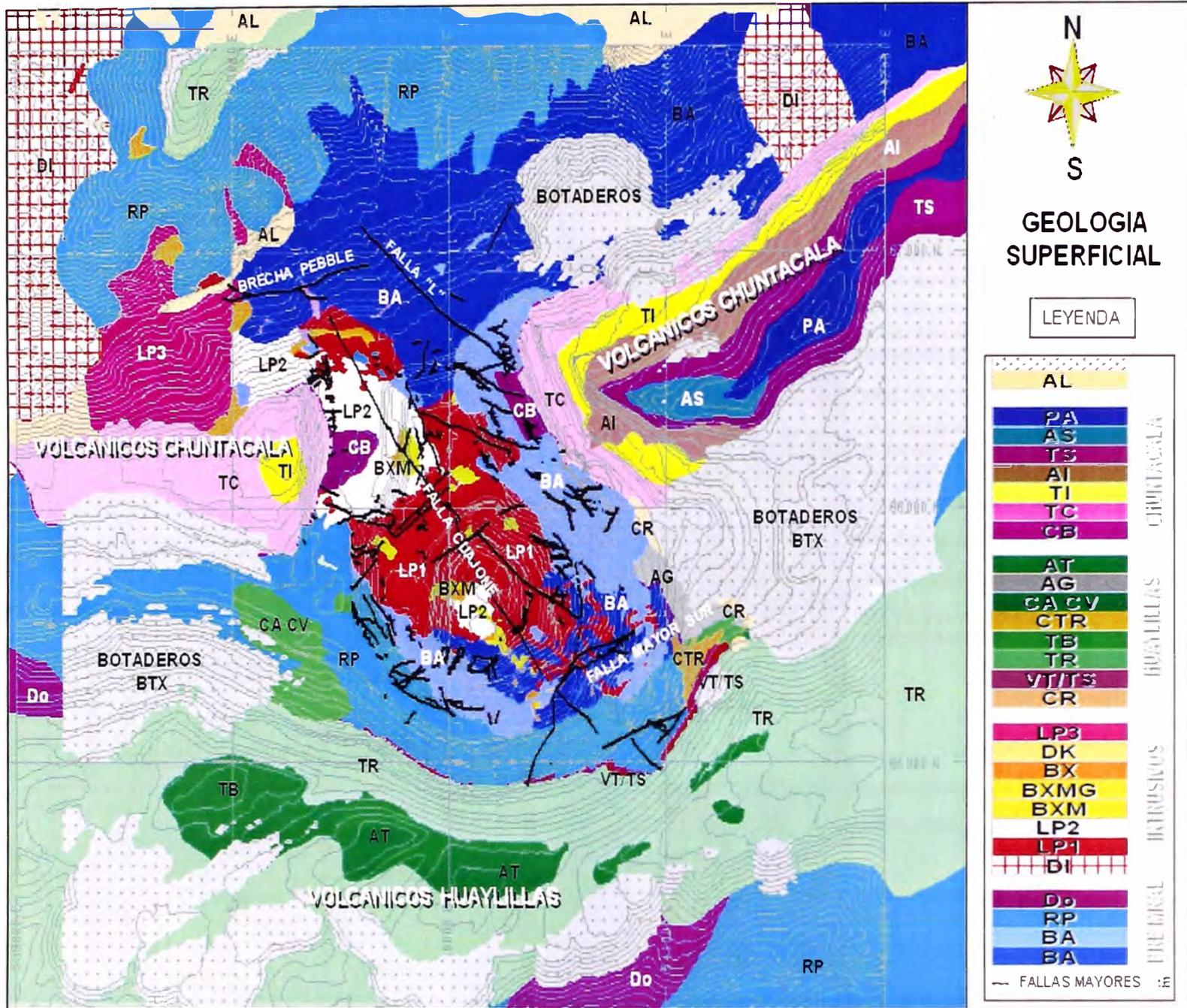


Gráfico 4.2-1 Plano Superficial de la Geología a Diciembre del 2001 - Mina Cuajone.

# COLUMNA GEOLOGICA DE CUAJONE

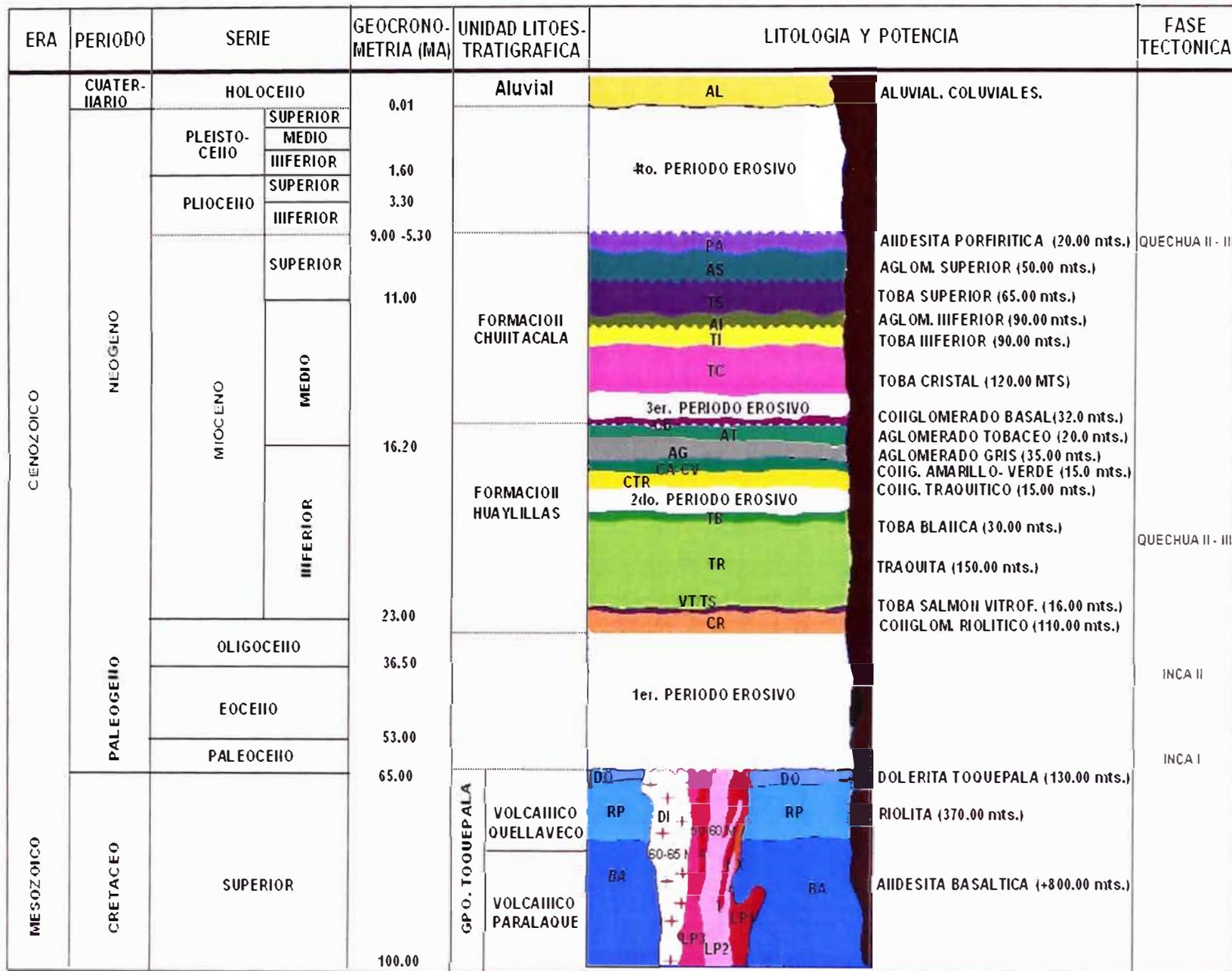


Gráfico 4.2-2 Columna Litoestratigráfica de Cuacone, modificado Diciembre 2001

La potencia no ha podido ser definida debido a que ningún taladro diamantino ha logrado atravesarla y superficialmente se constituye en la roca basal de toda la secuencia volcánica. Se estima una potencia superior a los 800 m.

Los fenocristales son subhedrales a euhedrales y están constituidos mayormente por plagioclasas, en menor cantidad por hornblendas que mientras más cerca del cuerpo mineralizado, están mayormente alteradas a biotitas secundarias. La matriz tiene una textura de grano fino mayormente compuesta por biotita secundaria y opacos. En muchos de los afloramientos se manifiesta un débil magnetismo.

Actualmente se le considera como una serie de flujos andesíticos volcánicos pertenecientes posiblemente a la Formación Paralake pero últimamente está cobrando mayor fuerza la teoría de ser un intrusivo somero perteneciente al Batolito de la Costa.

Cerca a la zona mineralizada se tiene una serie de minerales constituyentes de esta roca como productos de alteración, tal es el caso de la presencia de sílice, biotita secundaria, epidota, cloritas, arcillas, feldespatos potásicos, apatito, leucógeno y opacos; adicionalmente la coloración de la roca es mas grisácea. Todas estas alteraciones crearon en el pasado una serie de confusiones con referencia a la presencia de una andesita intrusiva, pero por estudios recientes, se ha confirmado que esta roca no viene a ser sino una alteración de la andesita basáltica (Park, 1998).

### **4.2.1.2. Riolita Porfirítica.**

Está compuesta por un flujo ácido porfirítico con granos de cuarzo de diferentes tamaños hasta de 2mm de diámetro, generalmente subredondeados. La matriz es afanítica, densa y dura. La roca es de un color gris claro a blanquesino.

Se correlaciona con la QQ de Toquepala y descansa discordantemente sobre la andesita basáltica con un leve buzamiento hacia el Oeste-Suroeste.

La potencia de esta roca en las cercanías de Cuajone llega hasta 370 m. y en la actualidad se encuentra aflorando principalmente en la ladera Sur de la quebrada Chuntacala y en la ladera Norte de la quebrada Torata.

### **4.2.1.3. Dolerita Toquepala.**

Sobreyaciendo a la riolita porfirítica, se tiene un flujo volcánico de color negro, gris verdoso y marrón que corresponde a la Dolerita Toquepala.

Presenta una textura porfirítica, abundante calcita y en ciertos horizontes es conglomerádica y/o brechoide.

En el area del tajo esta roca ha sido completamente erosionada, pero se tienen afloramientos muy cercanos a 2.5 km. al Oeste.

La máxima potencia que se le ha determinado en las cercanías de Cuajone es de 130 m. pero existen referencias que han sido determinadas con taladros diamantinos en la que le asignan una potencia de hasta 230 m. (Manrique-Plazoles 1974).

#### **4.2.2. Rocas Intrusivas.**

##### **4.2.2.1. Diorita.**

Aproximadamente entre 1 y 2 km. Al Oeste del cuerpo mineralizado, se tiene un stock de diorita de forma irregular elongado cuyo eje mayor tiene una dirección predominante Norte-Sur. Este stock atraviesa a la andesita basáltica y a toda la secuencia de rocas pertenecientes al Grupo Toquepala

Dataciones radiométricas recientes tomadas en la quebrada Chuntacala y en la quebrada Torata, le asignan una edad de  $66.7 \pm 1.7$  M.A. (Park, 1998).

Las rocas tienen una coloración que varía de gris - gris verdosa a gris oscura. Mayormente son holocristalinas, equigranulares de grano medio a grueso y ocasionalmente son porfiríticas. En superficie presentan una disyunción esferoidal.

Otro pequeño stock de diorita aflora a 1.7 km. al Este del cuerpo mineralizado en la quebrada Torata. Tiene una longitud de afloramiento de 0.7 km. De largo por 0.35 km de ancho y su coloración es gris oscura a negra.

##### **4.2.2.2. Latita Porfirítica.**

Con una dirección predominante Noroeste-Sureste, se tiene la presencia de un cuerpo intrusivo de latita porfirítica de aproximadamente 2.5 km de largo por 0.7 km de ancho, elongado, que se encuentra intensamente alterado en su sector Sureste decreciendo dicha alteración hacia el Noroeste.

Se le asigna una edad Eoceno Inferior entre 57 y 52 M.A (Estrada 1975, Mc Bride 1977, Zweng 1984, Beckinsale 1985, Clark 1990, Tosdal 1990 y Park 1998).

Principalmente basados en la ocurrencia y cantidad de mineralización y en las alteraciones, se asume que han habido tres pulsos magmáticos que estarían conformando este cuerpo intrusivo:

#### **4.2.2.2.1. Latita Porfirítica 1.**

El primer pulso magmático está ubicado en el sector Sureste del afloramiento de esta roca en lo que actualmente constituye el tajo principal. Esta intrusión habría sido la responsable de la mineralización en Cuajone en la cual tanto la latita porfirítica como las rocas preminerales que la rodean fueron mineralizadas e intensamente alteradas.

La latita porfirítica se presenta fuertemente alterada con una textura predominantemente porfirítica con granos de cuarzo que llegan hasta 4 mm de diámetro subredondeados y feldespatos rectangulares mayormente alterados en una matriz criptocristalina.

Todo este cuerpo está conformado por una mineralización de cobre y molibdeno explotable económicamente.

Los contactos litológicos con las rocas que la rodean son mayormente cercanos a la vertical y principalmente con la andesita basáltica por la alteración el contacto es gradacional.

#### **4.2.2.2.2. Latita Porfirítica 2.**

El segundo pulso magmático es actualmente conocido como Barren Latite Porphyritic (BLP). Se encuentra localizado en dos sectores que muy probablemente se interconectan en profundidad: El primer sector aflora intruyendo al primer pulso de latita porfirítica en su parte central con una forma irregular elongada hacia el Noroeste en una longitud aproximada de 300 m. de largo por 200 m. de ancho. El segundo sector aflora inmediatamente al Noroeste del primer pulso en la parte media del afloramiento total de latita porfirítica con una forma ovoide de aproximadamente 850 m. de largo por 550 m. de ancho, este pulso se encuentra separando el cuerpo mineralizado principal con el cuerpo mineralizado perteneciente a la extensión Noroeste.

Presenta una menor alteración y la mineralización tiene leyes de cobre que actualmente económicamente no son explotables.

#### **4.2.2.2.3. Latita Porfirítica 3.**

El tercer pulso magmático se encuentra ubicado en el sector Noroeste del afloramiento de la latita porfirítica en el valle del río Torata y presenta un

diámetro aproximado de 800 m. La roca se presenta con una alteración débil, sin mineralización de cobre. Los granos de cuarzo en algunos casos llegan hasta 2 cm. de diámetro, subredondeados a redondeados en una matriz microcristalina a criptocristalina.

### **4.2.2.3. Brechas**

La intrusión del segundo cuerpo de Latita Porfirítica (LP2) o el segundo pulso magmático de Latita Porfirítica, originó la presencia de cuerpos de brecha bordeando dicha intrusión que están mayormente constituidos por clastos de latitas y andesitas de diferentes tamaños redondeados, subredondeados, angulares y subangulares dependiendo del arrastre que han tenido desde profundidad envueltos en una matriz de latita porfirítica.

Estas brechas se encuentran mayormente ubicadas en el contacto entre los diferentes pulsos magmáticos de latita porfirítica y en menor proporción aprovechando zonas de debilidad como fallas y fracturas en las cercanías a estos contactos tal y como sucede en el sector Sureste del tajo con la Falla Mayor Sur

Las brechas han sido clasificadas por su contenido de mineralización en brechas mineralizadas cuyas leyes son superiores a 0.40 % de Cu, brechas marginales con leyes que varían entre 0.10 y 0.40 % de Cu, y brechas Estériles con leyes inferiores a 0.10 % de Cu. La mineralización que se presenta en las brechas está mayormente condicionada a los clastos que generalmente provienen de rocas mineralizadas.

### **4.2.2.4. Diques.**

En la mina Cuajone se tiene la presencia de diques de hasta 800 m. de longitud con potencias variables hasta de 3 m. compuestos mayormente por latitas porfiríticas con ocasional mineralización diseminada que tiene relación con la segunda intrusión de Latita Porfirítica 2.

Mayormente se encuentran emplazados en fallas cuyas direcciones son variadas con cierta predominancia hacia el Noroeste y Este-Oeste. Los buzamientos son subverticales hacia el Sur-Suroeste.

## **4.2.3. Rocas Postminerales.**

### **4.2.3.1. Formación Huaylillas.**

Aflora principalmente en la ladera Sur-Sureste de la quebrada Chuntacala y en la ladera Norte del río Torata. Esta constituida por una secuencia de conglomerados, tobas, vitrófiros, traquitas (denominación local por Manrique y Plazoles, 1975), y aglomerados. Se le asigna una edad entre 17 y 23 MA y

presenta potencias de hasta 230 m. en los alrededores de la mina. Sobreyace discordantemente a las rocas del Grupo Toquepala e intrusivos.

La secuencia comienza con un **Conglomerado Riolítico** cuyo afloramiento se presenta al Este del Tajo rellenando una paleo superficie con una dirección predominante Este-Oeste. Consiste de clastos subangulares a subredondeados indiferentemente clasificados y con tamaños hasta de 0.40 m. de diámetro mayormente compuestos de riolitas en una matriz areno arcillosa tufácea. Sobreyace a la riolita porfirítica en discordancia erosional y se constituye como la roca base de la Formación Huaylillas. Por medio de perforación diamantina se ha logrado interceptar hasta 110 m. de potencia en este tipo de roca (Reporte interno SPCC Mayo 1981).

**La Toba Salmón** es la segunda roca de esta formación. Se presenta en la ladera Sur de la quebrada Chuntacala cuya potencia llega hasta 16 m. y cubre como un manto en discordancia erosional a las rocas preminerales intrusivos y al conglomerado riolítico. Entre sus características principales se tiene una coloración rosácea principalmente en la base que va gradualmente cambiando a blanquecina en el tope, es blanda, de grano fino y presenta un fracturamiento concoidal. En la ladera Norte del río Torata, la toba Salmón aflora con una potencia de hasta 100 m. con una coloración gris clara blanquecina a rosácea, es también blanda y presenta finos cristales de sanidina, flogopita y biotita.

Gradacionalmente entre la Toba Salmón y las Traquitas se tiene la presencia de **Vitrófiros** con potencias variables hasta de 20 m. que sugiere un flujo de material muy viscoso el cual tuvo un enfriamiento muy rápido. Las coloraciones varían de rosáceas en contacto con la toba Salmón a marrones y negras hacia el tope en contacto con la Traquitas, es frágil y presenta fractura concoidea.

Sobreyaciendo gradacionalmente a la Toba Salmón y a los Vitrófiros, se tiene la presencia de una potente capa de **Traquitas** que presentan una coloración marrón pardusco rosácea y violácea con cristales anhedrales de flogopita, fenos anhedrales y subhedrales de sanidina y ocasionales biotitas. La matriz es silicificada y de color marrón pardusco a violácea. Presenta un fracturamiento rugoso subhorizontal predominante con ocurrencia principalmente de arcillas como relleno y con potencias variables de hasta 0.30 m. Ocurren también otros fracturamientos subverticales con diferentes direcciones y fractura mayormente concoidea con pátinas y rellenos locales de pirolusita dendrítica. La característica principal de esta roca es que presenta un bandeamiento de flujo y la ocurrencia variada de vesículas de diferentes diámetros. Se han descrito hasta doce variedades de flujos de traquita que tienen características estructurales particulares en cuanto a fracturamiento (Satchwell 1981).

Sobreyaciendo a las traquitas concordantemente, aflora en las partes altas de la mina en el sector Sur-Sureste de la mina la **Toba Blanca** que tiene una potencia máxima de 30 m.

Después de la deposición de la Toba Blanca, se tiene una segunda etapa erosiva importante que forma un valle ligeramente paralelo a la actual quebrada Chuntacala en la que la mayor parte de la Formación Huaylillas en el sector entre las quebradas Chuntacala y Torata prácticamente desaparece.

Posteriormente este paleorelieve es parcialmente rellenado por un **Conglomerado Traquítico** que está compuesto mayormente por clastos de traquitas y tobas subangulares de variados tamaños hasta de 0.30 m. en una matriz tufácea-arenosa.

Seguidamente se tiene la presencia de un **Conglomerado Verde y Amarillo** que aflora también en el paleovalle antiguo de la quebrada Chuntacala tanto en el sector Este como en el Oeste del actual Tajo. Está compuesto mayormente por clastos redondeados, angulares y subangulares de andesitas, riolitas, latitas, brechas, traquitas y tobas de diferentes tamaños hasta de 0.80 m. en una matriz areno arcillosa tufácea que se encuentran al igual que el conglomerado traquítico a manera de una cubierta coluvial discordantemente en las laderas de la quebrada con potencias de hasta 30 m.

Sobreyaciendo discordantemente a las rocas anteriores se presenta el **Aglomerado Gris** emplazado en el paleovalle de la quebrada Chuntacala. Es un flujo compuesto de clastos angulares y redondeados de andesitas de diferentes tamaños y colores que varían desde negras a grises y rojizas y tobas en una matriz arenotufácea de color gris.

Finalmente se presenta el **Aglomerado Tobáceo** que está constituido por clastos angulares a subredondeados de traquitas y tobas en una matriz tufácea. Se encuentra emplazado en las cumbres de la ladera Sur de la quebrada Chuntacala y por referencias de mapeos antiguos se tenía dicha roca en el eje de la quebrada Chuntacala.

#### 4.2.3.2. Formación Chuntacala.

Entre los actuales valles de Chuntacala y Torata, aproximadamente a 400 m. al Norte de la quebrada Chuntacala, se depositó la Formación Chuntacala a la cual le han asignado una edad entre 9 y 14 MA (Tosdal 1990).

Está compuesta por una sucesión de conglomerados, flujos, tobas, y aglomerados que han sido depositados en forma gradacional en unos casos y discordantemente en otros.

Las disconformidades intraformacionales que existen dentro de la Formación Chuntacala de acuerdo a Manrique y Plazoles (1975) y Tosdal (1984) indicaban que hubo en el área de la mina levantamientos episódicos en el Mioceno Medio y Superior, esos levantamientos episódicos no necesariamente se realizaron en las cercanías de la mina, si no mas bien un poco mas alejados ya que como podemos observar en las bases de esas intraformaciones se tiene un relieve bastante atenuado ligeramente ondulado y las disconformidades presentes mayormente se habrían desarrollado por periodos erosivos intraformacionales. La Formación Chuntacala tiene una potencia aproximada de hasta 200 m.

La secuencia comienza con un **Conglomerado Basal** que se encuentra en discordancia erosional (tercer periodo erosivo importante) sobre rocas preminerales, intrusivas y aglomerado gris. Tiene una potencia de hasta 32 m. y está constituido por clastos de andesitas, riolitas, traquitas, latitas y tobas mayormente subredondeados a redondeados y en menor proporción subangulares de hasta 1.20 m. de diámetro en una matriz areno-arcillosa.

Luego se tiene discordantemente la presencia de la **Toba Cristal** que en la base muestra a una toba gris blanquesina de hasta 5 m. de potencia de naturaleza blanda y flujo bandeado a la que sobreyace una toba de color marrón claro con textura porfirítica con cristales de sanidina y micas en una matriz de grano medio a grueso que en algunos casos presenta vesículas rellenas por material vítreo. En total se tiene una potencia de hasta 120 m. Su fracturamiento es predominantemente subhorizontal, también presenta fracturas verticales en variadas direcciones y con disyunción columnar rellenas en algunos casos con bastante pirolusita y material arcilloso.

Sobreyaciendo a la Toba Cristal en contacto subhorizontal gradacional, se presenta la **Toba Inferior** que es de un color blanco a blanco amarillento, de naturaleza blanda, presenta una textura débilmente porfirítica en una matriz afanítica. Los principales cristales que se pueden observar son de sanidina, biotita, epidota y flogopita. Aflora en el sector Norte del Tajo y tiene una potencia de hasta 90 m.

Posteriormente se encuentra al **Aglomerado Inferior** sobreyaciendo a la Toba Inferior y toba cristal con discordancia erosional y como relleno de un pequeño paleovalle. Es un flujo aglomerádico de color marrón oscuro compuesto mayormente por clastos subangulares a subredondeados de andesitas de variados tamaños hasta de 0.40 m. en una matriz mayormente

tobácea consolidada. Tiene una potencia de hasta 90 m. en el eje central de la paleoquebrada que va decreciendo hacia las laderas.

En los niveles superiores de la Formación Chuntacala y con discordancias erosionales, se tiene la presencia de una **Toba Superior** (potencia máxima de 65 m.), un **Aglomerado Superior** (potencia máxima de 50 m.) y una **Andesita Porfírica**; que completan la secuencia volcánica. Después continúa un cuarto periodo erosivo importante hasta la actualidad, formándose los valles actuales de Torata y Chuntacala.

### 4.2.3.3. Depósitos Cuaternarios.

Principalmente en los lechos de los ríos, quebradas y laderas de cerros se han depositado materiales aluviales y coluviales de variada composición y tamaño.

## 4.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DE LA MINA.

En el transcurso del desarrollo del tajo de Cuajone, se han ido descubriendo una serie de estructuras principales y secundarias que han sido debidamente mapeadas y con las cuales se puede tener una interpretación del comportamiento estructural del yacimiento. Ver gráfico 4.3-1.

La falla Botiflaca y la prolongación de la falla Viña Blanca hacia el Noroeste debajo de los volcánicos postminerales, están conformando un "Corredor" con dirección general hacia el Noroeste en donde se encuentra emplazado el cuerpo mineralizado de Cuajone. Ver gráfico 3.3.3-1.

La evidencia de estas estructuras, aparte de otras de menor envergadura sugieren un alineamiento regional en rocas preminerales con una tendencia preferencial hacia el Noroeste. Estas estructuras o zonas de debilidad tienen su máxima manifestación en el emplazamiento del cuerpo intrusivo de Latita Porfírica elongado hacia el Noroeste.

Con la intrusión de los diferentes pulsos magmáticos de Latita Porfírica, se tiene un intenso fracturamiento tipo Stockwork ocasionado por las enormes presiones ejercidas por el magma intruyente, los fluidos, gases y/o vapores hidrotermales.

Como una superimposición al stockwork, ocurrió en Cuajone un intenso fallamiento, fracturamiento y cizallamiento con una dirección predominante hacia el Noroeste (Satchwell 1982).

Los Volcánicos Postminerales presentan un fracturamiento diferente. En el área de la mina no se ha identificado ninguna estructura mayor que supere

los 30 m. En los flujos lávicos como la Traquita y la Toba Cristal se tiene un fracturamiento preferentemente subhorizontal con estructuras rellenas por material arcilloso, también se tiene un fracturamiento subvertical concoidal e irregular en variadas direcciones. La combinación de estas fracturas produce bloques rectangulares de variados tamaños. Con referencia a los conglomerados, aglomerados y tobas se tiene un fracturamiento menos intenso pero prevalece la fractura concoidal.

Los contactos entre rocas preminerales se encuentran entre discordancias erosionales subhorizontales a excepción de la intrusión de diorita. Los contactos entre rocas intrusivas y preminerales se presentan en algunos casos por fallamiento y en otros son gradacionales. Los contactos entre las rocas preminerales e intrusivas vs. las rocas postminerales son por discordancia erosional y resultan como un sello sobre el que discurre agua subsuperficial. Los contactos intraformacionales de los volcánicos postminerales son en algunos casos gradacionales y en otros erosionales. Todos estos contactos representan estructuras que deben ser consideradas principalmente en estudios de estabilidad de taludes.

### **4.3.1. Brechas.**

En Cuajone se tienen pequeños cuerpos de brechas que afloran en las Latitas Porfiríticas a las que se han clasificado de la siguiente forma.

#### **4.3.1.1. Brecha Intrusiva.**

Se presenta bordeando el segundo cuerpo de Latita Porfirítica LP2 (segundo pulso magmático). Está conformada por clastos subangulares, subredondeados y redondeados mayormente de latitas y andesitas generalmente mineralizadas en una matriz de latita parcialmente constituida por material pulverizado. La redondez de los clastos está supeditada al transporte de los mismos desde su origen y se pueden encontrar diámetros de hasta 0.30 m.

### **4.3.1. Brechas.**

En Cuajone se tienen pequeños cuerpos de brechas que afloran en las Latitas Porfiríticas a las que se han clasificado de la siguiente forma:

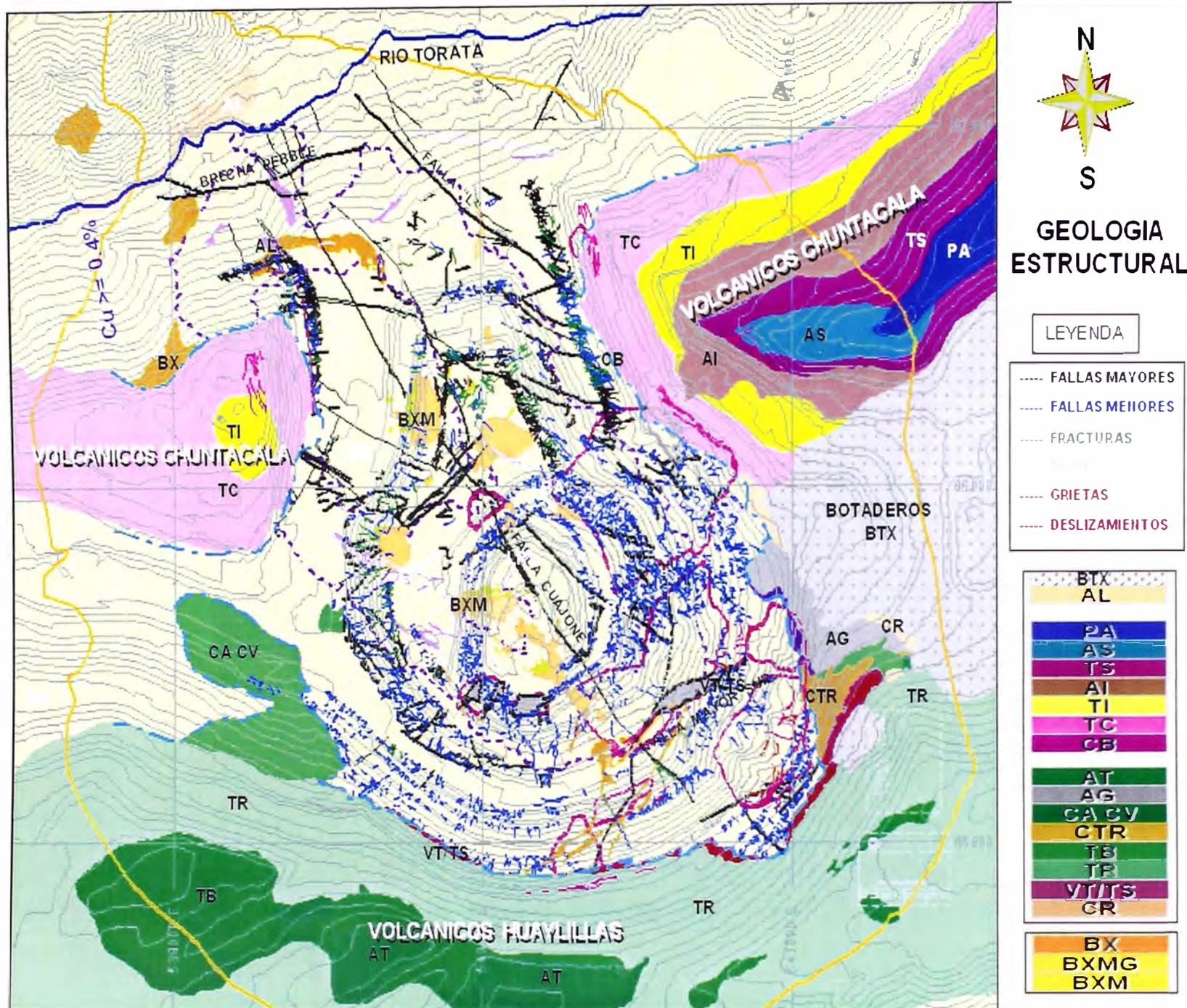


Gráfico 4.3-1 Geología Estructural - Mina Cuajone

#### **4.3.1.1. Brecha Intrusiva.**

Se presenta bordeando el segundo cuerpo de Latita Porfirítica o BLP (segundo pulso magmático). Está conformada por clastos subangulares, subredondeados y redondeados mayormente de latitas y andesitas generalmente mineralizadas en una matriz de latita parcialmente constituida por material pulverizado.

#### **4.3.1.2. Brecha de Ruptura.**

Al Oeste del Tajo entre los Niveles 3370 y 3445, se tiene el afloramiento de una brecha de ruptura de aproximadamente 120 x 70 m. de diámetro elongada hacia el Noroeste en la que se presenta un fracturamiento que se intercepta formando ángulos agudos entre los clastos sin un patrón de orientación definido que posteriormente ha sido rellenado por material triturado, material de cuarzo y mineralización de sulfuros que por los espacios disponibles, han permitido la formación de cristales en drusas y geodas por el enfriamiento lento principalmente del cuarzo y la pirita.

No se nota un desplazamiento visible ni rotación de los fragmentos. El origen se le atribuye a la presión que ejerce el magma ascendente que es variado produciéndose contracciones que se traducen en fracturamiento.

#### **4.3.1.3. Brecha Hidrotermal.**

Existen pequeños afloramientos de tres brechas que se presentan de formas irregulares con diámetros de hasta 100 m. que están en algunos casos fuertemente mineralizadas.

Los clastos son preferentemente angulares y se presentan en forma caótica en una matriz mayormente compuesta por Latita Porfirítica fuertemente alterada y con sulfuros minerales.

El origen se le atribuye a posibles zonas débiles que por el empuje de los líquidos y gases hidrotermales originan espacios que son parcialmente rellenados por clastos de las rocas circundantes y también son rellenados por soluciones ricas en minerales. Posiblemente estas brechas se constituyen en los principales conductos de la mineralización.

#### **4.3.2. Falla Mayor Sur.**

La falla más importante que aflora dentro de la mina a sido denominada como Falla Mayor Sur. Se presenta como una estructura que tiene varios ramales que se bifurcan y se unen indistintamente con un rumbo preferencial de 212°,

## Geología y Génesis de Cuajone

buzamiento de 57° y aflora en una longitud de 950 m. con un ancho variable de hasta 50 m. Ver gráfico 4.3-1

Esta falla posiblemente continúa por el extremo Noreste de la mina en la quebrada Chuntacala que en estos momentos está mayormente cubierta por material de botaderos. En su extremo Suroeste está limitada por los volcánicos de la Formación Huaylillas.

El relleno está mayormente constituido por material intensamente fracturado, triturado y brechado.

### 4.3.3. Análisis Estereográfico.

Se ha realizado un mapeo estructural del tajo en las rocas pertenecientes al Grupo Toquepala y en los Intrusivos. Se ha considerado Fallas Mayores a las que tienen longitudes mayores a 50 m. o que abarcan tres o más bancos del tajo, Fallas Menores o fallas que tienen afloramientos entre uno y tres bancos y Fracturas o juego de Junturas que se exponen en un banco.

ANÁLISIS	TOTAL ESTRUCTURAS		TOTAL FALLAS MAYORES		TOTAL FALLAS MENORES		TOTAL JUNTURAS	
	Nº Polos	Azimuth:Buz Predominante	Nº Polos	Azimuth:Buz Predominante	Nº Polos	Azimuth:Buz Predominante	Nº Polos	Azimuth:Buz Predominante
Total Mina	7918	302°/73° 227°/42° 97°/85°	432	310°/70° 342°/78° 108°/73° 282°/53° 238°/62°	2514	303°/73° 96°/77° 252°/54° 39°/81°	4879	227°/40° 307°/74° 353°/71°
Lalita Porfírica	2464	310°/77° 227°/38° 202°/63°	136	347°/71° 234°/39°	754	203°/63° 303°/72° 323°/67°	1574	222°/39° 312°/78°
Andesita	2665	98°/84° 225°/42° 306°/75°	235	310°/70° 262°/55° 348°/42° 281°/56° 94°/57°	896	298°/75° 99°/82° 253°/55°	1490	226°/42° 104°/87°
Andesita Basáltica	779	306°/77° 114°/85° 132°/82° 227°/43°	67	210°/51° 338°/60° 130°/75°	227	97°/81° 298°/69° 327°/65° 114°/86°	420	310°/73° 226°/43° 113°/84°
Andesita Intrusiva	1886	93°/84° 221°/41° 209°/50° 277°/72°	168	310°/70° 262°/54° 337°/84° 94°/58°	619	292°/75° 253°/56° 98°/83° 45°/87°	1070	223°/40° 208°/50° 92°/84°
Riolita Porfírica	2523	40°/77° 358°/72° 308°/72° 271°/83°	57	62°/75° 81°/68°	798	307°/78° 38°/80° 211°/84° 326°/82°	1653	356°/72° 41°/77°
Brecha	249	293°/68°						

**cuadro 4.3.3-1 cuadro estadístico de las estructuras del Tajo, para el análisis estereográfico. El orden de ubicación y buzamiento representa el grado de importancia**

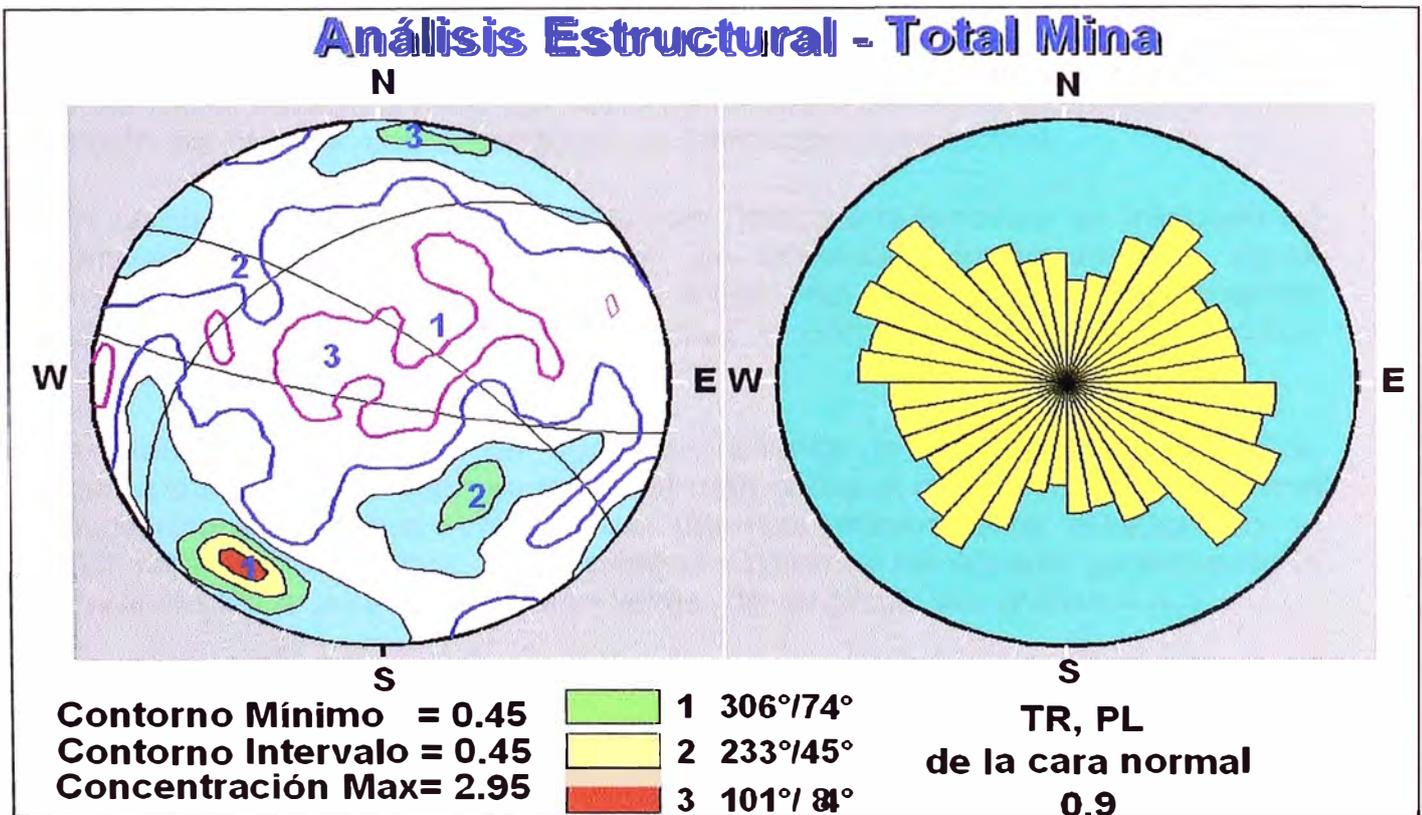
Todas estas estructuras han sido analizadas estereográficamente en conjunto y por cada tipo de roca. Se han obtenido 7,918 polos (ver cuadro 4.3.3-1).

El total de estructuras tienen tres tendencias predominantes que en orden de importancia son  $302^{\circ}/73^{\circ}$  (dirección NO),  $227^{\circ}/42^{\circ}$  (dirección SO) y  $097^{\circ}/85^{\circ}$  (dirección E-O).

Las fallas mayores, de las cuales se tienen 432 polos, tienen una predominancia de dirección NW-SE.

Las fallas menores constituyen 2,514 polos con las siguientes tendencias en orden de importancia  $303^{\circ}/73^{\circ}$  (dirección NO),  $096^{\circ}/77^{\circ}$  (dirección E-O),  $252^{\circ}/54^{\circ}$  (dirección SO) y  $039^{\circ}/81^{\circ}$  (dirección NE).

Las juntas que en total hacen 4879 polos dan las siguientes tendencias principales  $227^{\circ}/40^{\circ}$  (dirección SO),  $307^{\circ}/74^{\circ}$  (dirección NO), y  $353^{\circ}/71^{\circ}$  (dirección N-S).



**Gráfico 4.3.3-1 Análisis estereografico total de la mina Cuajone.**

En la Andesita Basáltica se han obtenido 2665 polos con las siguientes tendencias principales  $098^{\circ}/84^{\circ}$  (dirección E-O),  $225^{\circ}/42^{\circ}$  (dirección SO) y  $306^{\circ}/75^{\circ}$  (dirección NO). Las fallas mayores y fallas menores tienen una tendencia principal hacia el NO mientras que las juntas tienen una tendencia principal hacia el SO.

En la Latita Porfirítica se han evaluado 2464 polos que tienen las siguientes tendencias predominantes  $310^{\circ}/77^{\circ}$  (dirección hacia el NO),  $227^{\circ}/38^{\circ}$  (dirección SO) y  $202^{\circ}/63^{\circ}$  (dirección SO). Las fallas mayores tienen un predominio de dirección hacia el N-NO, las fallas menores y las juntas tienen un predominio de dirección hacia el SE.

En la Riolita Porfirítica se han evaluado 2523 polos y se tiene una predominancia de estructuras con un azimut  $040^{\circ}/77^{\circ}$  hacia el NE, los buzamientos varían principalmente entre  $68^{\circ}$  y  $83^{\circ}$ .

Finalmente en las brechas se tienen 249 polos evaluados que tienen una tendencia principal hacia el NO de  $293^{\circ}/68^{\circ}$ .

En el gráfico 3.3.4-1 se puede apreciar el análisis estructural total de la mina.

#### **4.4. ALTERACIONES HIDROTERMALES.**

Todos los cambios en la mineralogía, química, o en la composición textural de las rocas llevada a cabo por factores físicos o químicos esencialmente por soluciones hidrotermales, producen la Alteración Hidrotermal.

Los cambios en las paredes pueden ser físicos o químicos y se traducen en Remplazamientos o Recristalización de minerales. Incremento de agua, carbón dióxido u otros componentes minerales, remoción de componentes químicos, incremento de permeabilidad y porosidad, cambios de color, textura o ratios isotópicos.

La alteración hidrotermal en Cuajone presenta un halo hasta de 4 km. de diámetro siendo más intensa mientras más cerca al cuerpo mineralizado nos encontramos teniendo variaciones internas mayormente relacionado al fracturamiento de la roca y alteración hidrotermal retrógrada, propiciando la alteración fílica y una alteración tardía de argílica. Ver gráfico 4.4-1.

##### **4.4.1. Alteración Potásica.**

Ha sido reconocida por medio de taladros diamantinos principalmente en el sector Noroeste del cuerpo mineralizado.

En la Andesita Basáltica se caracteriza principalmente por la presencia de biotitas secundarias muy finas, magnetita, cloritas y ocasionalmente anhidrita. En la Latita Porfirítica del Sureste del cuerpo mineralizado se la ha podido determinar en profundidad en forma de venillas que contienen feldespato potásico, magnetita y biotita secundaria. Ver gráfico 6.2-4.

### **4.4.2. Alteración Propílica.**

Se encuentra mayormente en los márgenes del cuerpo mineralizado y abarca aproximadamente hasta 4 km. de diámetro. Ver gráfico 6.2-4.

### **4.4.3. Alteración Filica.**

Resulta de un proceso retrógrado en el que las soluciones hidrotermales comienzan a enfriarse entre los 500 y 100 ° C, ver gráfico 6.2-5. Viene a ser la lixiviación del sodio, calcio y magnesio y el desarrollo de un metasomatismo potásico. El potasio es introducido o derivado del feldespato que contiene la roca de composición ácida a intermedia remplazando a los feldespatos, especialmente plagioclasas y biotita, dando lugar a la formación de sericitas en hojuelas finas o variedades fibrosas de mica incolora conformando venillas o agregados densos o dispersos. La asociación característica es cuarzo, sericita y pirita y como accesorios se tiene a la clorita, illita y biotita secundaria.

El ensamble que presenta es epídota, calcita, pirita y clorita que ocurre principalmente en la Andesita Basáltica y en la Riolita Porfirítica.

La ocurrencia en Cuajone de este tipo de alteración se presenta principalmente en la Latita Porfirítica y en la Riolita Porfirítica y en menor proporción en la Andesita Basáltica. Abarca la mayor area de superficie de exposición actual en el tajo. Ver gráfico 5.1.2-2.

### **4.4.4. Alteración Filica-Potásica.**

Determinada mayormente por taladros diamantinos, resulta de una sobreimposición de la alteración filica sobre la alteración potásica. Ver gráfico 6.2-5.

Los principales constituyentes vienen a ser la sericita y el cuarzo, se presentan mayormente en venillas y en las cercanías de fracturas, la biotita de grano muy fino secundaria, magnetita y ocasional anhidrita.

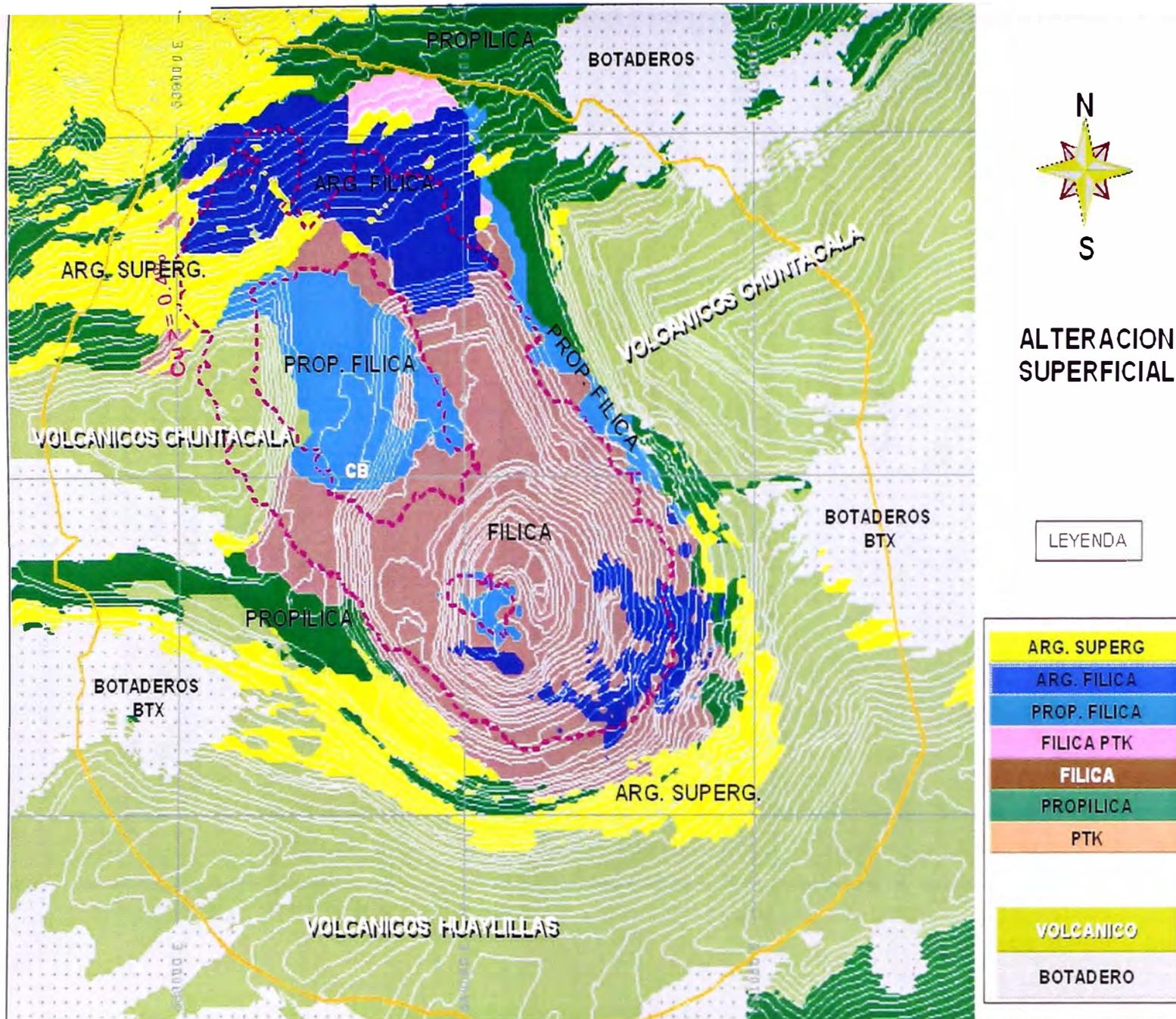


Gráfico 4.4-1 Plano de Alteración Hidrotermal - Mina Cuajone

#### **4.4.5. Alteración Propílica Filica.**

Aparece en los bordes de la alteración filica en la que se tiene la presencia de sericita, cuarzo, cloritas y muy ocasionalmente epidota. El contenido de pirita es alto, ha sido determinada mayormente en la Latita Porfirítica 2.

#### **4.4.6. Alteración Argilica Filica.**

La asociación característica es silice, sericita, caolinita, como accesorio clorita, producto de una alteración tardía ha sido determinado mayormente en la Andesita Basáltica 1 en la parte alta y en profundidad en contacto con la Andesita Basáltica 2.

#### **4.4.7. Alteración Supérgena.**

##### **4.4.7.1. Alteración Argilica.**

La mineralogía representativa de este tipo de alteración está mayormente conformada por la presencia de caolinita, montmorillonita, illita y dickita.

Se presenta principalmente en las cercanías a superficie y en las zonas mineralógicas conformadas por la capa de material lixiviado, óxidos y sulfuros enriquecidos llegando a pasar hasta la zona transicional mayormente en rocas sumamente fracturadas, porosas y permeables.

No se descarta la posibilidad que parte de esta alteración, especialmente en profundidad, esté conformada por una alteración hidrotermal.

### **4.5. MINERALIZACIÓN.**

#### **4.5.1. Mineralización de Cobre.**

El cuerpo mineralizado de cobre de Cuajone (> 0.40 % de Cu) presenta una mineralización regular, homogénea y tiene una mineralogía simple.

Abarca una extensión de aproximadamente 2,300 m. de longitud por 900 m. de ancho, elongado con una dirección Noroeste Sureste. Presenta un cuerpo de baja ley en el sector Noroeste central de 550 por 850 m. y otro cuerpo en el sector Sureste central de 200 por 300 m. aproximadamente. En el gráfico 4.5.1-1 se aprecia la distribución del Cobre.

En sección vertical la mineralización tiene una forma de embudo y los valores de leyes decrecen económicamente en el sector Noroeste aproximadamente

en el Nivel 2950, mientras que en el sector Sureste profundizan hasta el Nivel 2580 en donde todavía se tienen taladros con mineralización superior a 0.40 % de Cu.

La diferenciación de las zonas mineralizadas está definida principalmente por los minerales predominantes que se encuentran en cada una de ellas y la relación del índice de solubilidad ácida, cianurada e insoluble. Ver gráfico 4.5-1.

### **4.5.1.1. Zona Lixiviada.**

El origen de la zona lixiviada sobre el depósito se debe a que el cobre entró en solución por medio del ácido sulfúrico de baja concentración que se formó por la reacción del agua de lluvia con la pirita (Satchwel 1982).

Ocurre inmediatamente debajo de los volcánicos postminerales en espesores que varían desde pocos metros en la Andesita Basáltica del sector Norte del tajo hasta 120 m en el sector Sur de la mina en la Riolita Porfirítica.

Esta zona está mayormente constituida por limonitas que se presentan como óxidos e hidróxidos de Fe como la hematita, gohetita y en menor proporción y esporádicamente jarosita y pirolusita. La intensidad es variable dependiendo mayormente del fracturamiento de la roca.

### **4.5.1.2. Zona de Óxidos.**

El proceso de oxidación está relacionado a los componentes del agua subterránea que generalmente contienen  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  y algunas veces yoduros, cloruros y bromuros. Estos compuestos son generadores de disolventes muy fuertes como el sulfato férrico y el cloruro férrico que atacan a los minerales formando soluciones sulfatadas  $\{\text{Cu SO}_4, \text{Fe}_2 (\text{SO}_4), \text{Zn SO}_4\}$  con un PH ligeramente ácido a moderado, algunas veces alcalino cuando circulan a través de carbonatos y feldespatos.

Los sulfuros expuestos a la acción del medio ambiente, se descomponen formando óxidos, carbonatos, hidróxidos, silicatos y soluciones sulfatadas hasta la parte superior de la napa freática.

La oxidación en general es producto de la ocurrencia de ácido sulfúrico, del PH y EH de los minerales y de las soluciones meteóricas.

La zona de óxidos en Cuajone está prácticamente minada, quedando únicamente algunos remanentes pequeños en el sector Norte y Sureste del tajo. Inicialmente esta zona ha sido descrita como una capa tabular casi horizontal de 15 m. de espesor promedio.

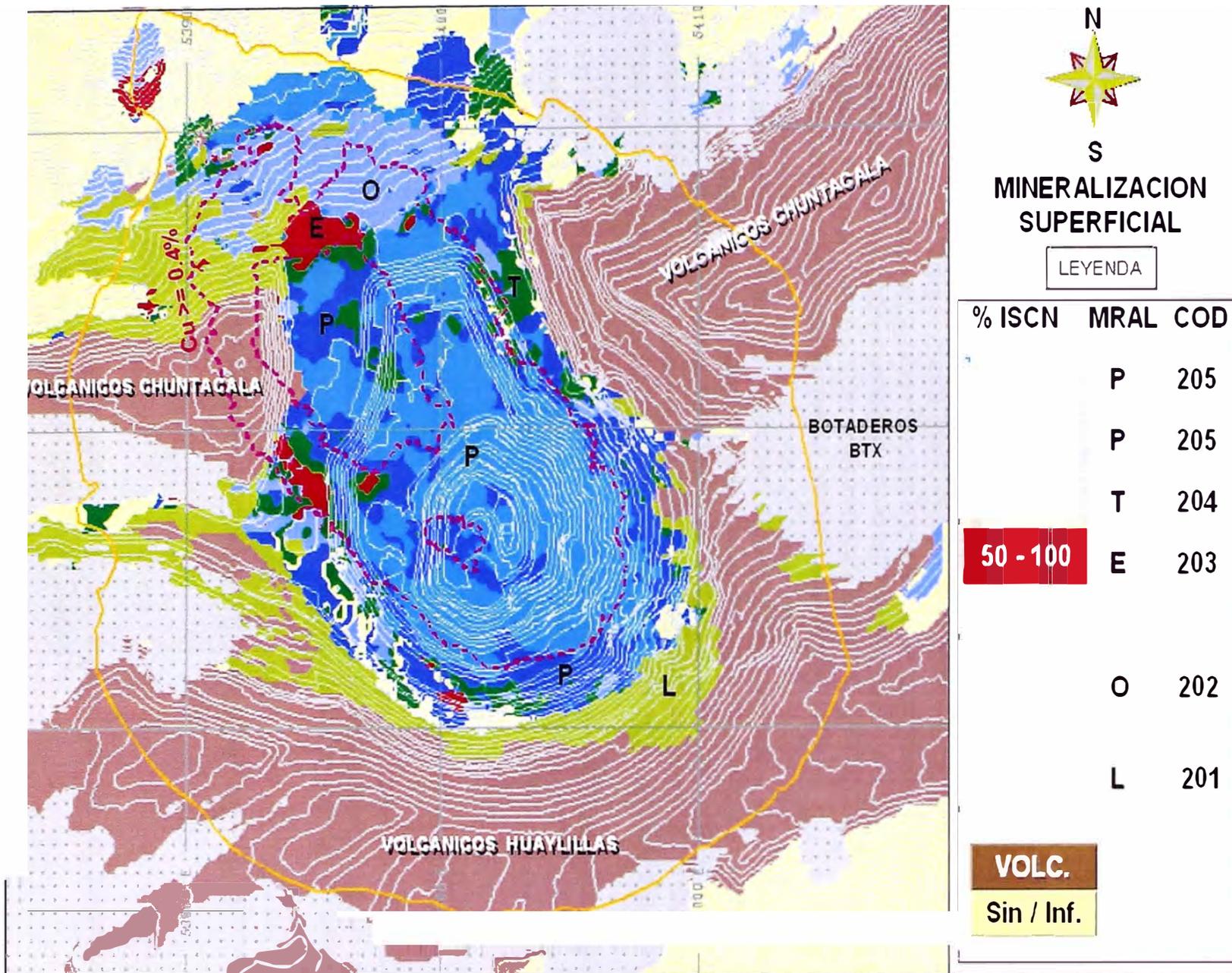


Gráfico 4.5-1 Plano de MINERALIZACION SUPERFICIAL: Relación del índice de solubilidad ácida (%ISAC) y cianurada (%ISCN) con la mineralización de sulfuros primarios (P) y mineralización supérgena (O, E, T).

El minado de este tipo de mineralización ha sido depositado en botaderos especialmente designados para este fin que en estos momentos se están lixiviando en forma parcial.

Anteriormente parte de este material era enviado a Ilo para ser utilizado como fundente en la fundición.

Los principales minerales que se presentan en la zona de óxidos son la Crisocola, Malaquita, Chalcantita, Brocantita, Cuprita, Cu nativo y Tenorita; cuya ocurrencia se concentra principalmente en fallas y fracturas y en menor proporción en forma diseminada.

### **4.5.1.3. Zona Enriquecida.**

Las tres etapas erosivas que se suceden entre 14 y 50 MA, habrían dado origen a la formación de la zona enriquecida o zona de sulfuros secundarios. Esta zona está representada mayormente por la calcosita, bornita, digenita y covelita; minerales que han remplazado parcial o totalmente a la calcopirita y en parte a la Pirita generalmente como un revestimiento de los cristales.

La zona enriquecida ha sido mayormente minada quedando todavía in situ sulfuros secundarios en el sector Norte y Oeste del Tajo.

Los sulfuros secundarios aparecen debajo de los óxidos o zona lixiviada en forma gradacional configurando una forma semitabular horizontal ligeramente inclinada hacia el Oeste. Gradacionalmente también sobreyace a la zona transicional. Se tiene referencias que en el pasado se tuvieron potencias de hasta 78 m. en zonas cercanas al eje de la quebrada Chuntacala, pero el promedio de su potencia es de 20 m.

En las zonas en que la pirita tuvo un recubrimiento de minerales secundarios (digenita), este mineral representa un problema en los concentrados puesto que la cubierta de digenita hace flotar a la Pirita ocasionando una menor ley de concentrado.

### **4.5.1.4. Zona Transicional.**

El paso de la zona enriquecida a la zona primaria, no es definido, teniéndose entre ambas una amplia zona transicional caracterizada principalmente por la presencia de pirita-calcopirita y en menor proporción la presencia de calcosita y bornita.

La potencia aproximada es de 190 m. y tanto su base como su tope tiene una forma ondulada gradacional en contacto con los sulfuros enriquecidos y la zona primaria.

### **4.5.1.5. Zona Primaria.**

Aflora en los niveles más profundos del tajo y vienen a constituir la mineralogía dominante del yacimiento de Cuajone.

La mineralogía es simple y esta constituida por pirita, calcopirita, bornita y ocasionalmente se tiene esfalerita, galena y enargita.

La ocurrencia de la calcopirita se encuentra como microvenillas, en venillas de cuarzo tipo stockwork, diseminado e inclusiones en la pirita.

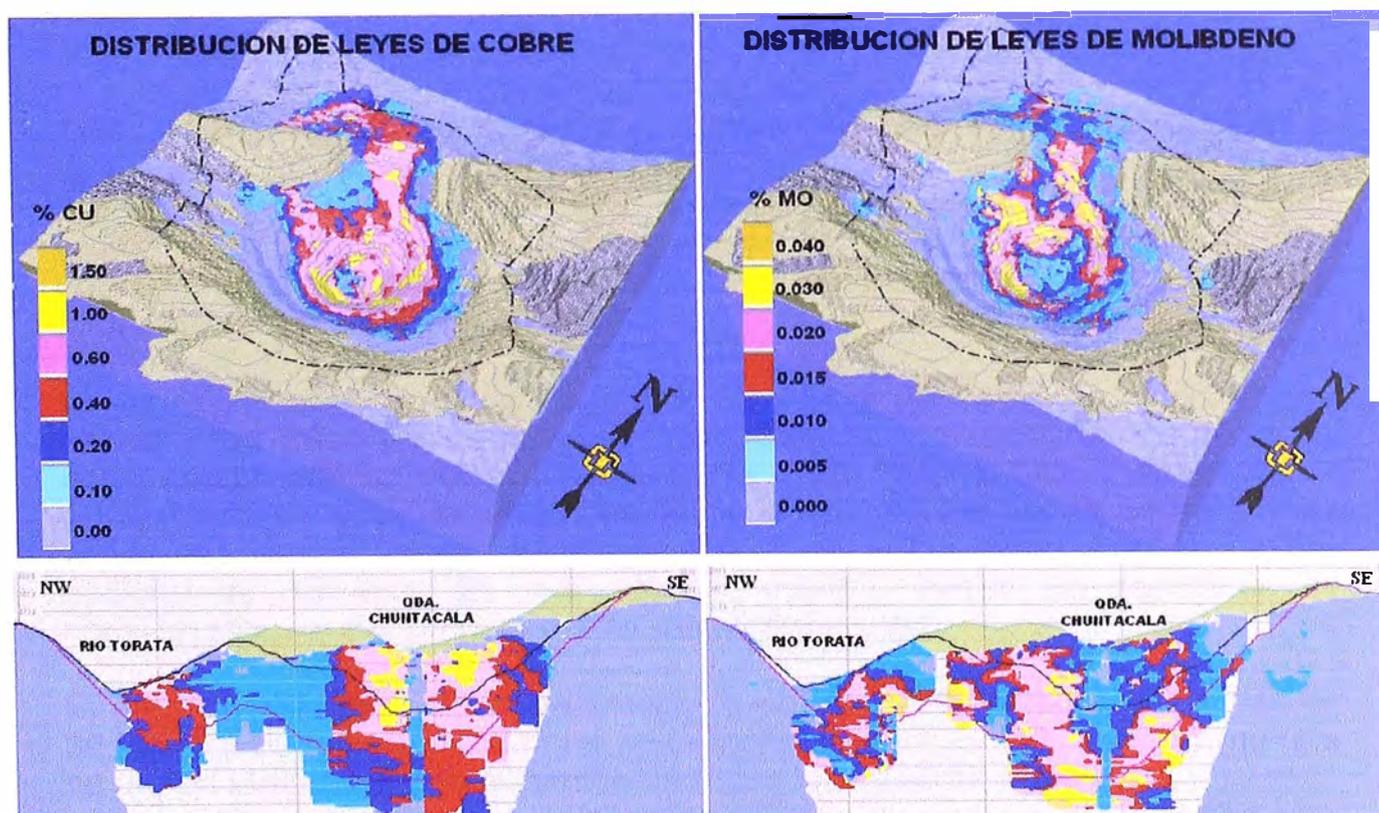
#### 4.5.2. Mineralización de Molibdeno.

Es el principal subproducto de Cuajone que se obtiene separándolo de los concentrados de cobre en la planta concentradora.

La ley promedio de Molibdeno para el yacimiento es 0.020 % y ocurre como un sulfuro de molibdenita ya sea en forma cristalizada en venillas de cuarzo, en forma de pátinas en las fracturas de las rocas y finamente diseminado visible al microscopio.

El molibdeno no tiene un zonamiento de óxidos, enriquecidos transicional y primario tal como ocurre con el cobre, los cuales se explica por el comportamiento diferente entre el Cu y el Mo. En un ambiente supérgeno en el rango EH oxidante, el Mo es inmóvil en PH ácido.

La presencia de mineralización de Mo es independiente de los otros sulfuros del yacimiento que sugiere una fase separada de mineralización. En el gráfico 4.5.1-1 se aprecia la distribución del Mo.



**Gráfico 4.5.1-1** Distribución de la mineralización de Cu y Mo – Tajo actual de la Mina Cuajone.

## CAPITULO V

### MODELAMIENTO GEOLÓGICO

#### 5.1. INTRODUCCIÓN

Para poder realizar la interpretación geológica del yacimiento de Cuajone, se utilizaron un total de 802 taladros de perforación que han sido realizados en diferentes campañas de perforación desde el año 1942 incluyéndose la última campaña efectuada para el Plan de Desarrollo (2,000-2,001). Adicionalmente se ha considerado el mapeo geológico superficial actualizado del yacimiento.

El procedimiento que se sigue en **Cuajone** para realizar un Modelamiento Geológico se explica en el gráfico 5.1-1.

Con la información proveniente de las Campañas de Perforación de taladros, se realiza una descripción detallada de todas las características del testigo de perforación. Luego se procede a hacer una base de datos en la que se ingresa ordenadamente toda la información en el programa de **Gemcom** de una manera bien estructurada, creando campos para los ensayos de leyes, tipos de roca, gravedad específica, RQD, ensambles y/o tipos de alteración, ensambles y/o tipos de mineralización, rock hardness index y cualquier otro dato adicional que se considere conveniente.

Toda la información se traslada al software de **MineSight** para iniciar el procesamiento y ejecución del Modelamiento.

Primeramente se produce un juego de secciones verticales en una dirección preferencial a una distancia regular en las que se debe incluir la topografía original, y la topografía actual, los taladros diamantinos y los datos o información que se desea modelar.

La malla de perforación en Cuajone tiene una dirección de N94.35°s de azimut y las líneas de las secciones se separan cada 60.00 m. una de otra y están nombradas por códigos de letras (Ej. A-A', P-P' CC-CC'). Perpendicular a las líneas de sección anteriores se tiene otro set de líneas de secciones separadas también cada 60.00 m. una de otra que están nombrados por códigos de números (Ej. 1-1', 20-20', 45-45'). Todas las secciones se consideran mirando al Norte y Este respectivamente.

El área de influencia para la confección de las secciones geológicas es de 30.00 m. a cada lado de la línea de la malla de perforación, de tal forma que se pueda abarcar la interpretación de todos los taladros perforados.

Las secciones se van interpretando, utilizando el criterio geológico. Por

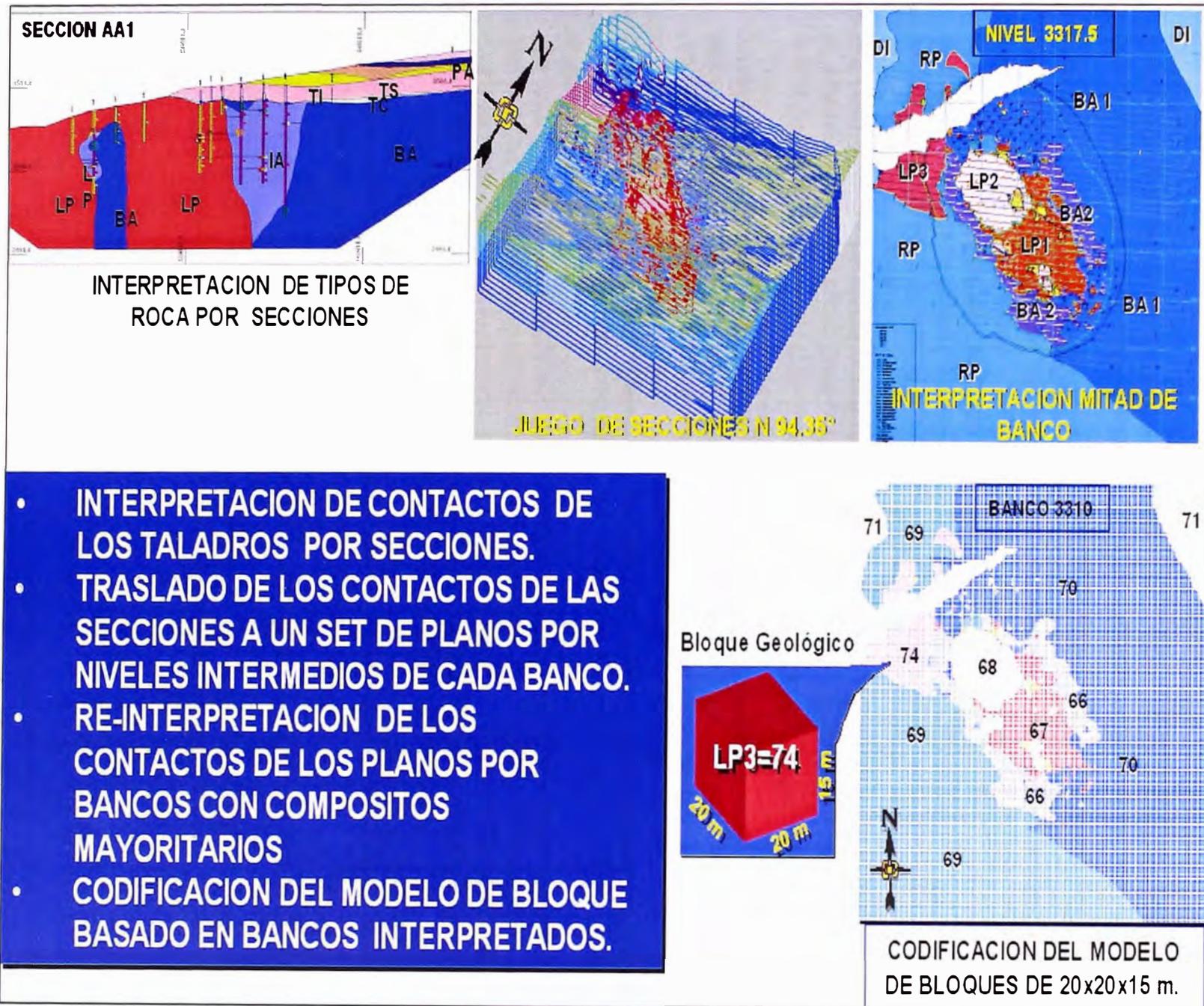


Gráfico 5.1-1 Metodología de interpretación Geológica y modelamiento de Bloques Geológicos.

ejemplo, si lo que se desea es la interpretación de rocas, se contornean los diferentes tipos de rocas de acuerdo a la información que se tiene tanto de la perforación como de superficie.

Después de interpretar todas las secciones, se proceden a ingresar la información al **MineSight** (Software Minero) por intermedio de un digitalizador creando archivos **VBM** para cada una de las secciones.

Una vez terminada y corregida la digitalización de las secciones, se procede a correr el programa para crear planos de intersecciones de líneas medias de los contactos por bancos cada 15 m., los cuales se imprimen con sus respectivas topografías (original y actual) y se incluyen también los taladros diamantinos con la variable geológica compositada por mayoría.

Se hace una nueva interpretación utilizando siempre el criterio geológico para contornear nuevamente el modelo que se desea obtener en planta.

Nuevamente se procede a digitalizar estos planos ingresando la información al **MineSight** y creando nuevos archivos **VBM** de los planos en planta cada 15 m.

Una vez terminada y corregida la digitalización de estos niveles, se corre el programa en **MineSight** y se crea el modelamiento por bloques de 20 x 20 x 15 m. en los cuales cada uno de ellos representa un tipo de roca, alteración, mineralización o cualquier otra variable geológica.

Adicionalmente, una vez creado el modelo en **VBM** y por Bloques, éste se puede procesar en el paquete de **Minesight** para una visualización tridimensional.

Es importante la modelización geológica y tenerlo en un sistema electrónico porque es la base para determinar las reservas geológicas y económicas, para el plan de minado a corto plazo y largo plazo, y la automatización de la base de datos geológicos por bloques ya sea de 20 x 20 x Altura de banco para largo plazo y de 10 x 10 x Altura de banco para corto plazo.

Se debe conocer bien la génesis del yacimiento para que el modelo geológico tenga buena consistencia y sea útil su aplicación.

El gráfico 5.1-2 muestra los procesos de cálculos que podemos hacer con el **MineSight** para la evaluación del yacimiento, tal como los controles geológicos electrónicos, la topografía y el modelo de bloques podemos obtener información tridimensional del cuerpo mineralizado.

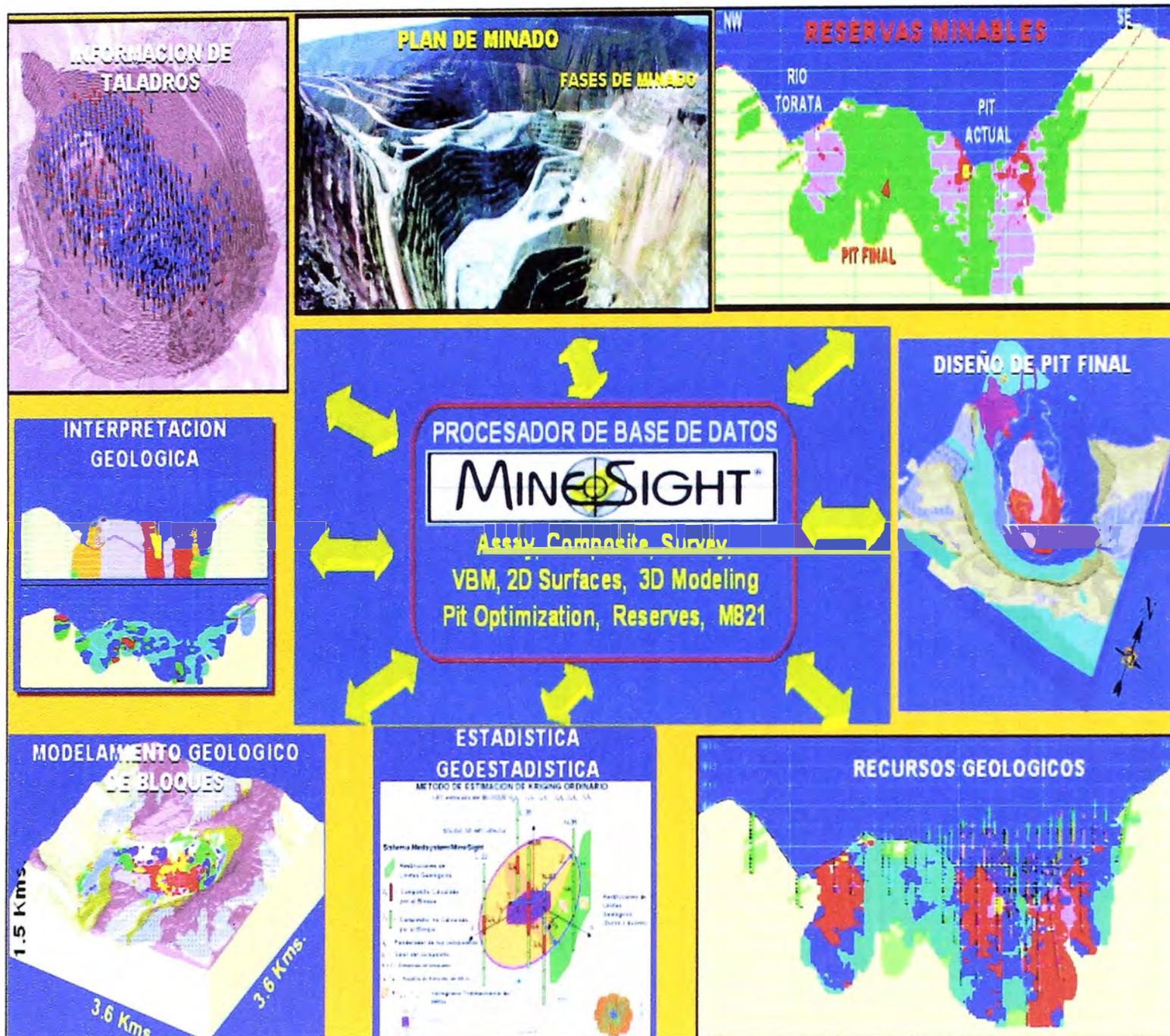


Gráfico 5.1-2 Procesos de cálculos con MineSight para la evaluación del yacimiento de Cuajone

### 5.1.1. MODELO DE ROCA

A través de los años en Cuajone se ha podido diferenciar un total de 29 rocas que han sido reconocidas en superficie y por medio de taladros diamantinos en profundidad.

Se ha tomado en consideración el mapeo geológico actualizado en superficie de los diferentes tipos de roca y 802 logueos de taladros de perforación diamantina que equivalen a 276,290.06 m. de los cuales adicionalmente 87 taladros han sido relogueados para determinar los contactos entre los diferentes pulsos intrusivos de latita porfírica.

Se han interpretado 37 secciones W-E de rumbo N94.35° separadas una de otra cada 60.00 m. que van desde la A-A' hasta la JJ-JJ' y 76 planos por niveles separados uno de otro cada 15.00 m. que van del Nivel 3700 hasta el Nivel 2560.

Estas rocas han sido diferenciadas en rocas preminerales, rocas intrusivas y rocas postminerales y codificadas de acuerdo al cuadro 5.1.1-1.

Una vez obtenido el contorneo de los diferentes contactos de las diferentes rocas que se han determinado en las secciones y en los planos por niveles, se ha procedido a ingresar esta información en forma electrónica por medio de un digitalizador, con el sistema de Minesight se procede a crear un modelo de bloques que en el caso de Cuajone es de 20 x 20 x 15 m., como unidad, según el proyecto se tiene una matriz tridimensional de 190x190x100 bloques.

Los controles geológicos por tipos de roca tridimensional se pueden apreciar en el gráfico 5.1.1-1 y el gráfico 5.1.1-2, donde las rocas favorables para la mineralización económica con el modelo de bloques podemos cuantificarlo según las fases de minado o el plan de minado a corto o largo plazo. En el cuadro 5.1.1-2 se puede apreciar el porcentaje de material por tipo de roca que va ir a la concentradora durante la vida de la mina.

ROCA	COD.	% MATERIAL	TCUK %	MOK %
Latita Porfírica 1	67	40.34	0.650	0.023
Andesita Basáltica	70	36.41	0.600	0.018
Andesita Basáltica Alterada	66	19.34	0.743	0.020
Brecha Mineralizada	77	2.04	0.695	0.025
Riolita Porfírica	69	1.02	0.529	0.016
Brecha Marginal	82	0.75	0.563	0.022
Latita Porfírica 2	68	0.10	0.500	0.007
<b>TOTAL</b>		<b>100</b>	<b>0.649</b>	<b>0.020</b>

**Cuadro 5.1.1-1 Distribución de roca mineralizada.**

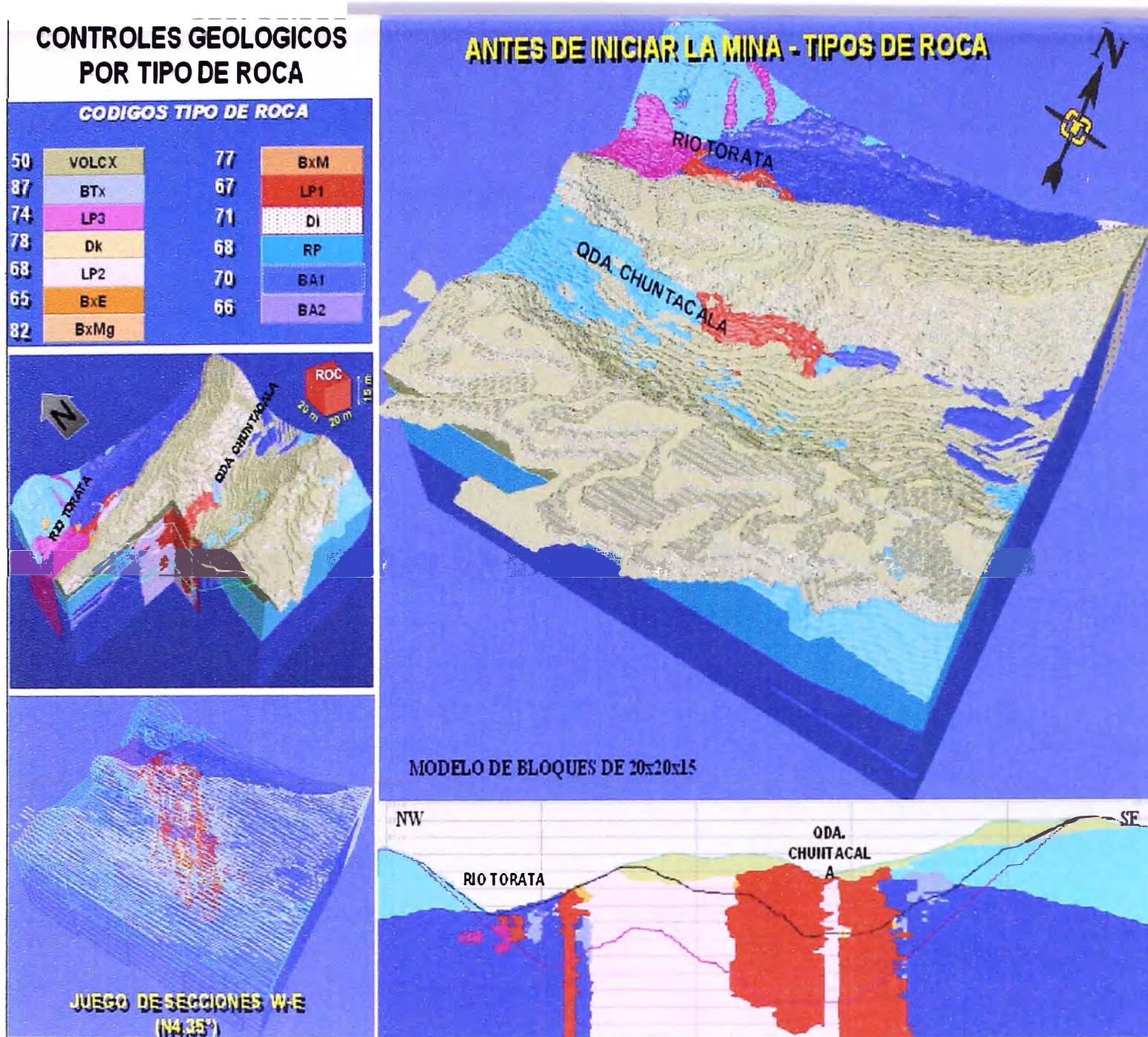


Gráfico 5.1.1-1 Controles geológicos por tipo de roca: Modelo tridimensional, antes de iniciar la Mina Cuajone

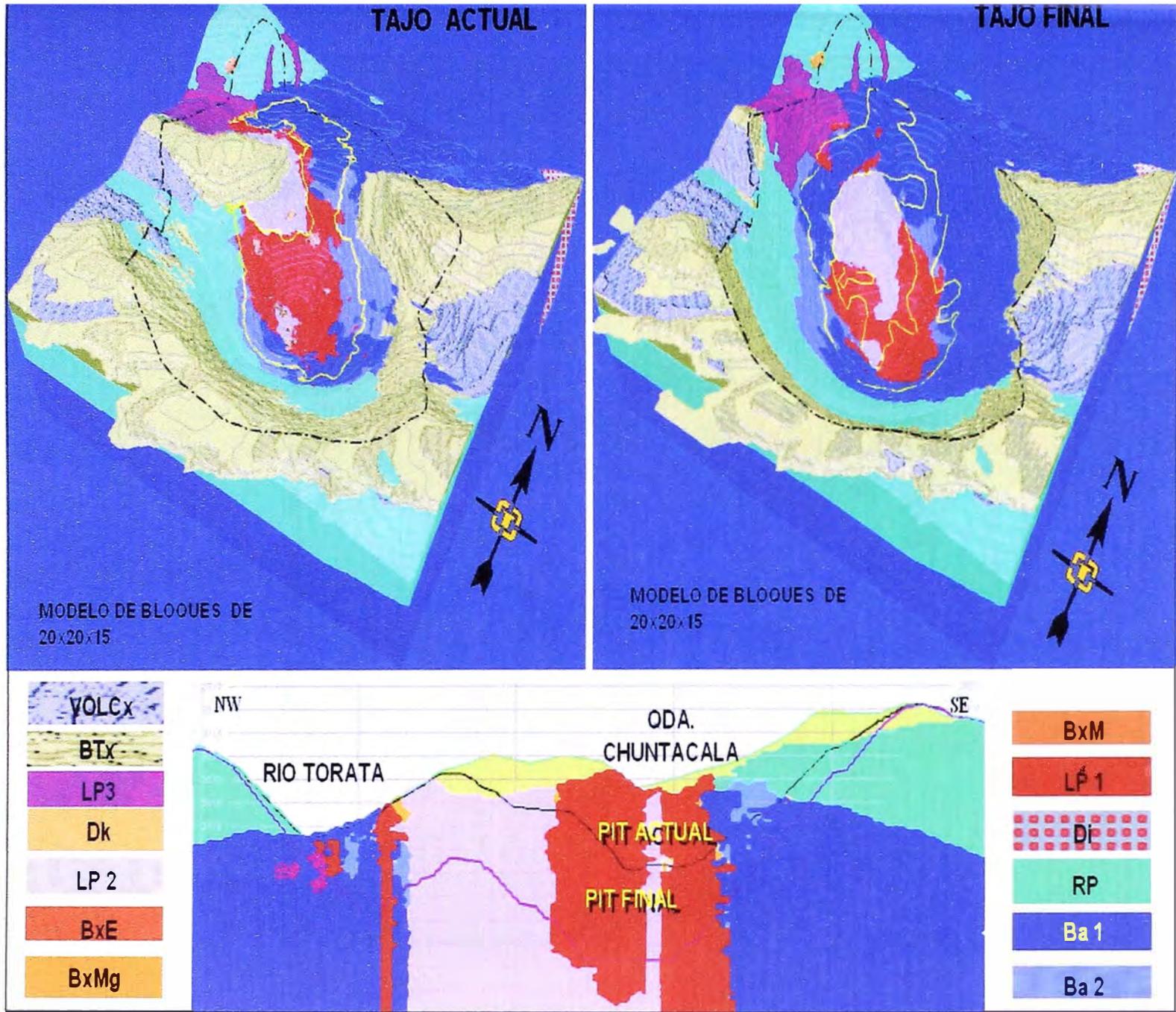


Gráfico 5.1.1-2 Controles geológicos por tipo de roca: Modelo tridimensional, tajo actual y tajo final- Mina Cuajone

Geología y Génesis de Cuajone

Tipo de Roca	Símbolo	Código	Clasificación
Botaderos	Btx	87	
Material Aluvial	AL	51	Post Mineral
Pórfido Andesítico	PA	84	Post Mineral
Aglomerado Superior	AS	52	Post Mineral
Toba Superior	TS	53	Post Mineral
Aglomerado Inferior	AI	54	Post Mineral
Toba Inferior	TI	55	Post Mineral
Toba Cristal	TC	56	Post Mineral
Conglomerado Basal	CB	57	Post Mineral
Conglomerado Verde/Amarillo	CV/CA	60	Post Mineral
Aglomerado Tobáceo	AT	58	Post Mineral
Toba Blanca	TB	59	Post Mineral
Aglomerado Gris	AG	63	Post Mineral
Conglomerado Traquítico	CTR	88	Post Mineral
Traquita	TR	61	Post Mineral
Vitrófiro/Toba Salmón	VT/TS	62	Post Mineral
Conglomerado Riolítico	CR	64	Post Mineral
Latita Porfirítica 3	LP3	74	Intrusiva
Dique	DK	78	Intrusiva
Brecha Estéril	BXE (< 0.10% Cu)	65	Intrusiva
Brecha Marginal	BXMg (0.10 a 0.40% Cu)	82	Intrusiva
Brecha Mineralizada	BXM (> 0.40% Cu)	77	Intrusiva
Latita Porfirítica 2 (BLP)	LP2	68	Intrusiva
Latita Porfirítica 1	LP1	67	Intrusiva
Diorita	DI	71	Intrusiva
Dolerita	DO	90	Pre Mineral
Riolita Porfirítica	RP	69	Pre Mineral
Andesita Basáltica	BA1	70	Pre Mineral
Andesita Intrusiva	BA2	66	Pre Mineral

**Cuadro 5.1.1-1 Codificación de tipos de Roca para el modelo de bloques.**

### 5.1.2. MODELO DE ALTERACIONES

Se tienen determinados ocho diferentes tipos de alteración que han sido seleccionados basados principalmente en los minerales de alteración predominantes que ocurren en los diferentes tipos de roca.

La interpretación del modelo de alteración fue confeccionada el año 2,000 y se ha realizado sobre la base de 37 secciones transversales separadas una de la otra cada 60.00 m. que van desde la A-A' hasta la JJ-JJ' y 76 planos por niveles separados uno de otro cada 15.00 m. que van desde el Nivel 3700 hasta el Nivel 2560.

Se han considerado 713 taladros de perforación diamantina que equivalen a 239,637 m. y el mapeo de superficie. El contorneo de las diferentes alteraciones en las secciones transversales y en los planos por niveles, se han ingresado electrónicamente digitalizándolas para que con el sistema de Minesight se procede a hacer el modelo de bloques de 20 x 20 x 15 m.

La codificación de los principales tipos de alteración de Cuajone se muestra en el cuadro 5.1.2-1.

Tipo de Alteración	Símbolo	Código
Sin Alteración	VOLCX	300
Propilítica	PROP	301
Propilítica – Fílica	PFIL	305
Argílica Supérgena	ARGS	303
Argílica – Fílica	AFIL	304
Fílica	FIL	306
Fílica – Potásica	FPTK	307
Potásica	PTK	309
Botaderos	BTX	310

**Cuadro 5.1.2-1 Codificación de tipos de Alteración para el modelo de bloques**

Los controles geológicos por tipos de alteración tridimensional se pueden apreciar en el gráfico 5.1.2-1 y el gráfico 5.1.2-2.

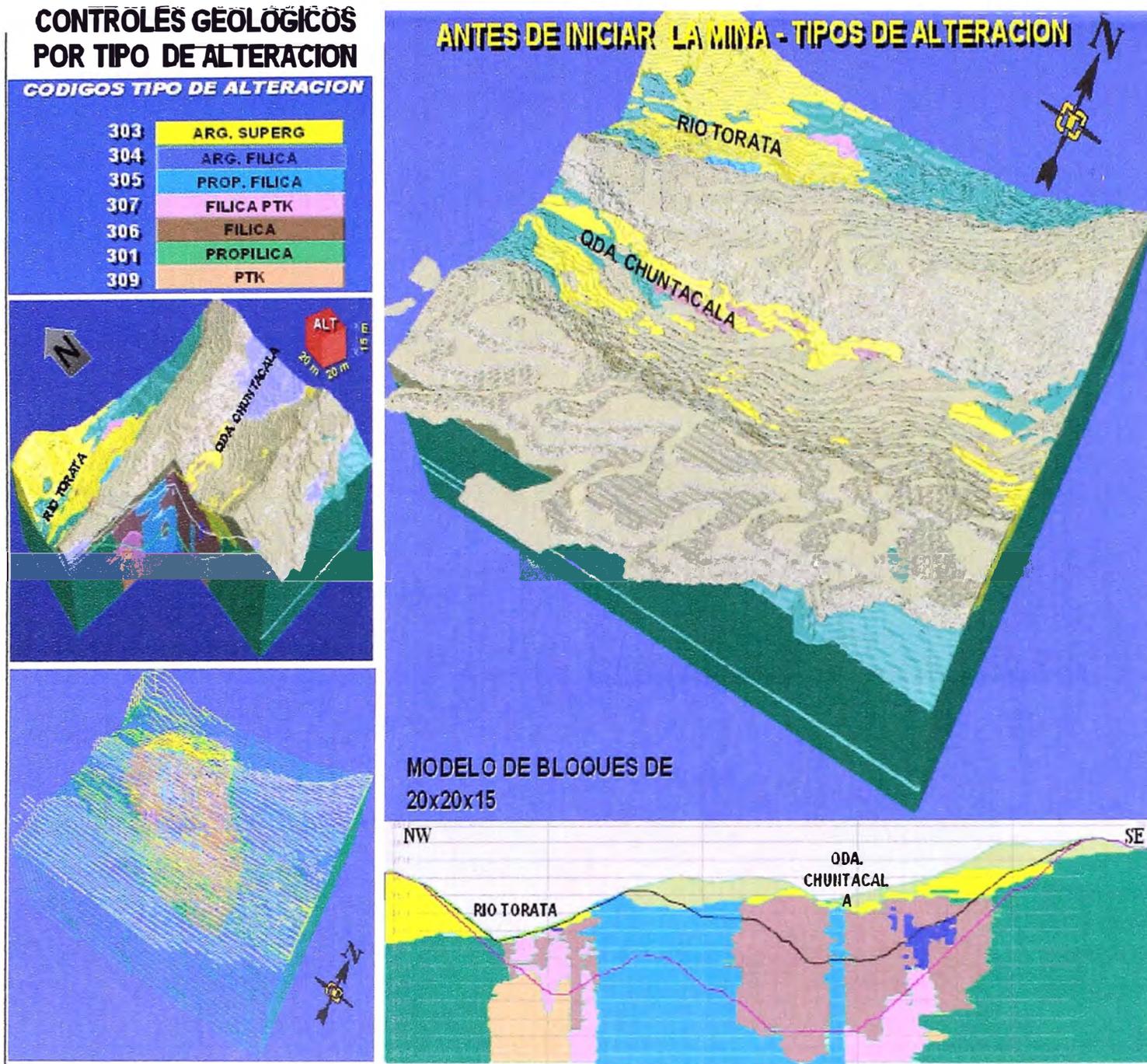


Gráfico 5.1.2-1 Controles geológicos por tipo de alteración: Modelo tridimensional, antes de iniciar la Mina Cuajone

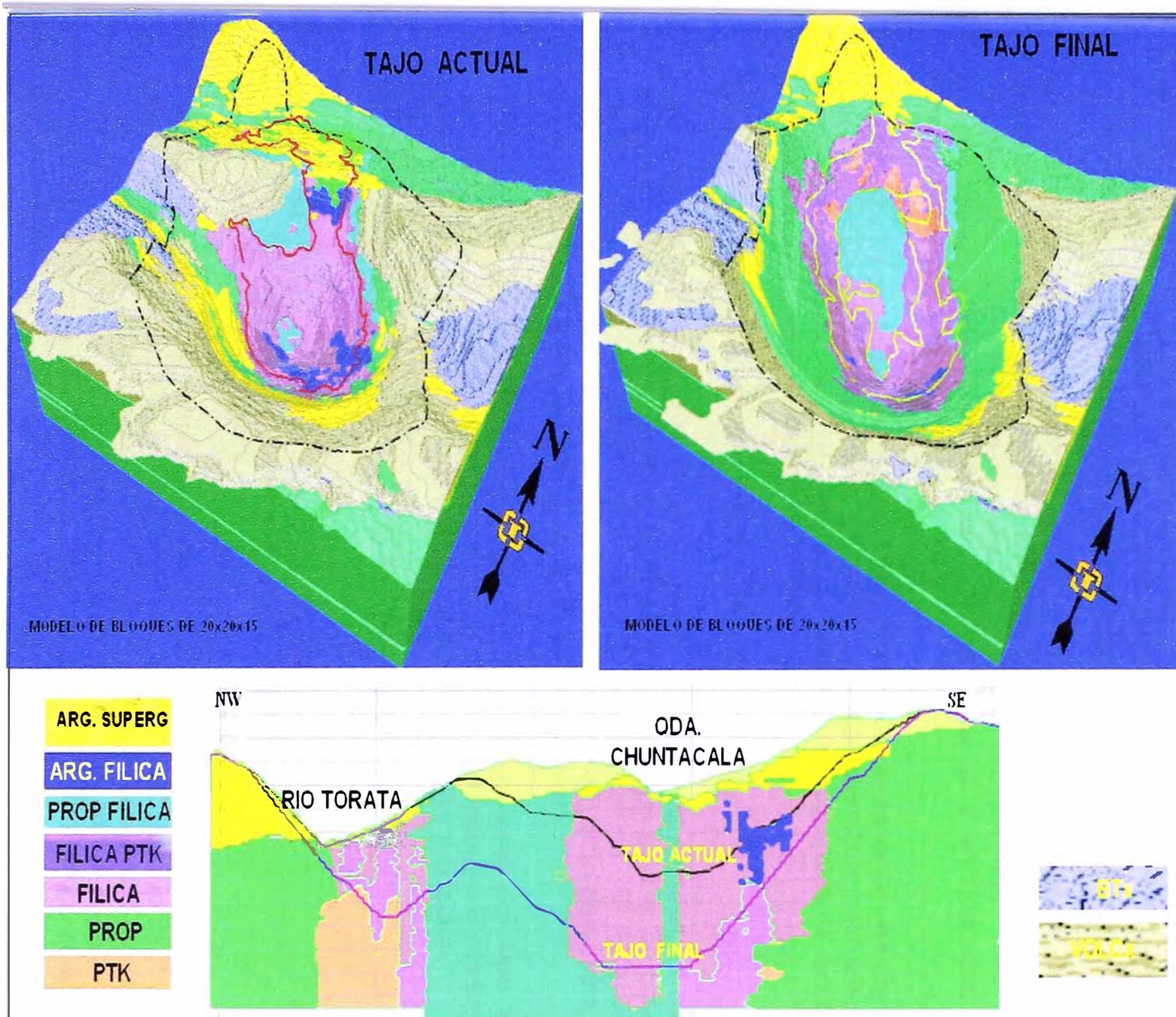


Gráfico 5.1.2-2 Controles geológicos por tipo de alteración: Modelo tridimensional, tajo actual y tajo final - Mina Cuajone

### 5.1.3. MODELO DE MINERALIZACIÓN

La interpretación de la Mineralización en Cuajone, anteriormente se realizaba cualitativamente de acuerdo a la ocurrencia de minerales que el geólogo podía detectar en las muestras de cores y/o en la superficie de la mina.

Los diferentes tipos de Mineralización se definían principalmente por la preponderancia de la ocurrencia de minerales que son distintivos de la zona de lixiviación, zona de óxidos, zona de sulfuros enriquecidos, zona de sulfuros transicionales (presencia de sulfuros primarios y enriquecidos), y zona de sulfuros primarios.

Actualmente es posible cuantificar los diferentes tipos de minerales mediante el análisis químico del laboratorio en donde se puede identificar mediante el ensaye de cobre secuencial la cantidad o porcentaje de minerales de óxidos, sulfuros enriquecidos y sulfuros primarios de cobre.

#### 5.1.3.1. MODELO DE ÍNDICE DE SOLUBILIDAD

Este concepto es usado por diversas minas en el ámbito mundial, el cual relaciona el contenido de cobre soluble en ácido sulfúrico más la de cobre soluble en cianuro de sodio con respecto al cobre total. El %CuSAc determina el contenido de óxido de cobre, mientras el %CuSCn determina el contenido de mineral enriquecido (principalmente calcosita).

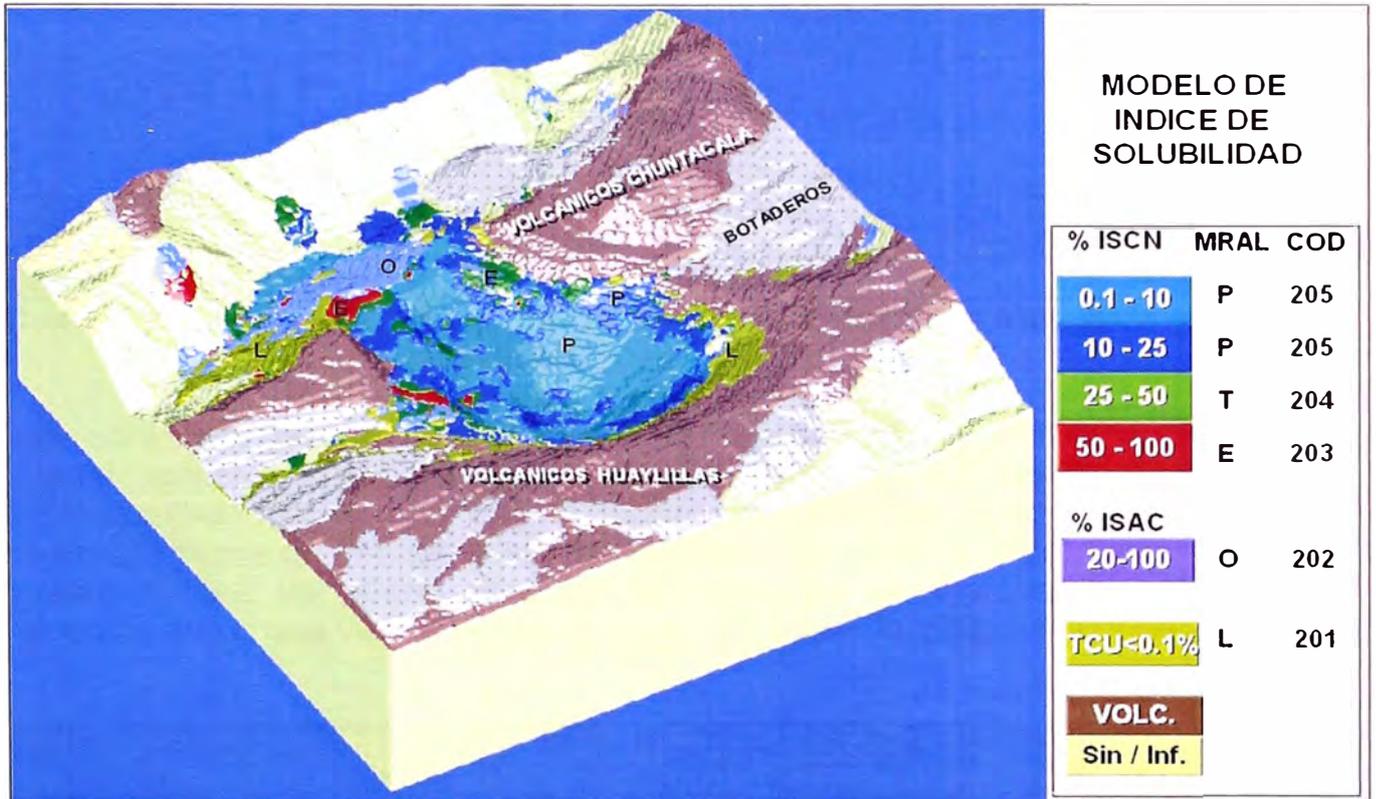
El índice de solubilidad nos permite clasificar el mineral por tipo de mineralización, así mismo, es utilizado como una variable independiente en el modelo de recuperación de los procesos de concentración y lixiviación.

Sus fórmulas están dadas por:

$$\%ISAC = \frac{\%CuSAc * 100}{\%CuT} \qquad \%ISCN = \frac{\%CuSCn * 100}{\%CuT}$$

Donde: %CuSAc = Cu soluble en ácido sulfúrico  
%CuSCn = Cu soluble en cianuro de sodio  
%CuT = Cu Total

Para la clasificación de la mineralización, la zona de óxidos está conformada por el ISAC mayor al 20%, la zona enriquecida por el ISCN mayor a 50%, la zona primaria el ISCN menor a 25%, y la zona transicional variando entre 25% a 50% de ISCN. Se considera sulfuro primario a todo el material que tiene un porcentaje de cobre residual mayor a 75% del cobre total. Ver gráfico 5.1.3.-3



**Gráfico 5.1.3.-3 Modelo de bloques de índice de solubilidad ácida (%ISAC) y cianurada (%ISCN), se relaciona en forma cuantitativa con la mineralización primaria (P) y supérgena (O, E, T)**

Para poder determinar las leyes de CuSAc, CuSCn y Cu residual fue necesario enviar nuevamente muestras al laboratorio para que determinen estos valores en forma secuencial. Los medios cores de perforación diamantina con que se disponía, se tenían que utilizar prioritariamente en las pruebas metalúrgicas por lo que se optó por enviar muestras de “Granza” representativas del yacimiento que se tenían disponibles en los diferentes depósitos de muestras del departamento de geología.

Todos los datos obtenidos han sido debidamente ploteados en 37 secciones transversales y 76 planos por niveles que después de su respectivo contorno han permitido obtener el modelo de Mineralización actualizado el cual se ha digitalizado e ingresado electrónicamente en el sistema de Minesight y luego se procede hacer el modelo de bloques de 20 x 20 x 15 mts.

La codificación para las diferentes zonas de Mineralización en Cuajone se muestra en el Cuadro 5.1.3-1.

## Geología y Génesis de Cuajone

Mineralización	Símbolo	Código	Cu Total	CuSAc	CuSCn	Cu Resid.
Leach Capping	L	201	< 0.10%			
Oxidos	O	202	> 0.10%	> 20%		
Enriquecido	E	203	> 0.10%		> 50%	
Transicional	T	204	> 0.10%		25 a 50%	
Primario	P	205	> 0.10%	<=20%	<25%	75%
Desmante	WP	206	< 0.10%			

**Cuadro 5.1.3-1 Codificación de zonas de Mineralización para el modelo de bloques**

Los controles geológicos por zonas de mineralización tridimensional se pueden apreciar en el gráfico 5.1.3-1 y el gráfico 5.1.3-2. De igual modo la mineralización económica con el modelo de bloques puede cuantificarlo según las fases de minado o el plan de minado a corto o largo plazo. En el cuadro 5.1.3-2 se puede apreciar el porcentaje de material por tipo de mineralización que va ir a la concentradora durante la vida de la mina.

MINERALIZ.	COD	% MATERIAL	TCUK	MOK	CUSAC	CUSCN	ISAC	ISCN	INSOL
			%	%	%	%	%	%	%
PRIMARIO	205	96.35	0.649	0.021	0.019	0.049	3.05	7.75	89.20
TRANSICIONAL	204	2.87	0.644	0.015	0.033	0.170	5.37	26.33	68.30
ENRIQUECIDO	203	0.78	0.612	0.015	0.062	0.297	10.25	49.02	40.74
TOTAL		100	0.649	0.021	0.020	0.054	3.17	8.61	88.22

**Cuadro 5.1.3-2 Distribución de zonas de mineralización.**

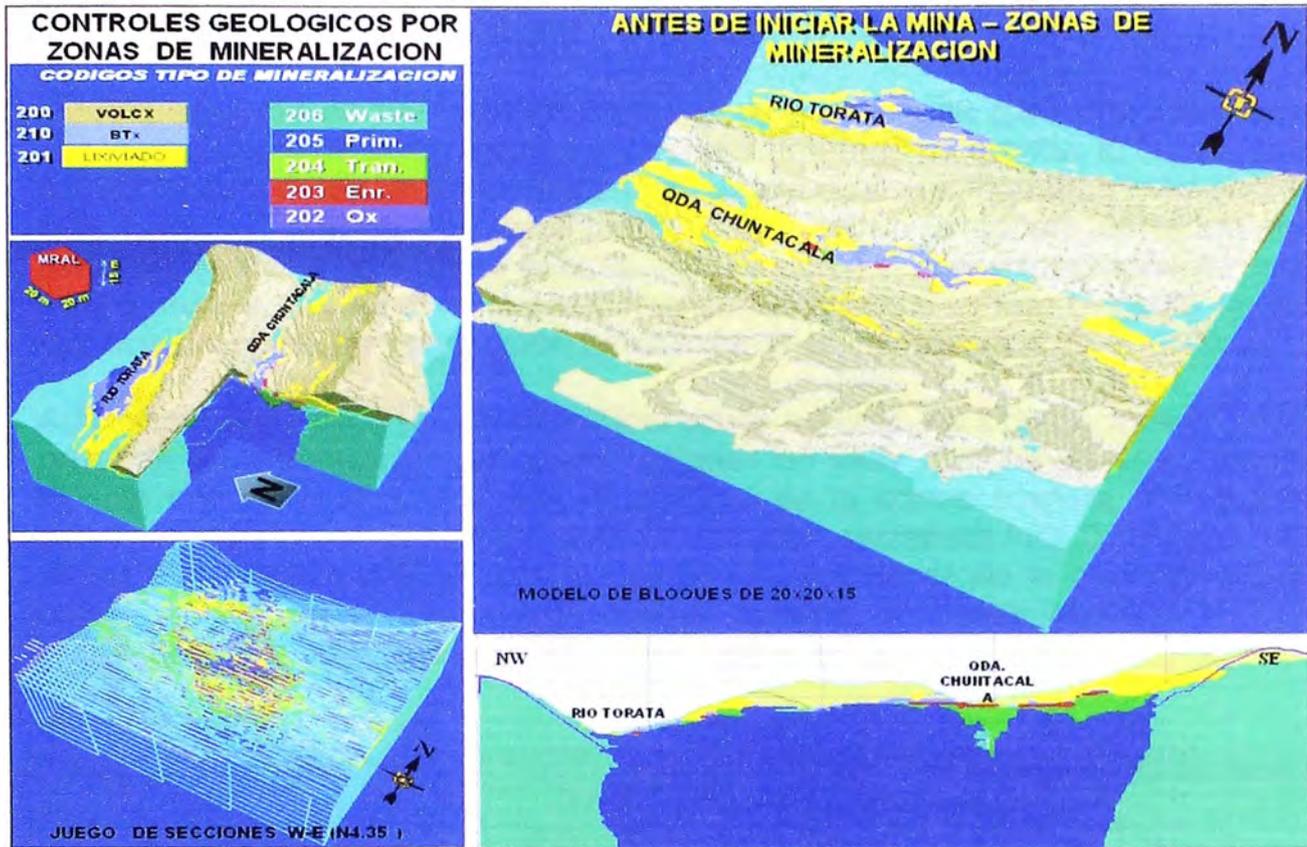


Gráfico 5.1.3-1 Controles geológicos por zonas de mineralización: Modelo tridimensional, antes de iniciar la Mina Cuajone

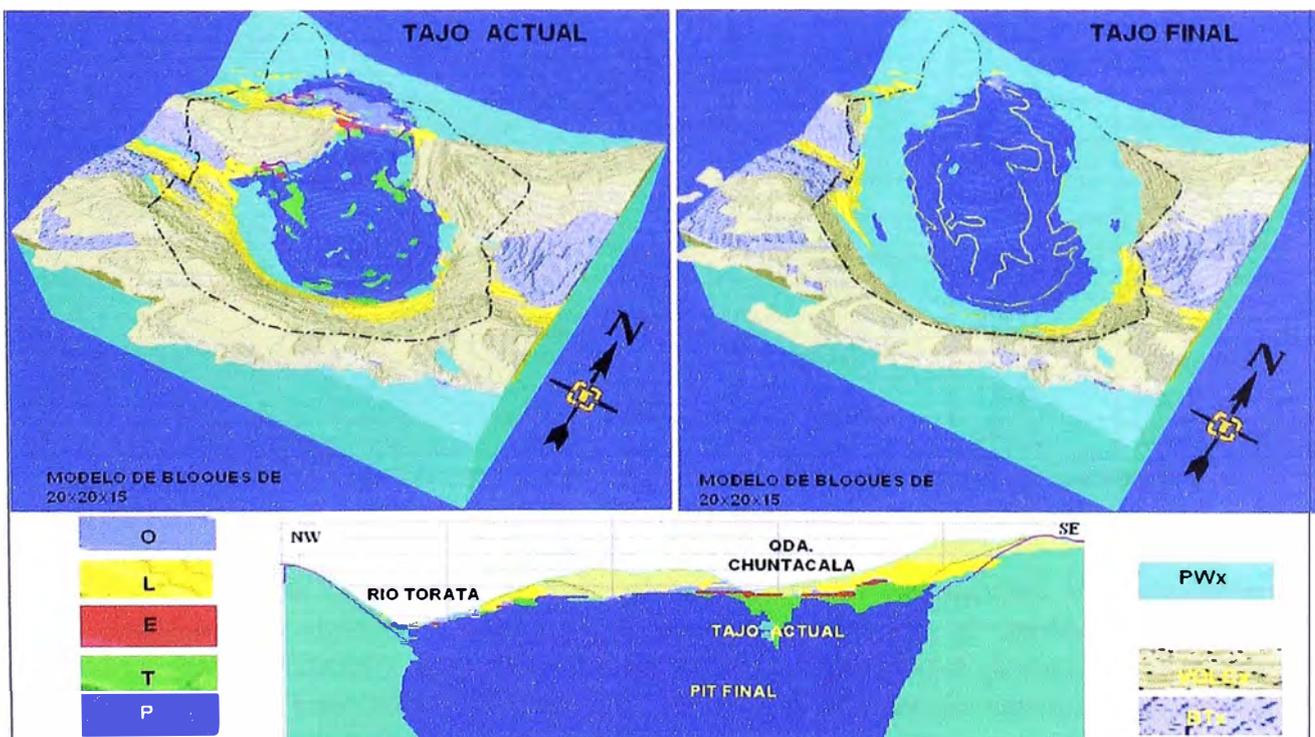


Gráfico 5.1.3-2 Controles geológicos por zonas de mineralización: Modelo tridimensional, tajo actual y tajo final - Mina Cuajone

#### 5.1.4. MODELO DE DUREZAS

Geológicamente es posible diferenciar la dureza de una roca principalmente por la presencia de sílice o cuarzo y por el contenido de arcillas lo cual puede ser corroborado con pruebas físicas de rayado de éstas muestras mediante la uña, navaja o golpes de martillo clasificándolas en la escala de Mohs con variaciones del 1 al 7 (más blando al más duro) o con variaciones de muy suave, suave, duro y muy duro. Estas apreciaciones se han descrito en los logueos de cores de perforación diamantina y en los mapeos de superficie.

Adicionalmente, para poder cuantificar esas durezas, ha sido necesario hacer pruebas en laboratorio para poder asignar un valor que tenga una relación directa con el Work Index que se obtiene en la concentradora, ver gráfico 5.1.4-1. Estas pruebas se han realizado con la contratista Allis Chalmers, con el martillo Smith y con el método de Bruce and Berry en la concentradora; obteniéndose así 15 valores de dureza o Rock Hardness Index (R.H.I) en todas las rocas mineralizadas de Cuajone, ver cuadro 5.1.4-1.

Roca / Alteración	Símbolo	Código (R.H.I)	Clasificación
BA Argílica	BA-ARG	8.0	Muy Suave
IA Argílica	IA-ARG	9.0	Suave
LP Qz-Sericita	LP-QS	9.9	Suave
BA Qz en venas	BA-QV	10.0	Suave
RP Silicificación	RP-S	11.0	Dura
BA Débilmente fresca	BA-DF	11.5	Dura
IA Fílica Propílica	IA-FP	11.6	Dura
LP Mod. Silicificada	LP-MS	11.7	Dura
Brecha	BX	11.7	Dura
IA Qz Pervasivo	IA-QP	12.0	Muy Dura
IA Estruct. Ret. Qz	IA-ESRQ	12.5	Muy Dura
BA Fresca	BA-F	13.0	Muy Dura
LP Estruct. Ret.QZ	LP-ESRQ	15.2	Muy Dura
LP Fresca	LP-F	15.9	Muy Dura
LP Silicificada	LP-S	16.3	Muy Dura

**cuadro 5.1.4-1 Codificación de tipos de dureza para el modelo de bloques. Para pasar al sistema Minesight debemos multiplicar por 10.**

Todos los datos obtenidos se han ploteado en 37 secciones transversales y 76 planos por niveles después de su interpretación y contorneo tomando como base el modelo de rocas, luego se ha procedido a digitalizar e ingresar la información electrónicamente para que el Sistema de Minesight genere el modelo de bloques de 20 x 20 x 15 m.

## Geología y Génesis de Cuajone

La codificación para los diferentes tipos de dureza que se tiene en Cuajone sin considerar las rocas volcánicas postminerales se muestra en el cuadro 5.1.4-1. Los controles geológicos por tipos de dureza tridimensional se pueden apreciar en el gráfico 5.1.4-2.

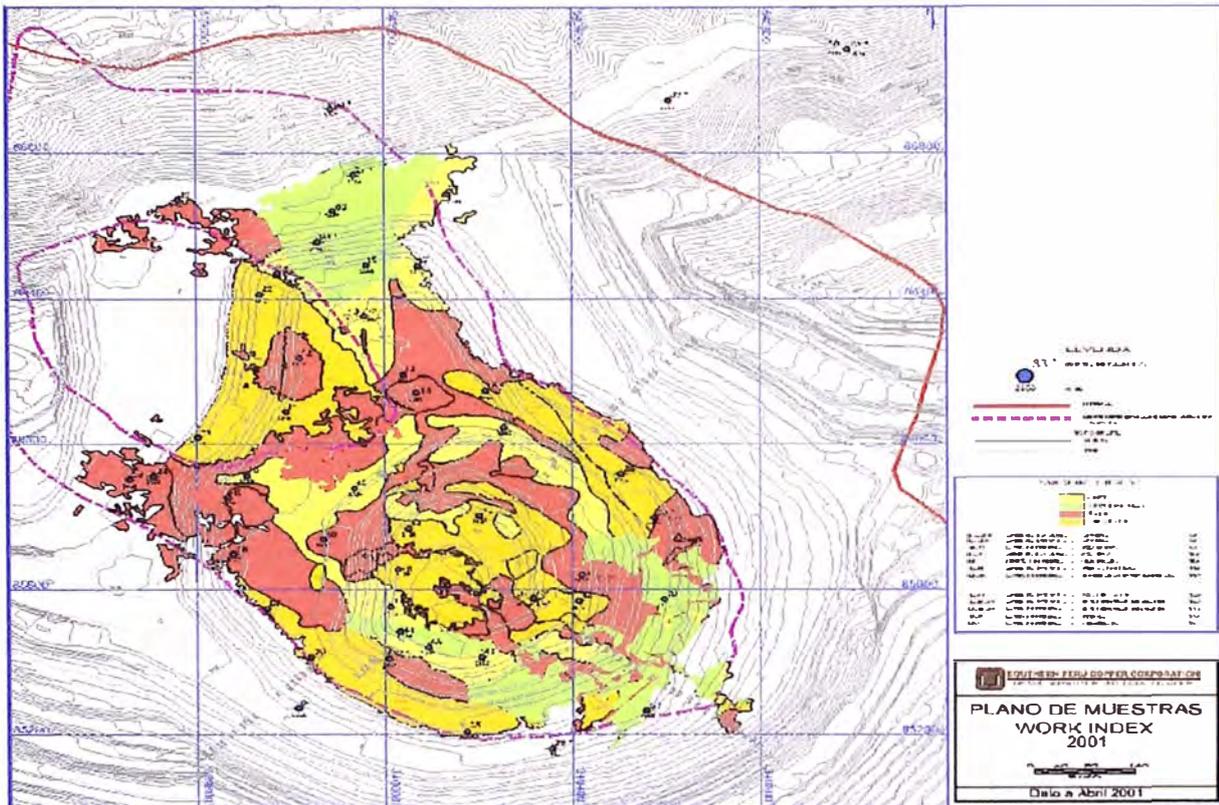


Gráfico 5.1.4-1 Plano de Work Index (tipos de dureza) – Tajo Cuajone



Gráfico 5.1.4-2 Modelo de bloques de Dureza – Mina Cuajone

### 5.1.5. MODELO GEOMETALÚRGICO

El objetivo de la generación del modelo geometalúrgico es determinar zonas geológicas particulares en la mina que tengan alguna implicancia positiva o negativa en el proceso de concentración o de lixiviación, especialmente en lo que concierne a la recuperación para ello, se hicieron todas las combinaciones posibles de los controles geológicos por su tipo de roca, mineralización, dureza y alteración.

#### 5.1.5.1. CRITERIOS DE SELECCIÓN

Se ha tomado los diferentes controles geológicos que tienen implicancia positiva o negativa en el proceso de recuperación así tenemos para la mina de Cuajone los siguientes controles geológicos:

##### 5.1.5.1.1. CONTROL GEOLÓGICO POR TIPO DE ROCA

En la mina Cuajone se tiene seis tipos de roca que se encuentran mineralizadas y cuyo destino final puede ser la concentradora o botaderos de lixiviación, estas son: Latita Porfirítica 1 (LP1 Primer pulso intrusivo), Latita Porfirítica 2 (LP2 marginal o de baja ley, segundo pulso intrusivo), Brecha de Latita (BX), Andesita Basáltica (BA1 y BA2) y Riolita Porfirítica (RP). Ver gráfico 5.1.5.1.1-1 donde se muestra el modelo de bloques tridimensionales de 20x20x15 metros.

##### 5.1.5.1.2. CONTROL GEOLÓGICO POR TIPO DE ALTERACIÓN

Las principales alteraciones que han podido ser determinadas mediante mapeos superficiales y logueos de taladros diamantinos son las siguientes: Ver gráfico 5.1.5.1.1-1

**Alteración Potásica (PTK).** Ha sido reconocida mediante taladros diamantinos en la que se puede observar principalmente biotita secundaria muy fina, magnetita en venillas y también diseminada, cloritas, venillas con feldespato potásico y ocasionalmente anhidrita.

**Alteración Propílica (PROP).** Se encuentra mayormente en los márgenes del cuerpo mineralizado y se le puede diferenciar por la presencia de abundante pirita, epidota, calcita y clorita.

**Alteración Filica (FIL).** Resulta de un proceso retrógrado en el que las soluciones hidrotermales comienzan a enfriarse entre los 500 y 100 °C. La asociación de minerales característica es cuarzo, sericita y pirita y como accesorios se tiene a la clorita, illita y biotita secundaria.

**Alteración Fílica-Potásica (FPTK).** Resulta de una superposición de la alteración fílica sobre la potásica. Los principales constituyentes vienen a ser la sericita y el cuarzo que se presenta mayormente en venillas y en las cercanías de fracturas, también se puede observar biotita de grano muy fino secundaria, magnetita, anhidrita y feldespatos potásicos en venillas.

**Alteración Propílica-Fílica (PFIL).** Aparece en los bordes de la alteración fílica en la que se tiene la presencia de sericita, cuarzo, cloritas y muy ocasionalmente epidota. El contenido de pirita es alto.

**Alteración Argílica-Fílica (ARGF)** Resulta de la gradación que existe entre la alteración fílica y la alteración argílica hidrotermal, ha sido determinada mayormente en el borde de la alteración fílica. El ensamble que presenta es pirita, sílice, sericita, caolinita, como accesorio clorita producto de una alteración tardía.

**Alteración Argílica supérgena (ARGS).** Generalmente atribuido a un origen supérgeno sin descartar el origen hidrotermal. Se caracteriza principalmente por la presencia de caolinita, illita, montmorillonita, dickita.

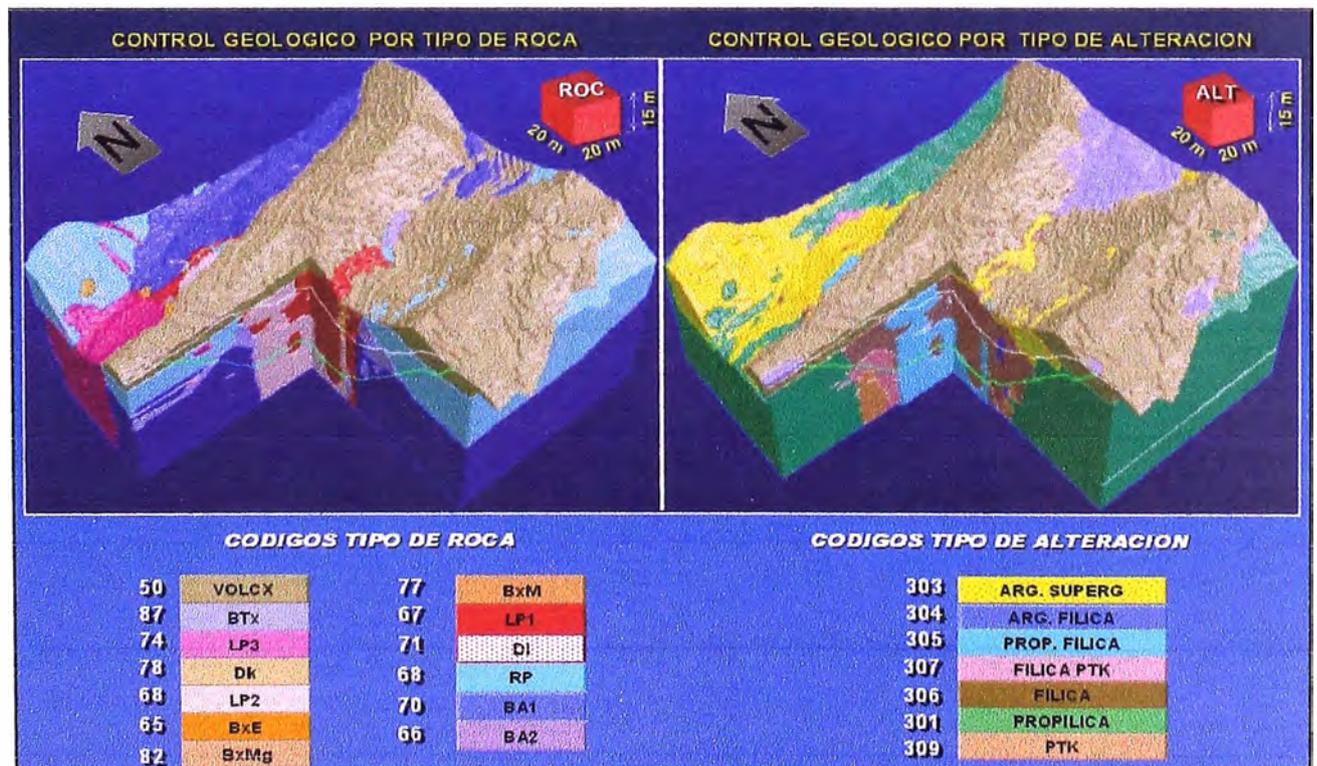


Gráfico 5.1.5.1-1 Modelo de bloques geológico por tipos de roca y alteración.

### 5.1.5.1.3. CONTROL GEOLÓGICO POR ZONAS DE MINERALIZACIÓN

En todo yacimiento existen zonas de mineralización con contenidos de minerales que las caracterizan, así tenemos: Ver gráfico 5.1.5.1.3-1

**Zona lixiviada (L).** Mayormente representada por óxidos de Fe (Limonitas, hematitas) y óxidos de manganeso (Pirolusita).

**Zona de Oxidos (O).** La mineralogía de la zona de óxidos consiste en crisocola, malaquita, chalcantita, Cuprita, Tenorita y Cu nativo.

**Zona Enriquecida (E).** El mineral más representativo de esta zona es la calcosita, existiendo adicionalmente también bornita, digenita y covelita.

**Zona Transicional (T).** Como su nombre lo indica, en esta zona se presentan minerales pertenecientes a la zona enriquecida y a la zona primaria coexistiendo en forma masiva en venillas y fracturas y parcialmente diseminada. Los principales minerales que se observan en esta zona son la calcopirita, calcocita, piritita y bornita.

**Zona Primaria (P).** Mayormente representada por la piritita y calcopirita con algo de bornita, enargita, esfalerita, galena, tetrahedrita y argentita. La zona primaria se constituye como la más importante por que el mayor porcentaje de las reservas de mineral que corresponden a esta zona.

### 5.1.5.1.4. CONTROL GEOLÓGICO POR TIPO DE DUREZAS

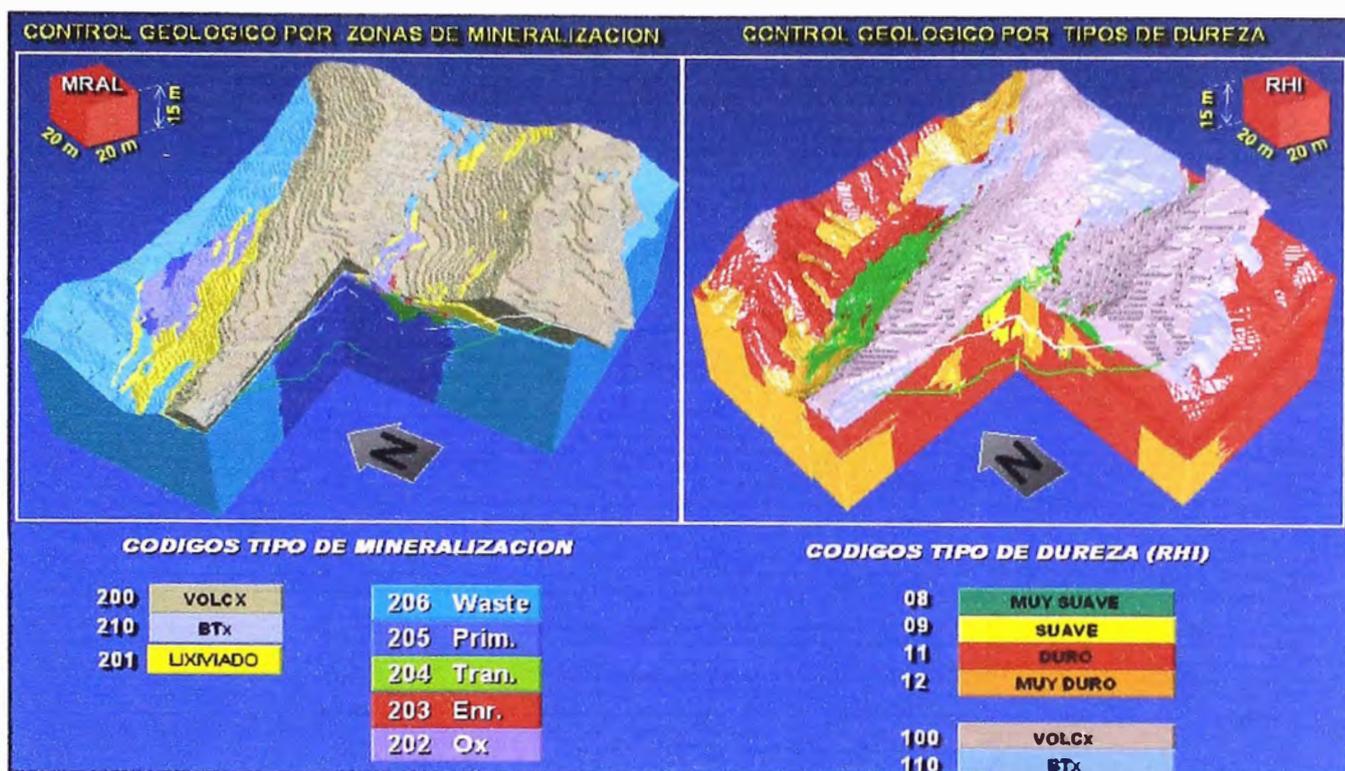
Se tienen diferentes durezas que han sido debidamente modelizadas por mapeos de superficie y por logueos de perforación diamantina. Estas durezas se han agrupado en cuatro principales que son: Ver cuadro 5.1.4-1 y gráfico 5.1.5.1.3-1

**Muy Dura (mD).** Cuando se tienen valores de Rock Hardness Index entre 12 y 16.3.

**Dura (D).** Cuando se tienen valores de Rock Hardness Index que fluctúan entre 11 y 12.

**Suave (S).** Cuando se tienen valores de Rock Hardness Index que varían entre 9 y 11.

**Muy Suave (mS).** Todos los valores de Rock Hardness Index que son menores a 9.



**Gráfico 5.1.5.1.3-1 Modelo de bloques geológico por zonas de mineralización y dureza.**

### 5.1.5.2. DEFINICIÓN DE LAS ZONAS GEOMETALÚRGICAS

Para poder definir los límites tridimensionales de las zonas geometalúrgicas ha sido necesario utilizar el modelo de bloques de 20 x 20 x 15 metros al que se le adicionan condicionantes de tipo de roca, alteración, mineralización y durezas para determinar la proporción de la caracterización propuesta en el yacimiento ya sea para 15 años o para toda la vida de la mina. En el gráfico 5.1.5.2-1 se puede apreciar la definición de los criterios que se tomaron en cuenta para las caracterizaciones de las zonas geometalúrgicas.

### 5.1.5.3. ZONAS GEOMETALÚRGICAS MINA CUAJONE

En el cuadro 5.1.5.3-1 se aprecia la conformación de las principales zonas y su implicancia en volumen con respecto a las reservas minables que se van a enviar a Concentradora durante los próximos 15 años. En total se han obtenido 30 caracterizaciones geometalúrgicas, las 5 primeras zonas tienen

Criterios de Selección	Agrupamiento
• Tipo de Roca	LP1-BX, BA1-BA2, RP, LP2
• Tipo de Mineralización	T-E, OX, P.
• Tipo de Alteración	PTK, PROP, FIL, FPTK, PFIL, ARGF
• Durezas	mS, S, D, mD
<b>Procedimiento</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se define el plan de minado para 15 años.</li> <li>• Se utiliza el Modelo de bloques al que se le adiciona condicionantes de Tipo de Roca, Alteración, Mineralización y Dureza.</li> <li>• Se selecciona los porcentajes más representativos (Caracterizaciones).</li> <li>• Se contornea y digitaliza.</li> </ul>	

**Gráfico 5.1.5.2-1 Definición de las caracterizaciones de las zonas geometalúrgicas**

una significancia del 91.75%, razón por la cual, se decidió evaluar prioritariamente estas zonas, para el modelo predictivo de recuperación metalúrgica de cobre en la concentradora.

En el gráfico 5.1.5.3-1 se aprecian las zonas geometalúrgicas de la mina, para poder definir los límites tridimensionales, ha sido necesario utilizar el modelo de bloques de 20x20x15 metros al que se le adicionaron condicionantes como tipos de roca, alteración, mineralización y dureza. Ver cuadro 5.1.5.3-2

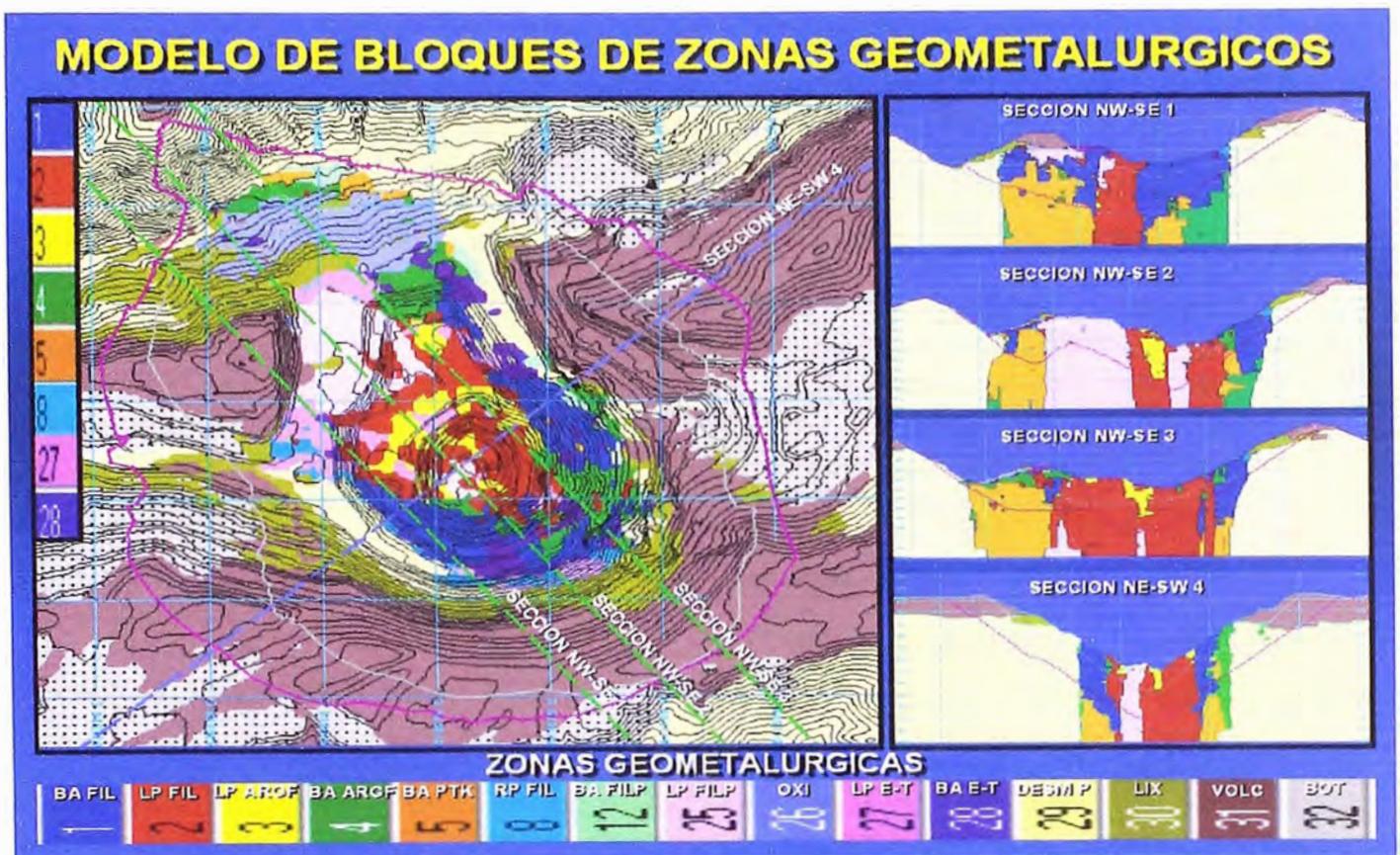
Geología y Génesis de Cuajone

ITEM	ZONAS GEOMETALURGICAS		LEY DE CORTE = 0.30			
	ZNGME	NOMENCLATURA	TONELAJE TM	TCU %	%TCU >= 0.30	
					%	% ACUM
1	2	LPBX-P-FIL-DmD	179,343,605	0.65	32.11	32.11
2	1	IABA-P-FIL-DmD	149,695,836	0.65	26.80	58.90
3	4	IABA-P-ARGF-SmS	87,852,876	0.66	15.73	74.63
4	3	LPBX-P-FIL-SmS	55,658,425	0.67	9.96	84.59
5	5	IABA-P-FPTK-DmD	39,957,962	0.51	7.15	91.75
6	24	BA1BA2-ET-ARGF-SmS	6,341,942	0.65	1.14	92.88
7	7	LPBX-ET-FIL-DmD	6,275,593	0.71	1.12	94.01
8	10	BA1BA2-ET-FIL-DmD	5,857,669	0.58	1.05	95.06
9	9	RP-ET-FIL-DmD	5,049,252	0.43	0.90	95.96
10	11	LPBX-ET-FIL-SmS	4,252,882	0.59	0.76	96.72
11	14	LPBX-P-FPTK-DmD	3,668,225	0.51	0.66	97.38
12	13	BA1BA2-P-PROPF-DmD	3,656,356	0.35	0.65	98.03
13	28	BX-ET-FIL-DmD	2,865,739	0.50	0.51	98.54
14	21	BLP-ET-PROPF-DmD	2,666,296	0.37	0.48	99.02
15	12	BA1BA2-P-PROP-DmD	1,872,886	0.34	0.34	99.36
16	8	RP-P-FIL-DmD	1,098,483	0.38	0.20	99.55
17	30	ALL-P-ALL-ALL	1,094,903	0.56	0.20	99.75
18	29	ALL-ET-ALL-ALL	566,086	0.46	0.10	99.85
19	25	LP2-P-PFIL-DmD	202,251	0.43	0.04	99.89
20	18	LPBX-ET-ARGS-SmS	159,419	0.49	0.03	99.92
21	17	BA1BA2-ET-FPTK-DmD	150,031	0.52	0.03	99.94
22	6	BA1BA2-P-FPTK-SmS	129,120	0.62	0.02	99.97
23	23	RP-ET-ARGS-DmD	113,042	0.35	0.02	99.99
24	15	RP-P-PROP-DmD	56,651	0.39	0.01	99.996
25	19	LPBX-P-FPTK-SmS	16,140	0.77	0.003	99.999
26	20	LPBX-ET-FPTK-DmD	3,602	0.82	0.001	100.00
<b>TOTAL</b>			<b>558,605,272</b>	<b>0.63</b>	<b>100.00</b>	

Cuadro 5.1.5.3-1 Material que se va enviar a concentradora para los próximos 15 años.

ZONAS GEOMETALURGICAS (ZNGME)								
ITEM	ZNGME	CARACTERISTICAS GEOLOGICAS				MATERIAL A		RECUPERACION
	CODIGO	TIPO DE ROCA	TIPO DE ALTERACION	TIPO DE MINERALIZ.	RANGO DUREZA	CONCENTRADORA TCU>=0.40%	LIXIVIACION 0.06%>TCU<0.40%	RELATIVA DE COBRE
1	1	BA1,BA2	FIL	P	D, mD	SI	SI	Medio/alto
2	2	LP1,BX	FIL	P	D, mD	SI	SI	Alto
3	3	LP1,BX	ARG-FIL	P	S	SI	SI	Bajo/medio
4	4	BA1	ARG-FIL	P	S, mS	SI	SI	Bajo/medio
5	5	BA1	FIL-PTK	P	D, mD	SI	SI	Medio/alto
6	8	RP	FIL	P	D	SI	SI	Medio/alto
7	12	BA1	PROP-FIL	P	D, mD		SI	Lixiviación
8	25	LP2	PROP-FIL	P	D, mD		SI	Lixiviación
9	26			O	S, D		SI	Lixiviación
10	27	LP1,LP2,RP,BX		E-T	S, D	SI	SI	Alto
11	28	BA1,BA2		E-T	S, D	SI	SI	Alto
12	29			WASTE P	D, mD			Lixiviación
13	30			LIXIVIADO	S		SI	Lixiviación
14	31	VOLCANICO						

Cuadro 5.1.5.3-2 Descripción de las Caracterizaciones de las zonas Geometalúrgicas más importantes - Mina Cuajone.



**Gráfico 5.1.5.3-1 Caracterización de las zonas Geometalúrgicas más importantes - Mina Cuajone**

#### 5.1.5.4. DESCRIPCIÓN DE LAS ZONAS GEOMETALÚRGICAS

##### 5.1.5.4.1. Caracterización 1

Andesita (Intrusiva y Basáltica) con alteración fílica en la que predomina una asociación de cuarzo, sericita y pirita y también se tiene la presencia de cloritas, plagioclasas, calcita y/o carbonatos y biotita. En pequeñas proporciones se puede apreciar microscópicamente la presencia de arcillas.

La Mineralización predominante es la Primaria en la que se puede observar principalmente pirita, calcopirita, molibdenita y bornita, muy ocasionalmente se tiene la presencia de esfalerita, galenas, argentitas.

Esta caracterización tiene una dureza moderadamente dura a muy dura y se encuentra en mayor proporción en la Andesita Intrusiva.

#### **5.1.5.4.2. Caracterización 2**

Latita Porfirítica (primer pulso intrusivo) y brecha mayormente conformada por clastos y matriz latítica. Es una roca dura a muy dura con predominante alteración fílica como resultado de un proceso retrógrado de las soluciones hidrotermales observándose en la roca una asociación característica de cuarzo, sericita y piritita y como accesorios se tiene, calcita, clorita, illita y biotita.

La mineralización predominante es la primaria cuyos minerales más representativos son la piritita y la calcopiritita, en menor proporción se tiene la presencia de bornita, esfalerita, galena y molibdenita. Hacia los niveles superiores y en las brechas principalmente se presenta en parte la mineralización secundaria y transicional constituida principalmente por calcocita y bornita.

Esta zona geometalúrgica es la que se enviará en mayor proporción en los siguientes 15 años a la concentradora.

#### **5.1.5.4.3. Caracterización 3**

Latita Porfirítica correspondiente también al primer pulso intrusivo que trajo la mineralización. Es una roca de dureza suave, de alteración predominantemente fílica y en menor proporción argílica. Los constituyentes principales son el cuarzo, presencia de abundante sericita, piritita y menor proporción de caolinita, como accesorio se presenta la clorita, calcita, monacita, apatito, rutilo y zircón.

La Mineralización es predominantemente primaria constituida principalmente por piritita y calcopiritita y hacia los niveles superiores, en afloramientos pequeños se tiene parcialmente una mineralización transicional a Enriquecida constituida principalmente por calcocita, covelita y bornita.

#### **5.1.5.4.4. Caracterización 4**

Andesita (Intrusiva y Basáltica), se presenta predominantemente en la Andesita Basáltica, es una roca de dureza suave a muy suave. La alteración predominante es fílica – argílica cuyos constituyentes principales son cuarzo, sericita, piritita, caolinita, illita, montmorillonita y como accesorios se tiene a la clorita que se encuentra muy esporádicamente. La alteración argílica es muy probable que sea de origen secundario principalmente en las cercanías de los contactos con los volcánicos post minerales en los niveles superiores, sin embargo, no se descarta que también haya alteración argílica de origen hidrotermal en los niveles más profundos.

La mineralización primaria es la de mayor ocurrencia y está representada principalmente por pirita y calcopirita. Ocasionalmente se tiene la presencia de minerales de calcosita, digenita covelita y bornita.

### **5.1.5.4.5. Caracterización 5**

Andesita (intrusiva y basáltica), es una roca dura a muy dura con alteración predominante filica-potásica a potásica. Ha sido mayormente reconocida por medio de taladros diamantinos y se presenta mas cerca de la superficie en el sector Nor Oeste del cuerpo mineralizado. En el sector Sur Este, ésta caracterización se encuentra a mayor profundidad.

En la Andesita Basáltica se caracteriza principalmente por la presencia de biotitas secundarias de grano muy fino, magnetitas en forma diseminada y en venillas, cloritas y ocasionalmente anhidrita. También se puede observar la presencia de arcillas pero en bajas proporciones.

En la Andesita Intrusiva del Sur Este del cuerpo mineralizado, se la ha podido determinar en profundidad en forma de venillas que contienen Feldespato potásico, magnetita y biotita secundaria.

La mineralización es predominante primaria compuesta principalmente de calcopirita y pirita y en menor proporción esfalerita, galena, molibdenita, magnetita y bornita. La mineralización enriquecida y transicional aparecen muy ocasionalmente.

### **5.1.5.4.6. Caracterización 8**

Caracterización representada por la roca premineral extrusiva denominada riolita porfirítica. La dureza es moderadamente dura a dura. La alteración es predominantemente filica con diferentes gradaciones siendo más intensa mientras más cerca de los intrusivos nos encontramos. Los constituyentes principales son la sericita, cuarzo en venillas y en la matriz, pequeñas cantidades de arcillas y calcita mayormente en venillas y alunita.

Este material tiene generalmente leyes inferiores a 0.30 % de Cu. por encontrarse localizada en los bordes del yacimiento por lo que el destino mayoritario de esta caracterización será a los botaderos para lixiviación.

Predomina la mineralización primaria caracterizada por la presencia de pirita, calcopirita y en menores proporciones se tiene bornita, magnetita, molibdenita.

#### **5.1.5.4.7. Caracterización 12**

Andesita basáltica (BA1 y BA2), es una roca dura a muy dura con alteración propilítica–fílica a propílica en la que se tiene como principales constituyentes a la presencia de pirita, sericita, cuarzo, biotita, clorita, magnetita y epidota. Adicionalmente se presenta una alteración argílica débil con presencia de caolinitas.

Esta caracterización ocurre principalmente en los bordes del cuerpo mineralizado y la mineralización predominante es la pirita tanto en venillas como diseminado y los sulfuros de Cu. como la calcopirita se presentan en contenidos bajos generalmente con leyes menores a 0.40 % de Cu, por lo que este material servirá mayormente para el tratamiento de sulfuros de baja ley en lixiviación.

#### **5.1.5.4.8. Caracterización 25**

Latita Porfirítica correspondiente al segundo pulso intrusivo de latitas que trajeron la mineralización, mayormente es de baja ley de Cu por lo que antes se le denominaba a esta roca como BLP (Barren Latite Porphiritic). Es una roca generalmente muy dura cuyo grado de alteración generalmente es menor a la que se tiene en el primer pulso intrusivo de latita.

La alteración predominante es la fílica – propílica y se tiene la presencia principalmente de sericita, cuarzo, calcita, algo de cloritas y arcillas y muy ocasionalmente epidota. El contenido de pirita es alto, especialmente en profundidad también se ha detectado alteración potásica débil con presencia de venillas de feldespatos potásico.

La mineralización es predominantemente primaria y únicamente se tiene mineralización enriquecida o transicional en los niveles superiores cerca de los contactos con volcánicos postminerales y en la cercanía a brechas pero en muy poca cantidad. Predomina la pirita y en menor cantidad se puede apreciar calcopirita, esfalerita, galena y molibdenita.

#### **5.1.5.4.9. Caracterización 26**

En esta caracterización se han agrupado a todas las rocas preminerales o intrusivas que tienen una mineralización predominante de óxidos con un índice de solubilidad ácida mayor a 20 %. Los minerales representativos de esta caracterización geometalúrgica son: crisocola, malaquita, calcosita, cuprita y en menor proporción de Cu nativo, melaconita o tenorita. Parcialmente se encuentran minerales enriquecidos, transicionales y primarios.

Las alteraciones que se presentan son la argílica supérgena, fílica y potásica. Las durezas del material varían de muy suave a muy duro.

#### 5.1.5.4.10. Caracterización 27

En esta caracterización se han agrupado principalmente la Latita Porfiritica (LP1, LP2), Riolita Porfiritica y Brechas, que tienen una mineralización predominante de Transicional y Enriquecido, con un índice de solubilidad cianurada mayor a 25 %. Los minerales representativos de esta caracterización geometalúrgica son: calcocita, covelita secundaria, bornita secundaria, parcialmente se encuentran calcopirita como insoluble.

El tipo de alteración no es importante para esta caracterización. Las durezas del material varían de suave a duro.

#### 5.1.5.4.11. Caracterización 28

En esta caracterización se han agrupado principalmente la Andesita Basáltica (BA1, BA2), que tienen una Mineralización predominante de Transicional y Enriquecido, con un índice de solubilidad cianurada mayor a 25 %. Los minerales representativos de esta caracterización geometalúrgica son: calcocita, covelita secundaria, bornita secundaria y sulfuros primarios (principalmente calcopirita) como insoluble.

El tipo de alteración no es importante para esta caracterización. Las durezas del material varían de suave a duro.

#### 5.1.5.5. CONTROL GEOLOGICO DE LAS ZONAS GEOMETALURGICAS

Los controles geológicos por zonas geometalúrgicas se pueden apreciar en el gráfico 5.1.5.3-1. De igual forma las zonas geometalúrgicas con el modelo de bloques puede cuantificarlo según las fases de minado o el plan de minado a corto o largo plazo. En el cuadro 5.1.5.5-1 se puede apreciar el porcentaje de material por zonas geometalúrgicas que va ir a la concentradora durante la vida de la mina.

ZHGME	COD	% MATERIAL	TCUK %	MOK %	ISAC %	ISCN %	INSOL %	RECCU %
LP,BX-FIL-P-D/MD	2	35.80	0.645	0.023	2.92	9.20	87.88	85.26
BA-FIL-P-D/MD	1	23.43	0.741	0.020	2.91	6.52	90.57	81.86
BA-FIL/PTK-P-D/MD	5	22.10	0.545	0.018	3.46	6.97	89.58	83.03
BA-ARG/FILL-P-S/MS	4	8.32	0.666	0.018	3.19	6.00	90.82	77.71
LP,BX-ARG/FIL-P-S	3	6.24	0.689	0.025	2.68	9.31	88.02	83.74
LP,RP,BX-E/T-S/D	27	1.99	0.605	0.016	6.63	33.65	59.73	84.25
BA-E/T-S/D	28	1.67	0.677	0.014	6.17	26.51	67.32	83.51
RP-FIL-P-D/MD	8	0.25	0.469	0.013	3.40	8.28	88.33	85.14
BA-PROP/FIL-P-D/MD	12	0.19	0.476	0.006	2.63	6.56	90.82	80.18
BLP-PROP/FILL-P-D/MD	25	0.02	0.601	0.026	4.17	11.04	84.79	82.72
<b>TOTAL</b>		<b>100</b>	<b>0.649</b>	<b>0.020</b>	<b>3.17</b>	<b>8.58</b>	<b>88.24</b>	<b>83.20</b>

**Cuadro 5.1.5.5-1 Distribución de zonas geometalúrgicas.**

## CAPITULO VI

### GÉNESIS DE CUAJONE

#### 6.1. INTRODUCCIÓN

Los depósitos del tipo pórfido de cobre se encuentran ampliamente distribuidos en la región circunpacífica, asociados tectónicamente a los arcos de islas magmáticos de las zonas de subducción (teoría tectónica de placas) y un magmatismo calco alcalino de composición intermedia. Ver Fig. 6.1-1.

El avance de la Placa Continental Sudamericana sobre la Placa Subductora del Pacífico Oriental es la responsable de la formación de una serie de yacimientos mayormente localizados en el Norte de Chile y Sur del Perú.

La Placa del Pacífico subductora a la Placa Continental favoreció a los procesos de fusión y diferenciación magmática con altos contenidos de cobre, como subproducto molibdeno y minerales de plata entre otros, la fusión permitió el engrosamiento de la litosfera cerca de a los bordes de la placa continental y a la apertura de zonas de debilidad (Fallas, fisuras, contactos, etc.) por donde circularon los magmas, fluidos y gases a grandes presiones y temperaturas, generando por alteración hidrotermal en zonas propicias para que se depositen las soluciones mineralizantes.

El modelo genético para el yacimiento de Cuajone esta basado principalmente al conocimiento de la mina, a través de las perforaciones diamantinas que se han realizado, mapeos geológicos de campo, estudios de geofísica y geoquímica, al avance del plan de minado a corto plazo y largo plazo, a los diferentes controles geológicos: fisiográficos, litoestratigraficos, mineralización, alteración y estructural.

#### 6.2. GÉNESIS DE CUAJONE.

El yacimiento de Cuajone se encuentra emplazado dentro de la "Subprovincia Cuprífera del Pacífico" en el Flanco Occidental de los Andes, alineado en una dirección Noroeste con otros depósitos importantes como Cerro Verde, Quellaveco y Toquepala. Ver Fig. 6.2-1.

Localmente, las rocas más antiguas que afloran en Cuajone pertenecen al Grupo Toquepala cuyas edades fluctúan entre 34 y 100 MA La roca más antigua y que se constituye como el basamento de Cuajone está representada por una Andesita que localmente es denominada como Andesita Basáltica cuya potencia excede los 800 m. Se le considera como una serie de flujos andesíticos pertenecientes posiblemente a la Formación

Paralaque, pero últimamente está cobrando mayor fuerza la teoría de que esta roca es un intrusivo somero perteneciente al Batolito Andino del Sur que correlacionaría con la Diorita que se tiene en Toquepala.

Sobreyaciendo a la Andesita Basáltica, posteriormente se depositó la secuencia volcánica perteneciente al Volcánico Quellaveco.

Tanto la Andesita Basáltica como el Volcánico Quellaveco que pertenecen al Grupo Toquepala, los cuales se habrían depositado entre 70 y 100 MA (Fines del Cretáceo – comienzos del Terciario).

Entre 60 y 65 MA, se tiene la intrusión de un cuerpo Diorítico-Granodiorítico elongado con una dirección predominante hacia el Norte que aflora al Oeste de la mina.

Posteriormente, entre 50 y 60 MA, se presenta la intrusión de la Latita Porfírica en tres eventos o pulsos magmáticos de los que resulta más importante destacar el Primer Pulso Intrusivo que trajo consigo un intenso fracturamiento y alteración tanto de la roca intrusiva como de la roca encajonante que permitió crear las condiciones propicias para que se depositara la mineralización de Cuajone. El Segundo Pulso Intrusivo tiene menor relevancia por que mineralizó las rocas en menor magnitud. El Tercer Pulso Intrusivo prácticamente no aportó mineral.

Una vez formado el Cuerpo Mineralizado de Cuajone, se presentó un largo Proceso Erosivo que duró entre 24 y 50 MA aproximadamente. La erosión afectó a la gran mayoría del Grupo Toquepala erosionando inclusive a gran parte de las rocas pertenecientes al Volcánico Quellaveco. Esto permitió que el Nivel Freático descendiera de tal forma que el cuerpo mineralizado fue parcialmente lixiviado, oxidado y enriquecido en este lapso de tiempo.

Entre 17 y 23 MA Se reanudó la actividad magmática depositándose la secuencia de rocas de la Formación Huaylillas que alternativamente es nuevamente erosionada conformando paleovalles que fueron rellenados con aglomerados y conglomerados especialmente en su fase final.

Entre 14 y 17 MA, ocurre un tercer proceso erosivo que se presenta mayormente entre lo que actualmente se conoce como las quebradas de Chuntacala y Torata llegando a exponer en superficie rocas pertenecientes al Grupo Toquepala. Probablemente por el descenso del Nivel Freático, también la mineralización habría sido lixiviada, oxidada y enriquecida en este sector pero en menor magnitud.

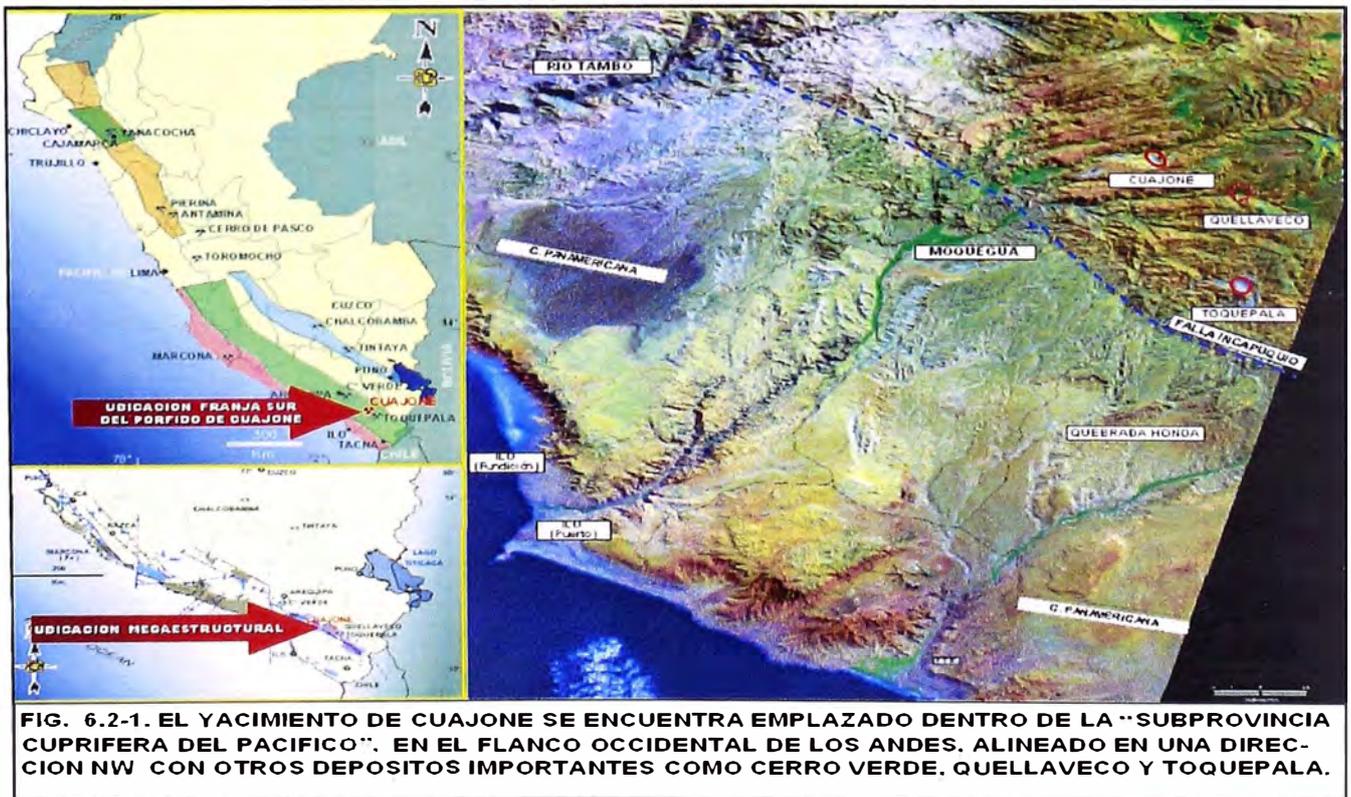
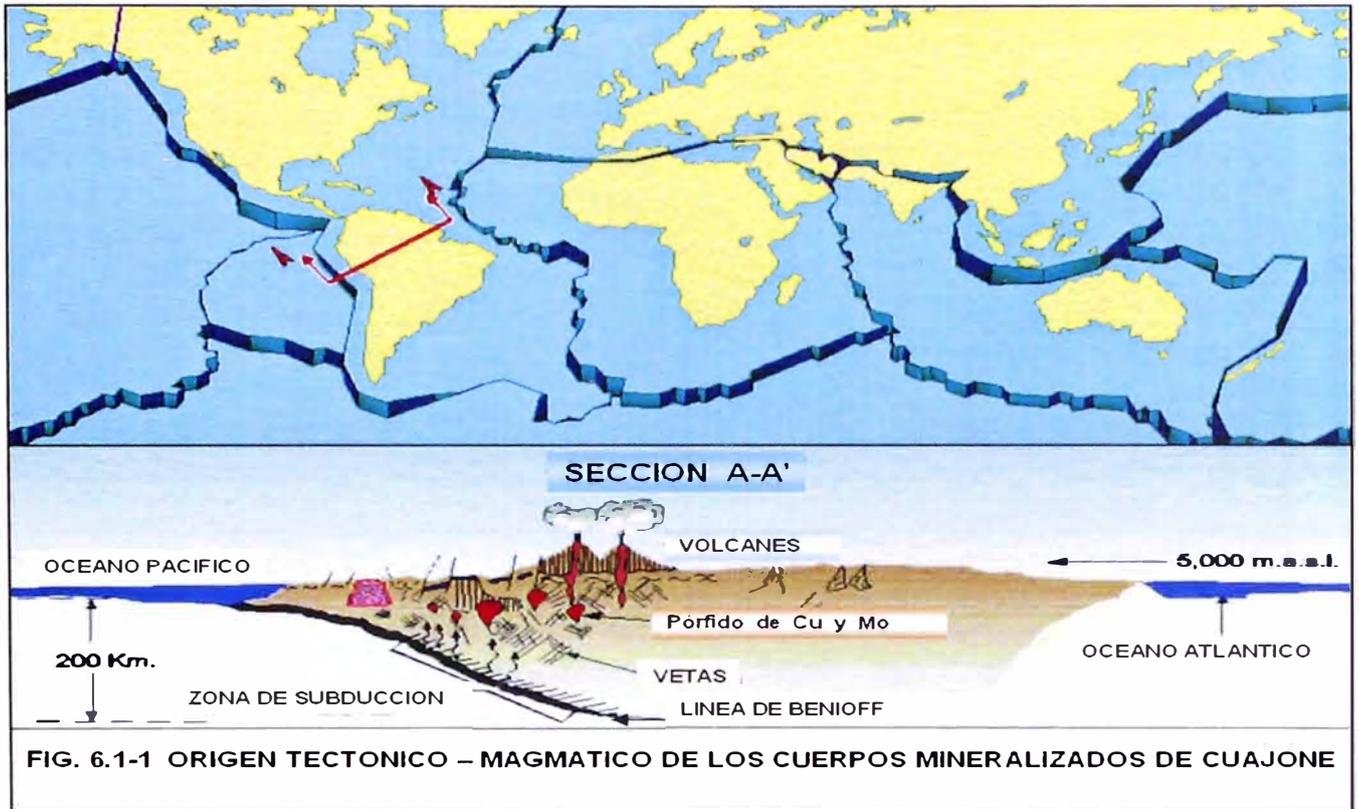
Posteriormente entre 9 y 14 MA, se reanudó nuevamente la actividad magmática con periodos erosivos intraformacionales que permitieron la deposición de los volcánicos de la Formación Chuntacala.

Finalmente en el lapso de los últimos 9 MA, se tiene un cuarto periodo erosivo que vendría a constituir la topografía que se tuvo previo al minado de la mina Cuajone cuya manifestación se puede apreciar principalmente en los valles que conforman las quebradas de Torata, Chuntacala y Cocotea.

A continuación se presenta la Evolución o Génesis de Cuajone en forma esquemática, ver gráficos adjuntos:

1. El Yacimiento de Cuajone es de origen Tectónico – Mágmatco. Ver Fig. 6.1-1.
2. El Yacimiento de Cuajone se encuentra emplazado dentro de la “Subprovincia Cuprífera del Pacífico”, en el flanco Occidental de los Andes, alineado en una dirección NW con otros depósitos importantes como Cerro Verde, Quellaveco y Toquepala. Ver Fig. 6.2-1.
3. Después de un vulcanismo regional correspondiente a las rocas preminerales del Grupo Toquepala (70-100 MA), se produce la intrusión magmática de composición diorítica (60-65 MA). Ver Fig. 6.2-2.
4. Posteriormente se produce la Intrusión del primer pulso magmático de composición Latita Porfirítica (52-57 MA), su máxima manifestación de este cuerpo intrusivo es elongado hacia el NW siguiendo un alineamiento regional, acompañado por un fracturamiento y brechamiento. Ver Fig. 6.2-3 y gráfico 4.2-1.
5. Producto de la consolidación del magma se produce el ascenso de fluidos magmáticos residuales que dió origen a un intenso hidrofracturamiento tipo stockwork ocasionado por enormes presiones, ejercidas por fluidos, gases o vapores hidrotermales; en condiciones propicias se produce la alteración potásica en zonas de alta temperatura y presión, y propílica en zonas de menor temperatura y presión. Ver Fig. 6.2-4.
6. La disminución de temperatura produce la alteración hidrotermal retrógrada: Interacción de aguas meteóricas con fluidos magmáticos propiciando la alteración Fílica. Ver Fig. 6.2-5.
7. Mineralización Hipogena: Continua la interacción de fluidos magmáticos y aguas meteóricas propiciando la deposición de minerales de Cobre y Molibdeno. Ver Fig. 6.2-6.
8. Intrusión de Latita Porfirítica (LP2): Segundo pulso intrusivo acompañado por muy poco fracturamiento y brechamiento de contacto. Ver Fig. 6.2-7.
9. Alteración hidrotermal y mineralización en el segundo pulso intrusivo (LP2): Interacción de aguas meteóricas con fluidos magmáticos,

- propiciando una debil alteración hipógena y poca mineralización económica de Cu y Mo en la LP2, y en la LP1 un ligero incremento de Mo en la zona de contacto. Ver Fig. 6.2-8.
10. Intrusión de la Latita Porfírica (LP3): Tercer pulso intrusivo, acompañado de una alteración sin mineralización de Cobre. Ver Fig. 6.2-9.
  11. Primer proceso erosivo: Formación de la zona lixiviada, zona de oxidación y zona de sulfuros enriquecidos. Ver Fig. 6.2-10.
  12. Deposición de los volcánicos Huaylillas (15-24 MA): Cubriendo todo el cuerpo mineralizado, la mineralización supérgena no profundiza. Ver Fig. 6.2-11.
  13. Segundo proceso erosivo y mineralización supérgena: Formación de la zona lixiviada, zona de óxidos y zona de sulfuros enriquecidos. Ver Fig. 6.2-12.
  14. Deposición del Conglomerado Traquítico, Aglomerado Gris y Aglomerado Tobaceo. Ver Fig. 6.2-13.
  15. Tercer proceso erosivo y mineralización supérgena: Formación de la zona lixiviada, zona de óxidos y zona de sulfuros enriquecidos. Ver Fig. 6.2-14.
  16. Deposición de los Volcánicos Chuntacala (9-14 MA): Cubriendo todo el cuerpo mineralizado, la mineralización supérgena no profundiza. Ver Fig. 6.2-15.
  17. Cuarto proceso erosivo a la actualidad: El cuerpo mineralizado se encuentra cubierto en gran parte por los volcánicos Chuntacala y Huaylillas con una fuerte erosión en el río Torata y una débil erosión en la quebrada Chuntacala. Ver Fig. 6.2-16.
  18. El descubrimiento del yacimiento de Cuajone, fué con los afloramientos de óxidos en el río Torata y después con estudios posteriores de exploración y desarrollo el cuerpo principal está en la quebrada Chuntacala. Ver Fig. 6.2-17.
  19. Actualmente con estudios Geológicos, Geotécnicos y Económicos se encuentra en explotación de acuerdo a las fases de minado programados, con un tajo final económico que llegará al nivel 2680 y el nivel más alto es de 3835, llegando a profundizar 1,155 m. Ver Fig. 6.2-18.



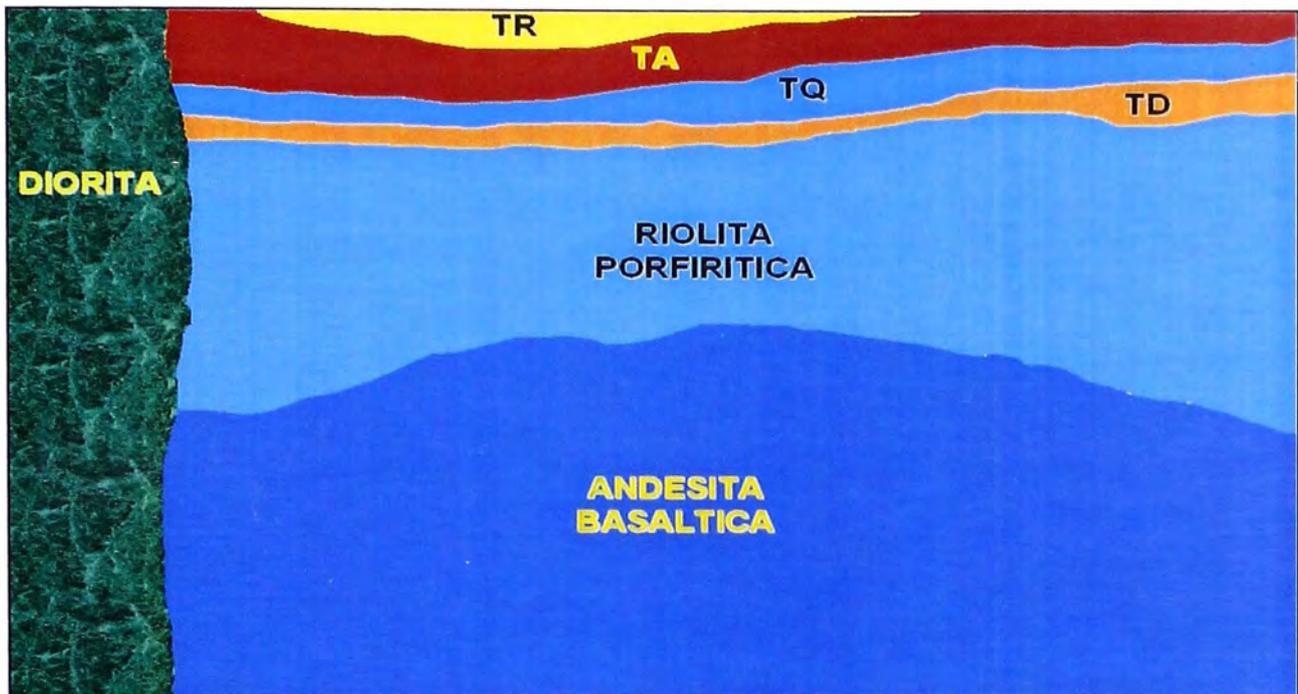


FIG. 6.2-2 ROCAS PREMINERALES: GRUPO TOQUEPALA. VULCANISMO REGIONAL. INTRUSION DE LA DIORITA (60 - 65 MA)

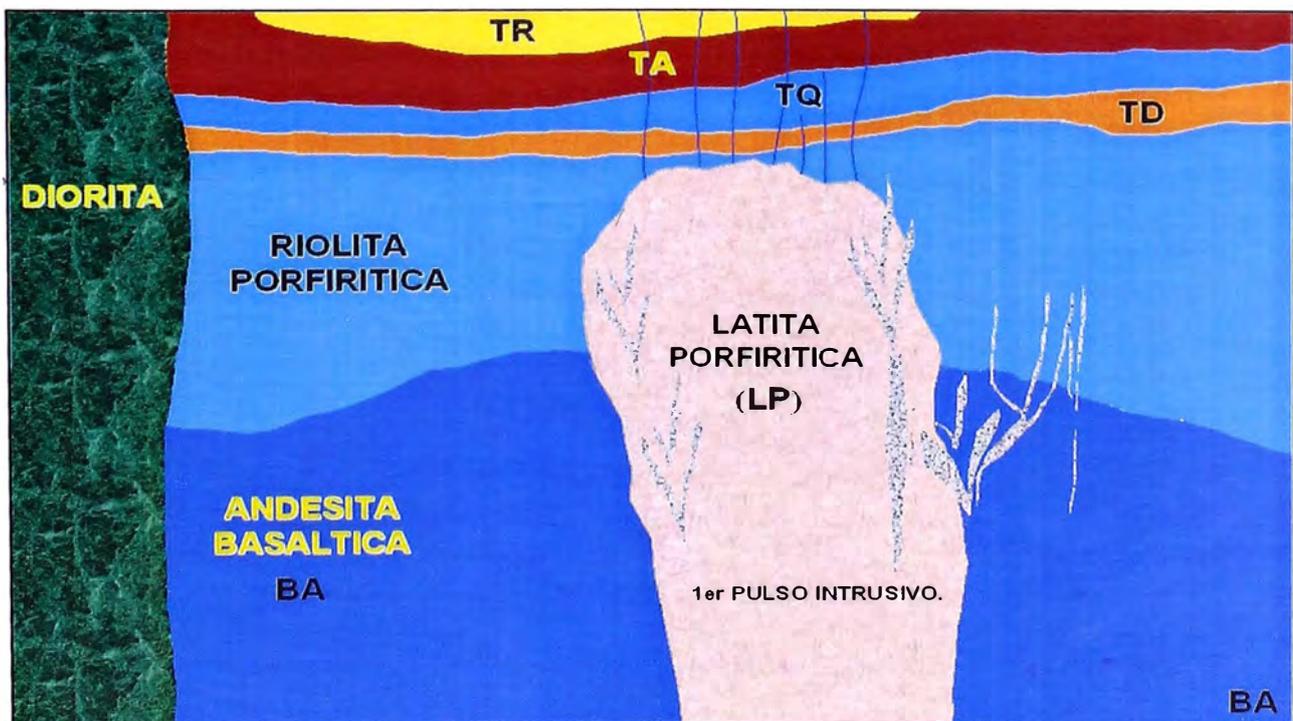


FIG. 6.2-3 INTRUSION DE LA LATITA PORFIRITICA (52- 57 MA): PRIMER PULSO INTRUSIVO. COMPAÑADO POR FRACTURAMIENTO Y BRECHAMIENTO

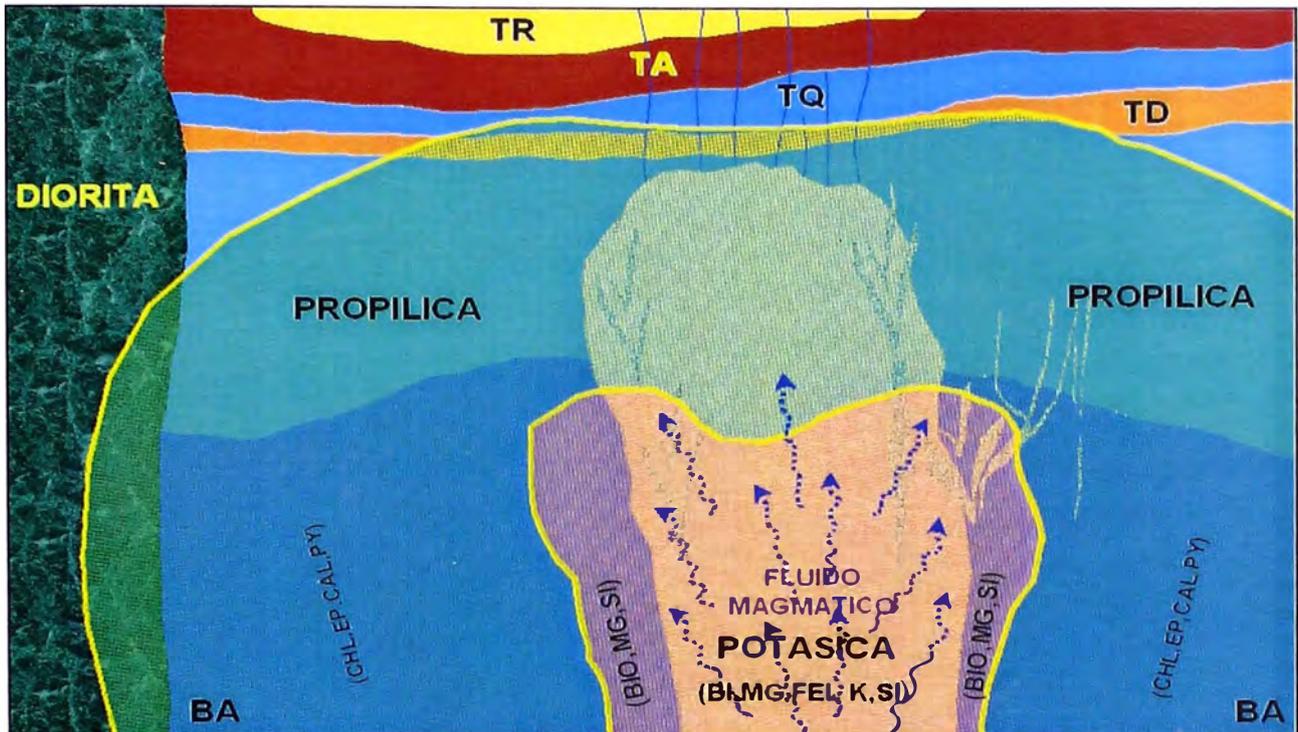


FIG. 6.2-4 ALTERACION HIDROTHERMAL HIPOGENA: ASCENSO DE FLUIDOS MAGMATICOS PRODUCIENDO LA ALTERACION POTASICA Y PROPILICA

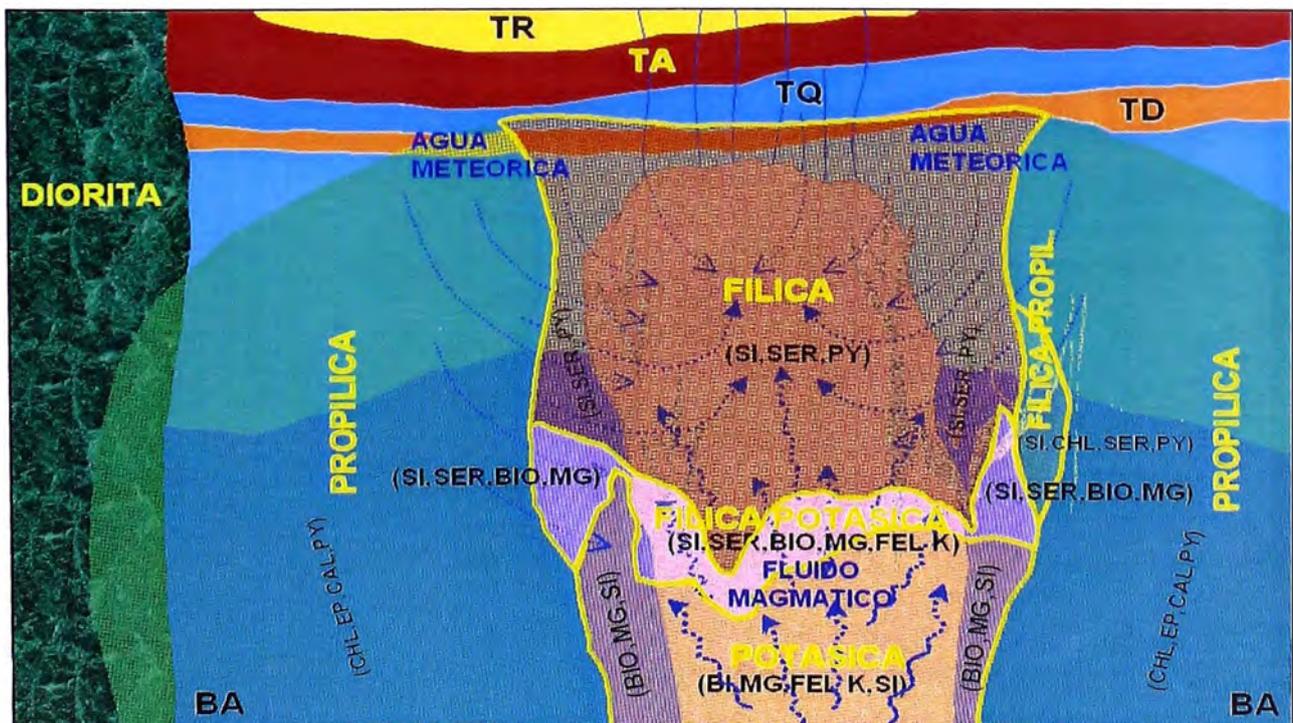


FIG. 6.2-5 ALTERACION HIDROTHERMAL RETROGRADA: INTERACCION DE AGUAS METEORICAS CON FLUIDOS MAGMATICOS PROPICIANDO LA ALTERACION FILICA

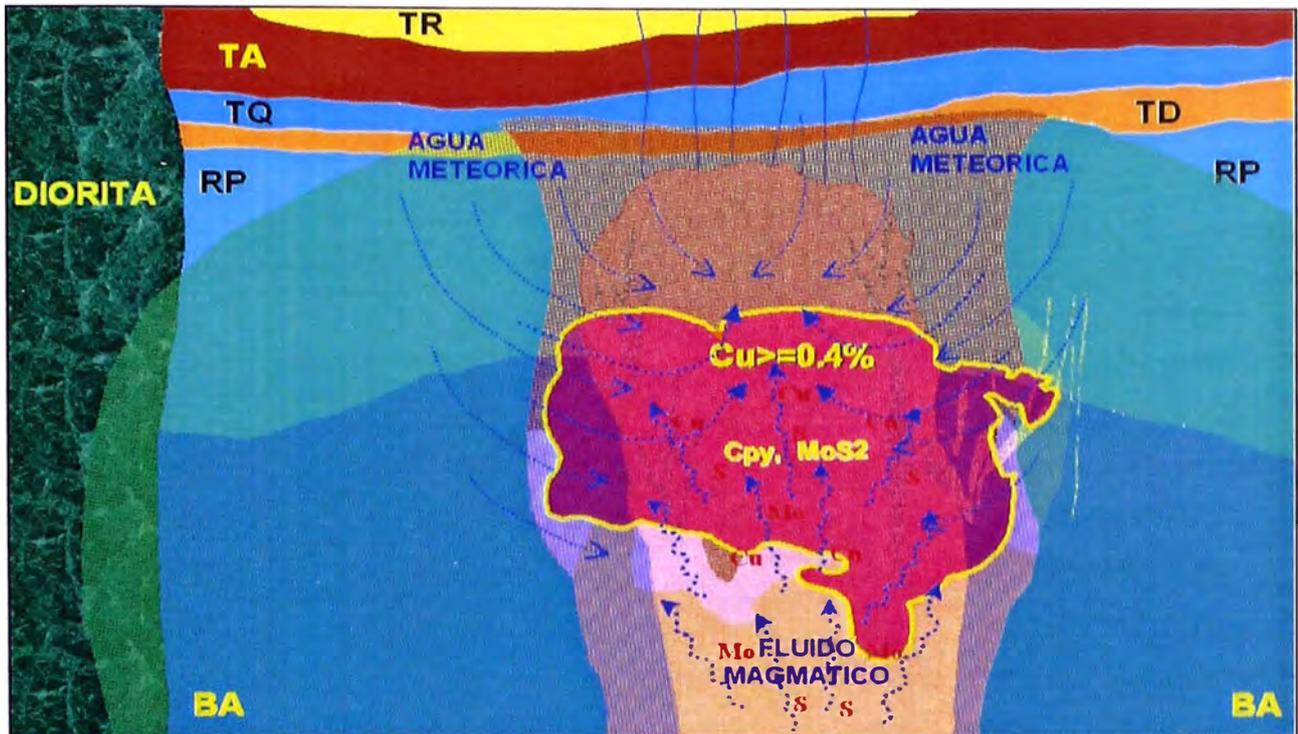


FIG. 6.2-6 MINERALIZACION HIPOGENA: CONTINUA LA INTERACCION DE FLUIDOS MAGMATICOS Y AGUAS METEORICAS PROPICIANDO LA DEPOSICION DE MINERALES DE CU Y MO

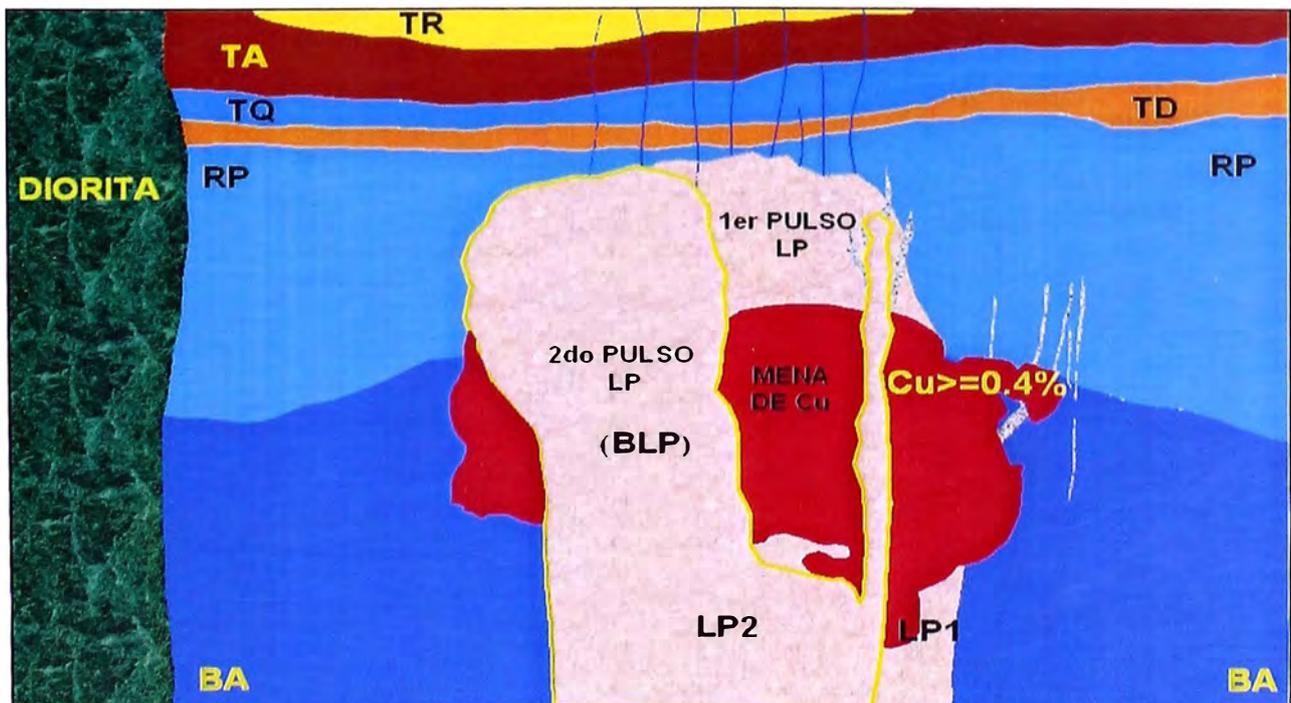


FIG. 6.2-7 INTRUSION DE LA LATITA PORFIRITICA: SEGUNDO PULSO INTRUSIVO. ACOMPAÑADO POR MUY POCO FRACTURAMIENTO Y BRECHAMIENTO DE CONTACTO

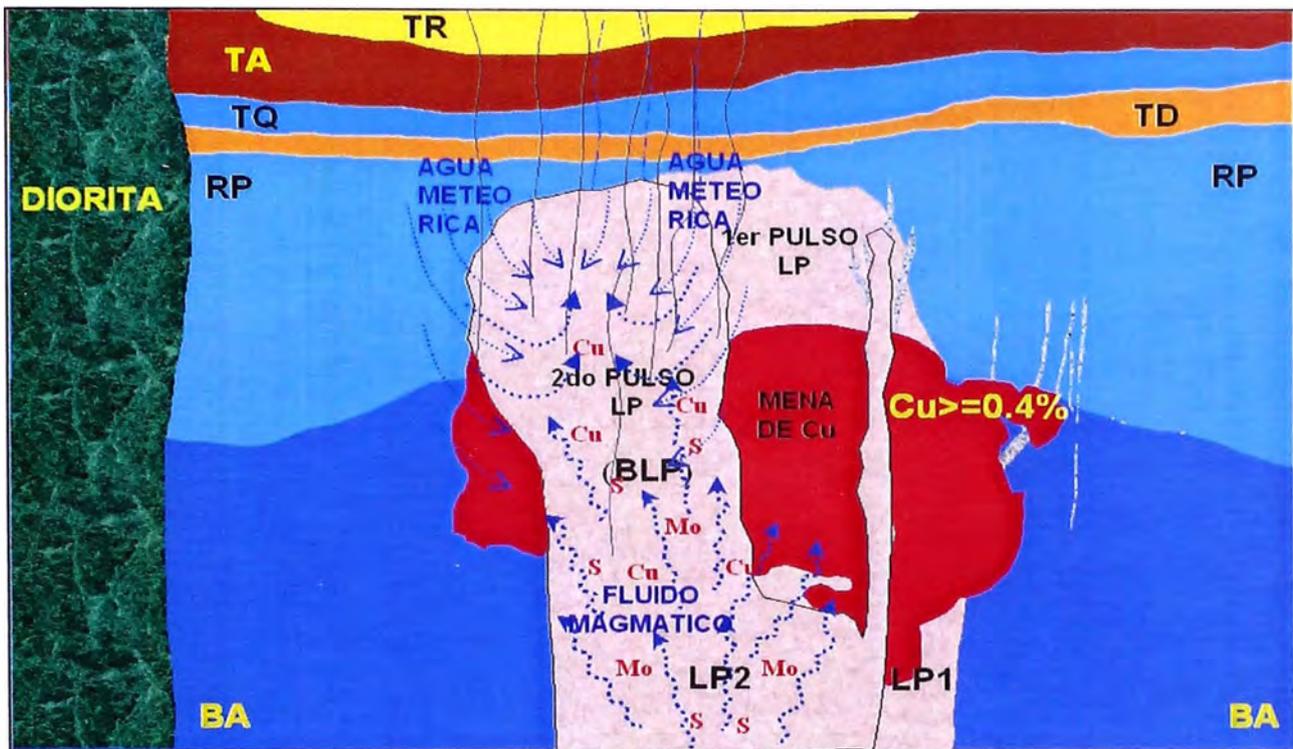


FIG. 6.2-8 ALTERACION HIDROTHERMAL Y MINERALIZACION EN EL SEGUNDO PULSO INTRUSIVO (LP2): INTERACCION DE AGUAS METEORICAS CON FLUIDOS MAGMATICOS, PROPICIANDO UNA DEBIL ALTERACION HIPOGENA Y POCa MINERALIZACION ECONOMICA DE CU Y MO. MAYOR CONTENIDO DE MO EL CONTACTO CON LP1.

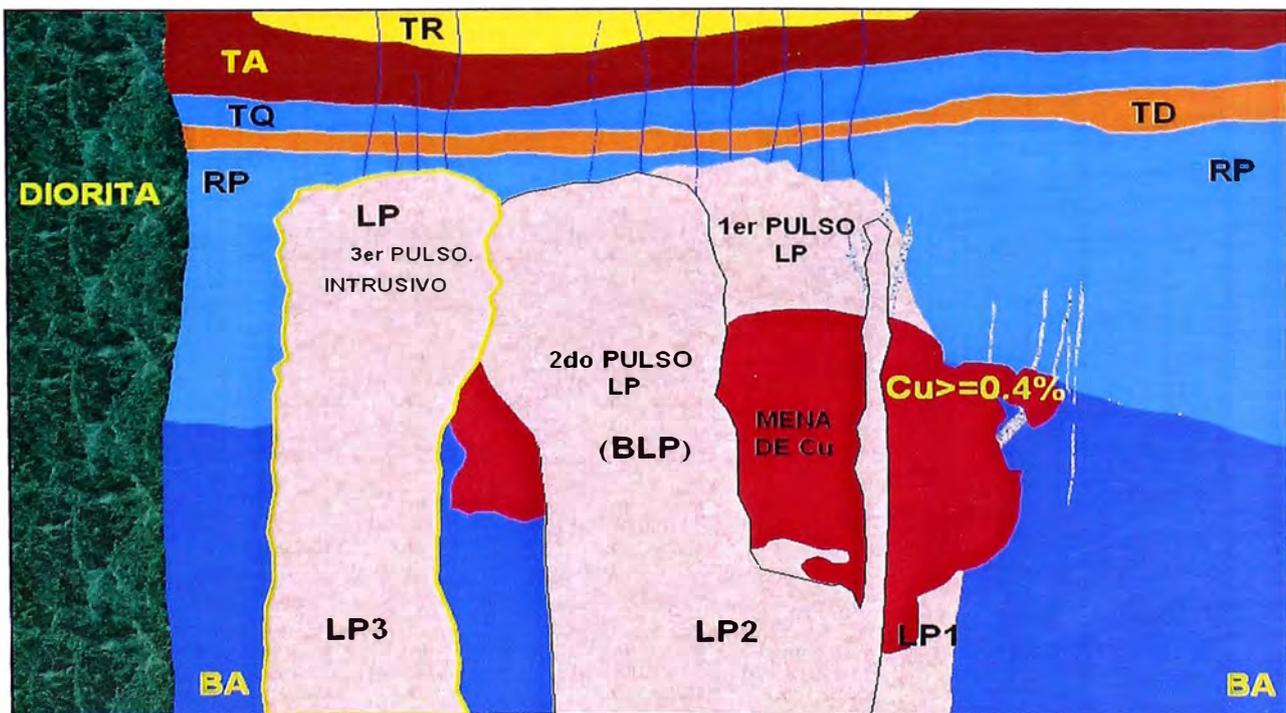
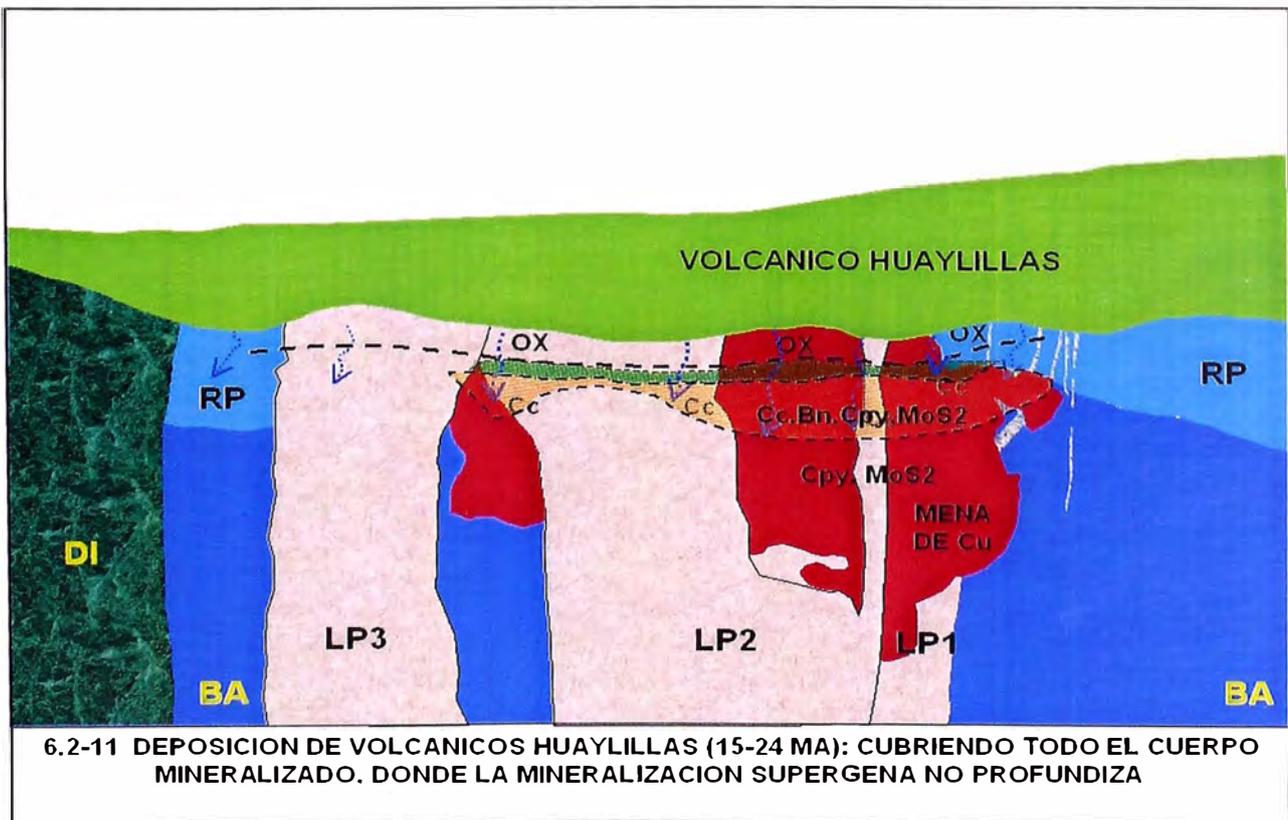
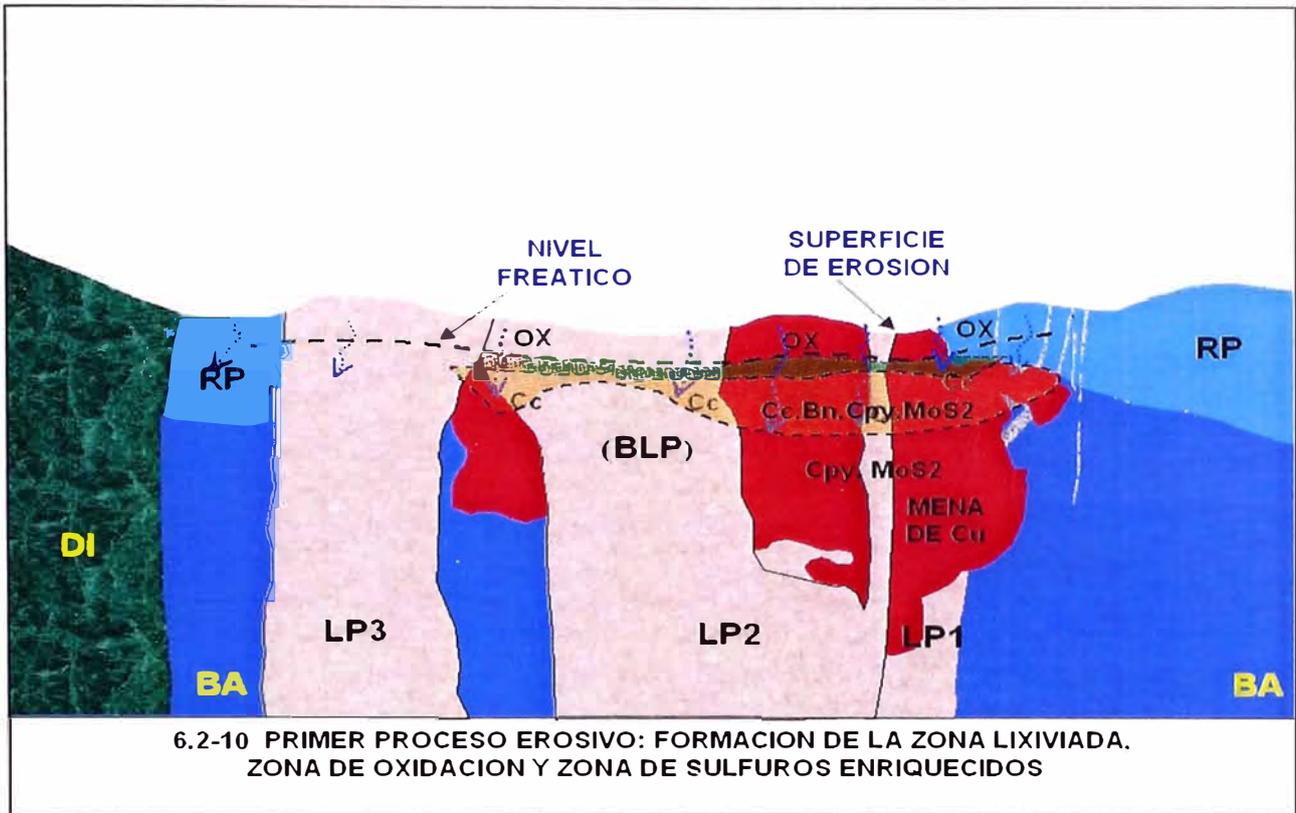
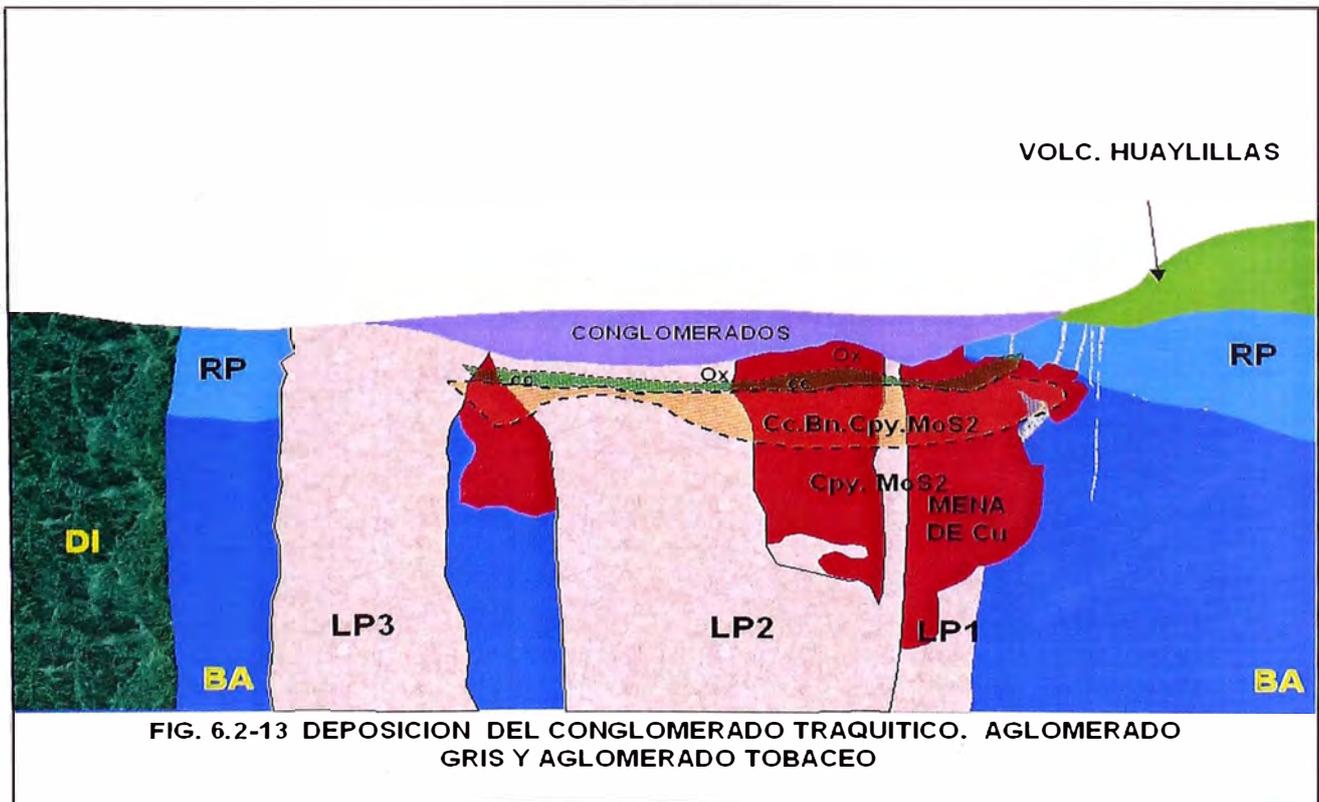
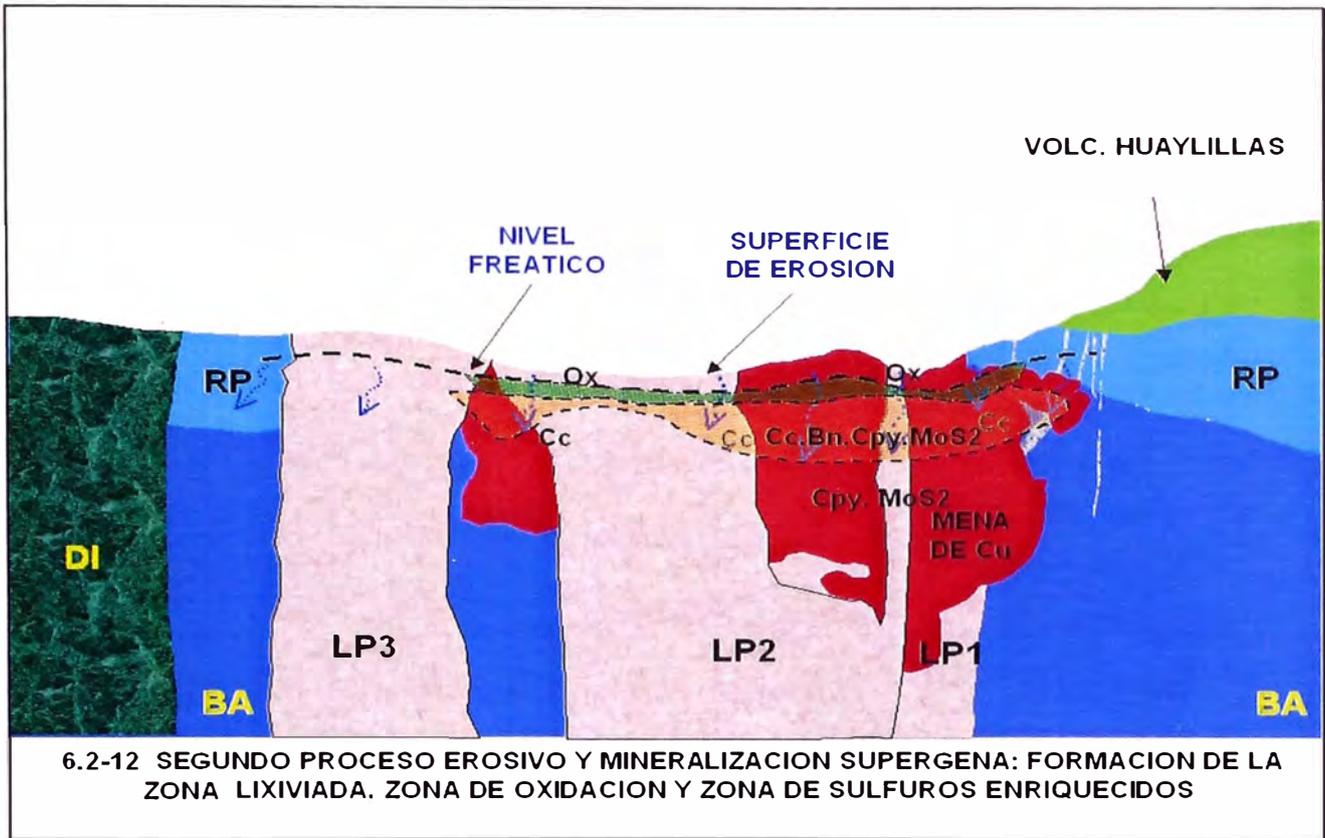
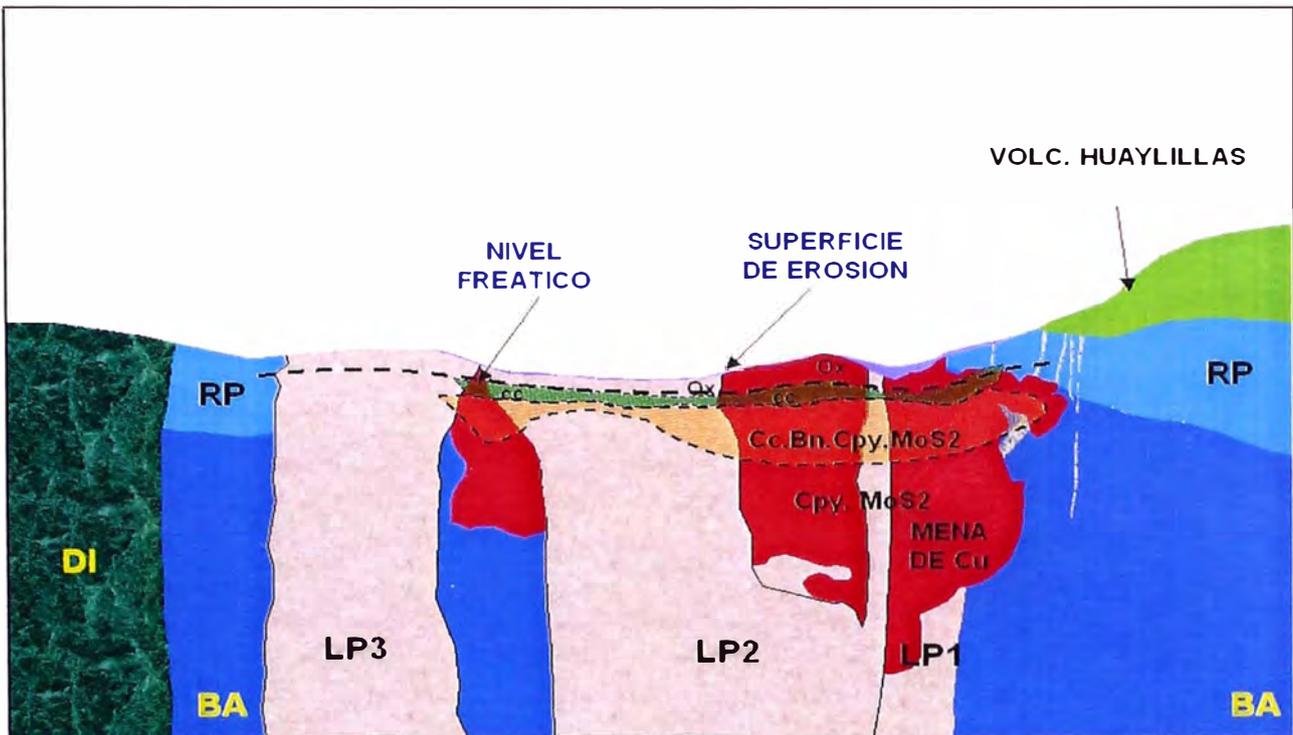


FIG. 6.2-9 INTRUSION DE LATITA PORFIRITICA: TERCER PULSO INTRUSIVO. ACOMPAÑADO DE UNA ALTERACION MUY DEBIL SIN MINERALIZACION DE CU.







6.2-14 TERCER PROCESO EROSIVO Y MINERALIZACION SUPERGENA: FORMACION DE LA ZONA LIXIVIADA, ZONA DE OXIDOS Y ZONA DE SULFUROS ENRIQUECIDOS.

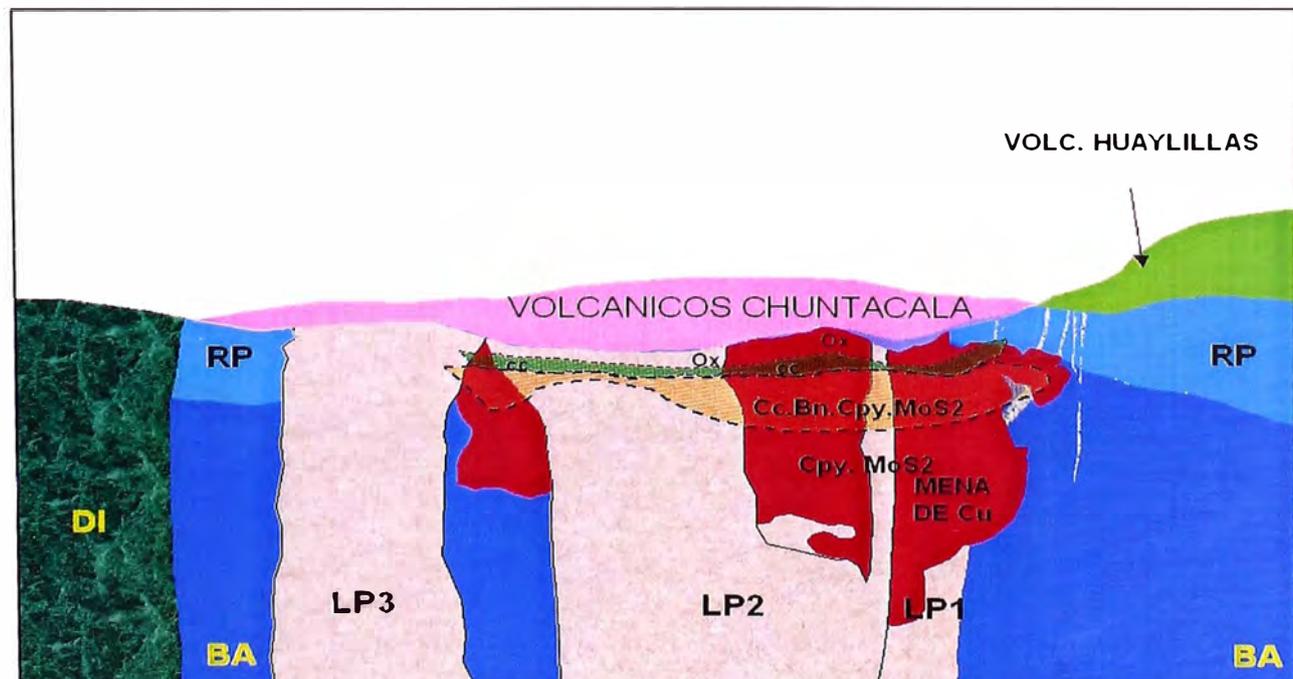


FIG. 6.2-15 DEPOSICION DE LOS VOLCANICOS CHUNTACALA (9-14 MA): CUBRIENDO TODO EL CUERPO MINERALIZADO, DONDE LA MINERALIZACION SUPERGENA NO PROFUNDIZA

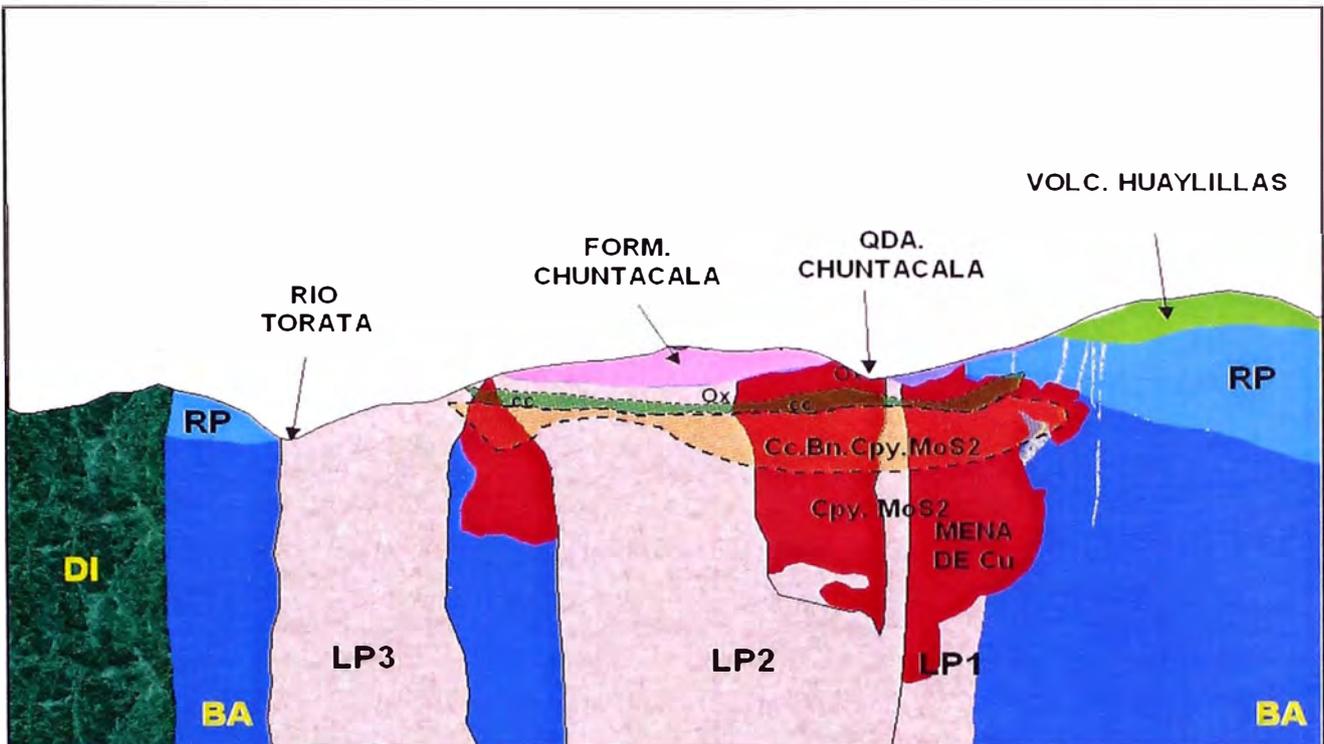


FIG. 6.2-16 CUARTO PROCESO EROSIVO A LA ACTUALIDAD: EL CUERPO MINERALIZADO SE ENCUENTRA CUBIERTO EN GRAN PARTE POR LOS VOLCANICOS CHUNTACALA Y HUAYLILLAS CON UNA FUERTE EROSION EN EL RIO TORATA Y DEBILMENTE EROSIONADO EN LA QUEBRADA CHUNTACALA.

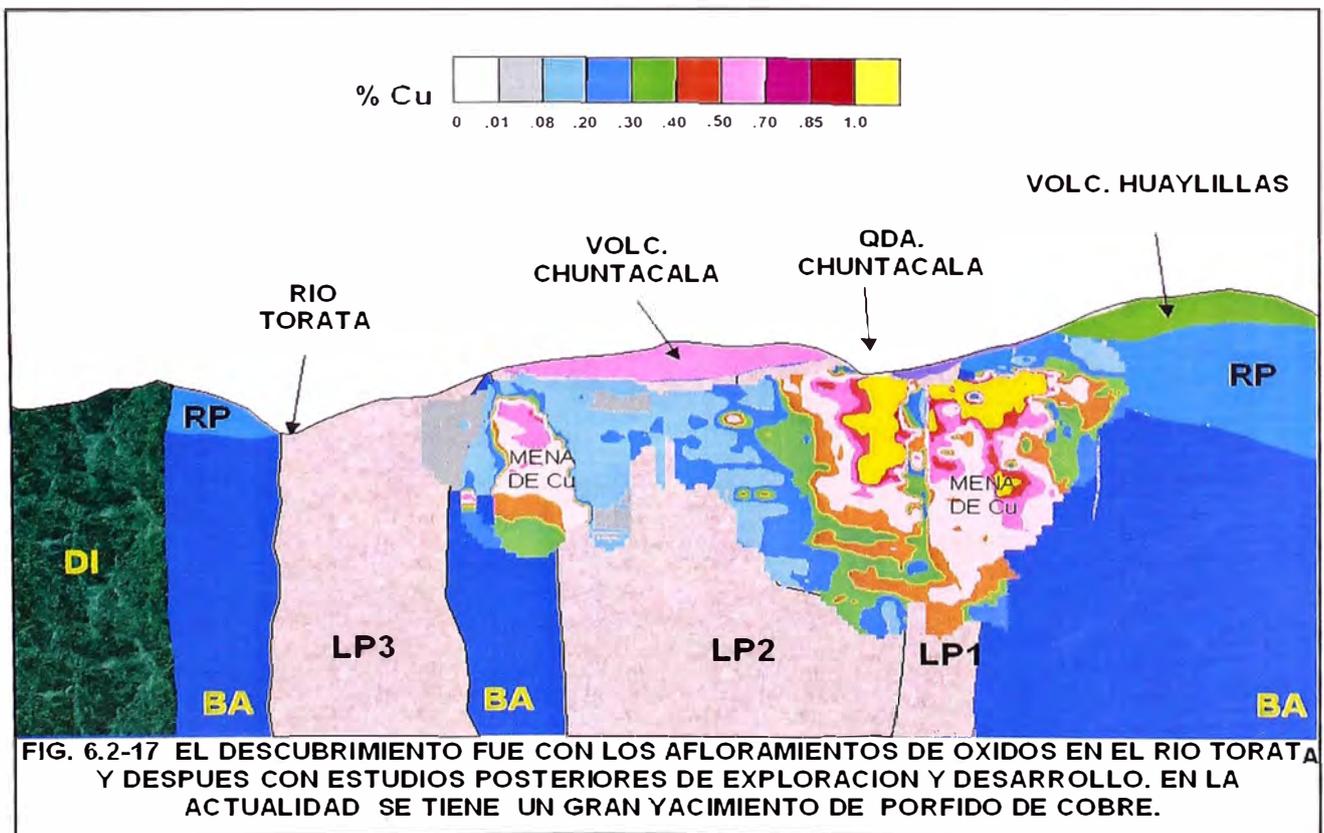
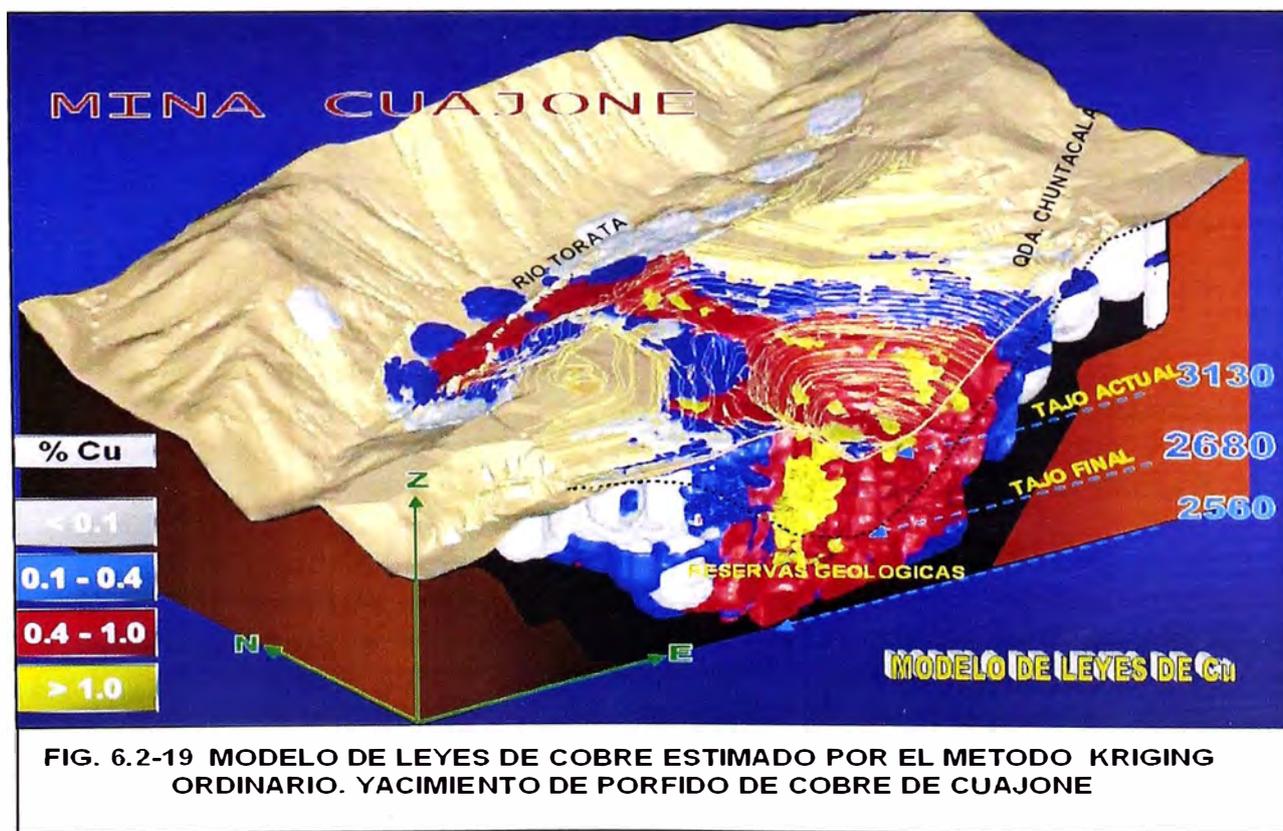
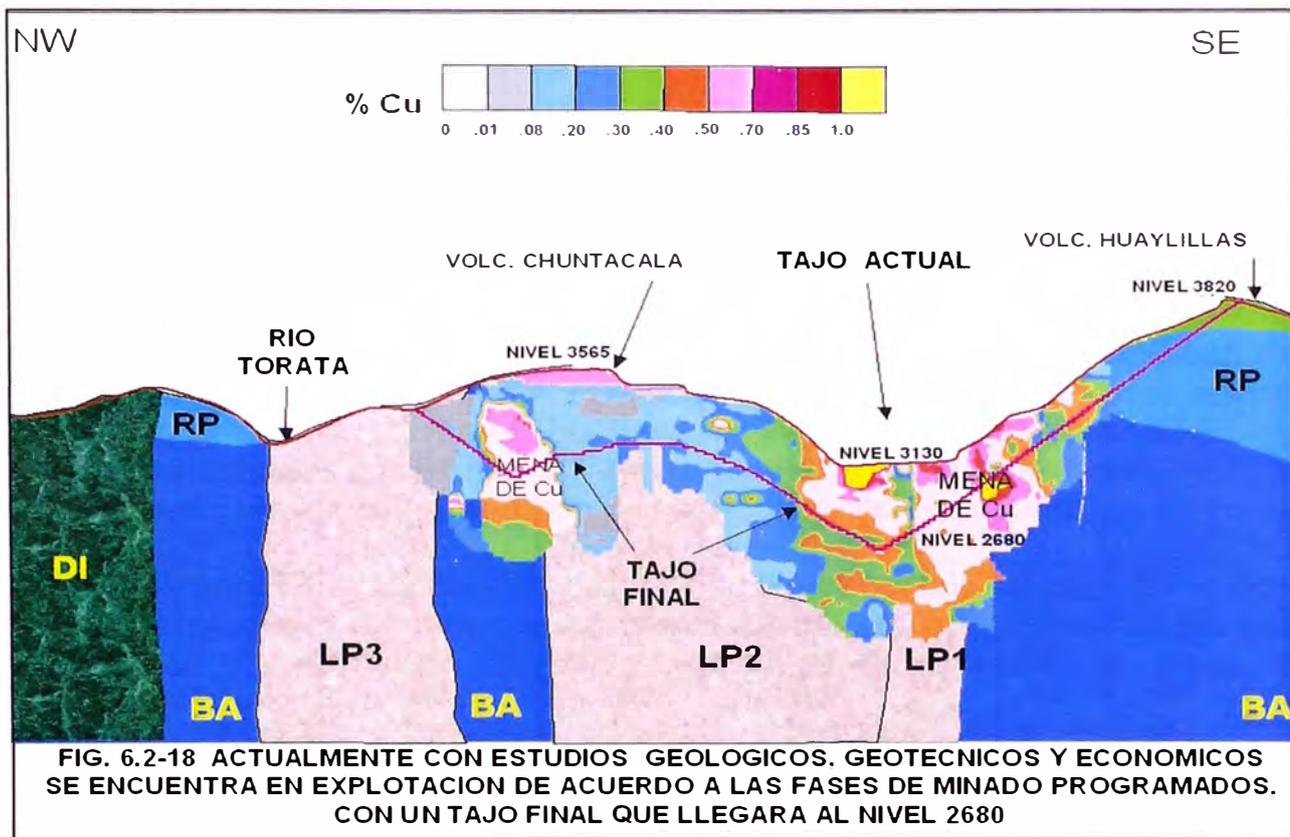


FIG. 6.2-17 EL DESCUBRIMIENTO FUE CON LOS AFLORAMIENTOS DE OXIDOS EN EL RIO TORATA Y DESPUES CON ESTUDIOS POSTERIORES DE EXPLORACION Y DESARROLLO. EN LA ACTUALIDAD SE TIENE UN GRAN YACIMIENTO DE PORFIDO DE COBRE.



## CONCLUSIONES

1. Las anomalías geoquímicas y geofísicas representan la continuidad de la mineralización en el lado NW del cuerpo principal.
2. Los trabajos de exploración de geoquímica y geofísica dieron buenas anomalías, prospectables en el Sector NW del tajo los cuales fueron perforados con buenos resultados.
3. Las anomalías geoquímicas y geofísicas daban una continuidad de una mineralización distal al cuerpo principal especialmente más al lado NW, no se tuvieron buenos resultados con la perforación en profundidad, posiblemente representaban una mineralización de una fuente final subsaturada con leyes de cobre no económico.
4. Las anomalías de geofísica en el lado Norte del cuerpo principal fueron perforados y no dieron buenos resultados, tan solo representaba una zona de alteración con altos contenidos de minerales de fierro en estructura NW.
5. Los estudios de geofísica realizados en los años 1952 con un método todavía empírico llamado Self Potencial and resistivity en % de sulfuros y el método de polarización inducida de cargabilidad en el año 1,994 reflejan la misma tendencia de mineralización que actualmente conocemos del pórfido de cobre de Cuajone.
6. Las diferentes campañas de perforación desde el año 1942 a las fechas han servido paulatinamente para ir incrementando las reservas ya sea en toda su extensión principal en el lado NW siguiendo los controles geológicos y estructurales, como también en profundidad llegando taladros muy profundos de hasta 850 m.
7. Se ha aprovechado al máximo toda la información de las diferentes campañas que han servido para delimitar el cuerpo de mineralización, delimitar contactos geológicos, evaluar zonas inestables, obtener ensayos de leyes, RQD, rock hardness Index, gravedad específica y también hacer pruebas metalúrgicas.
8. Actualmente se tiene una buena base de datos geológicos totalmente estructurado y en sistema electrónico que nos permite hacer el modelamiento geológico tridimensional, los cálculos de reserva por diferentes métodos, el planeamiento de minado a corto plazo y a largo plazo.

9. Se tiene un buen conocimiento de la geología regional, distrital y principalmente local, con las perforaciones diamantinas, los mapeos geológicos superficiales y actualizando el modelamiento geológico.
10. Con la perforación en profundidad principalmente en las rocas de la Andesita Basáltica no se ha llegado a encontrar la base (800 m de Andesita Basáltica es reconocida y todavía continúa en profundidad). Inicialmente esta Andesita Basáltica se conocía como la Formación Paralaque, actualmente se piensa que posiblemente sea un intrusivo somero perteneciente al Batólito Andino del Sur.
11. En el pasado la roca Andesita Basáltica en contacto con la Latita Porfírica se pensaba que era una Andesita Intrusiva, actualmente por estudios petrográficos se ha confirmado que se trata de la misma Andesita Basáltica alterada con presencia de Sílice, Sericita, arcillas y cloritas que le da una coloración más blanquesina.
12. Actualmente se conoce a la Latita Porfírica en 3 eventos o pulsos, donde la primera se caracteriza como la roca más alterada y con mineralización económica de cobre y moly, el segundo pulso intrusivo llamado Latita Porfírica Barren (BLP) que también tiene mineralización sub económica mayores de 0.10% cobre con un promedio de 0.18% cobre y el tercer pulso que es totalmente estéril.
13. La predominancia de la alteración cuarzo sericita es fuerte en la mina de Cuajone, produciéndose en toda la Latita Porfírica y parte de la Andesita Basáltica.
14. La alteración potásica se encuentra principalmente en profundidad en la Latita Porfírica con venillas de ortosa, magnetita y biotita secundaria y en la Andesita Basáltica con la presencia de biotitas secundarias, magnéticas, cloritas y ocasionalmente anhidrita que muchos lo consideran en su conjunto simplemente como una biotización.
15. Las estructuras y cuerpos de brechas y las intrusiones tienen un alineamiento NW paralela a la Cordillera Andina.
16. El cuerpo mineralizado y las estructuras vendrían a estar entre las fracturas tensionales de las dos fallas grandes de Viña Blanca y Botiflaca que inicialmente podrían haber controlado como Sistemas de cizallamiento.
17. Dentro del control fisiográfico, la mineralización supérgena en la mina Cuajone no se ha desarrollado mucho en profundidad debido

principalmente a una erosión rápida y constantes eventos de vulcanismo que en parte fueron cubiertos el gran Cuerpo de Cuajone.

18. La mineralización de cobre principalmente se encuentra en la zona primaria con minerales principalmente de calcopirita ocasionalmente bornita y muy esporádicamente la presencia de enargita, esfalerita y galena, la calcopirita se encuentra diseminado y en venillas dentro del stockwork.
19. La mineralización de molibdenita podría haberse desarrollado, primero en paragénesis con la calcopirita y después en una posterior mineralización con la presencia de molibdenita solo en fracturas, y las mayores leyes se encuentran cerca al contacto con la Latita Porfírica 2 (BLP) desde partes altas a profundidad.
20. Es importante un modelo geológico para tipos de rocas, mineralización, alteración, RQD, RHI, que es la base para determinar las reservas geológicas y económicas, plan de minado a corto y largo plazo.
21. Es importante también en pórfidos de cobre tener un modelo geometalúrgico que esta relacionado con el agrupamiento de los controles geológicos que tengan alguna implicancia positiva o negativa en el proceso de concentración o de lixiviación, especialmente en lo que concierne a la recuperación, para que el geólogo, el minero y el metalurgista en forma conjunta puedan desarrollar modelos predictivos consistentes para un buen plan de minado y recuperaciones constantes en la concentradora.
22. El Índice de solubilidad es usado por diversas minas en el ámbito mundial, producto del análisis de Cobre Secuencial, se relaciona el contenido de cobre soluble en ácido sulfúrico más la de cobre soluble en cianuro de sodio con respecto al cobre total. El %CuSAc determina el contenido de óxido de cobre, mientras el %CUSCn determina el contenido de mineral enriquecido (principalmente calcosita).
23. Para la clasificación de la mineralización, la zona de óxidos está conformada por el ISAC mayor al 20% (este criterio es relativo, funciona para Cuajone debido a que la concentradora tiene problemas de recuperaciones cuando el ISAC es mayor del 20%), la zona enriquecida por el ISCN mayor a 50%, la zona primaria el ISCN menor a 25%, y la zona transicional variando entre 25% a 50% de ISCN.

24. Los controles geológicos tridimensionales, con el modelo de bloques se puede determinar para cada fase de minado o para un plan de minado de corto y largo plazo los afloramientos proyectados y al mismo tiempo se puede cuantificar la información por cada zona o tipo de control, relacionado con la mineralización económica.
25. Es importante un buen conocimiento geológico y su génesis para hacer un buen modelamiento geológico y aplicar en el desarrollo y optimización de la producción de la mina y sobre todo aprovechar todo tipo de información habidos y por haber.

## RECOMENDACIONES

1. Es necesario un conocimiento de la geología regional y distrital para llegar a entender la geología local de la mina, que nos llevará a confirmar o descartar los modelos geológicos con el gran potencial de información que se va obteniendo en la mina a través de a exploración, desarrollo y la producción.
2. Se debe considerar y actualizar la base de datos geológicos con nuevas perforaciones o estudios posteriores.
3. Se debe actualizar los modelos geológicos con el progreso del plan de minado.
4. Se debe hacer mas estudios de dataciones y estudios de inclusiones fluidas para mejorar el modelo y la génesis de Cuajone.
5. Se debe también preparar un modelo estructural de la mina Cuajone.
6. Se deben hacer estudios de distribución de plata, plomo y zinc en Cuajone.
7. Se debe evaluar e investigar la latita porfirítica 2 (BLP) por su contenido de cobre de leyes bajas (0.18% Cu promedio) para un proceso de lixiviación en el futuro.
8. Con lo nuevos modelos geológicos y la génesis de Cuajone se deben tener en cuenta un plan de optimización de la estimación de reserva para un nuevo plan de minado a corto y largo plazo.
9. Con el conocimiento de los modelos geológicos en un sistema electrónico, se deben hacer diferentes pruebas y simulaciones de estabilidad de taludes para diferentes programas de minado, con los nuevos softwares adquiridos por Southern Perú, en lo que respecta a control de estabilidad (FLAC y UDEC).
10. El índice de solubilidad nos permite clasificar el mineral por tipo de mineralización, es importante éste concepto y aplicar en los logeos geológicos para cuantificar el concepto de zonas de mineralización primaria y supérgena.

## **BIBLIOGRAFIA.**

Bellido E. (1979). INGEMET. Geología del Cuadrángulo de Moquegua.

Bernabé H., Concha O. (1999). Geología y Génesis de la Mina Cuajone. Trabajo presentado en el Seminario de "Exploración y Metalogenia de Yacimientos Polimetálicos" Promoción de Geólogos 1999-2, UNI.

Bernabé Heller, Parámetros Geoestadísticos y Modelamiento de los Controles Geológicos de Cuajone, "X Congreso Peruano de Geología", Lima, Julio 2000.

Bernabé Heller, Ghersi Jorge, Modelos de Recuperaciones Metalúrgicas en el Planeamiento de Minado para Tajo Abierto "I Congreso de Metalurgia Internacional", Arequipa, Noviembre 2001.

Clark A., Tosdal R., Farrar E., Plazoles A. (1990). Geomorphologic Environment and Age of Supergene Enrichment of the Cuajone, Quellaveco and Toquepala Porphyry Copper Deposits, Southeastern-Perú.

Concha O., Valle J. (1999). Prospección, Exploración y Desarrollo del Pórfido de Cuajone. Trabajo presentado al Primer Congreso Internacional de Prospectores y Exploradores.

Lowell & Guilbert. (1970). Lateral and Vertical Alteration - Mineralization Zoning in Porphyry Ore Deposites.

Manrique y Plazoles. (1974). Geología de Cuajone. Trabajo presentado al Tercer Congreso Peruano de Geología.

Park Gerald. (1998). Petrographic and Lithogeochemical Alteration Study of the Cuajone and Toquepala Porphyry Copper Deposits, Perú.

Richard K., Courtright J. (1955).  
Internal Reports of Cuajone.

Rodriguez D. (1982).  
Case Study, Cuajone, Perú.

Satchwell P. (1983).  
Geología de la Mina Cuajone. Trabajo presentado al Quinto Congreso Peruano de Geología.

Stevenson F. (1972).  
Geology and Mineralization, Cuajone Porphyry Copper Deposit, Moquegua, Perú. (Internal Report).

Mintec, Minesight Manual, USA, 2000

Informe Interno del Plan de Desarrollo 2002-2016 de Cuajone, Setiembre - 2001