

EL YACIMIENTO DE SULFUROS DE COBRE CERRO VERDE

José Valdivia V.

Geólogo de Mina

Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A.

jvaldivia@phelpsd.com.pe

Resumen.

El pórfido de cobre y molibdeno de Cerro Verde se encuentra ubicado en el sur del Perú en la provincia, departamento y región de Arequipa a 15 Km. en línea recta al SW de la ciudad, en el distrito de Uchumayo.

El cuerpo intrusivo principal es un pórfido Dacítico – Monzonítico el cual se abrió paso a través del Gneiss Charcani y la Granodiorita Yarabamba generando un halo de alteración y mineralización que ha sido de interés para geólogos desde la década del 1800, no se descarta que antes de esta época los Incas y colonizadores españoles conocieran el área.

Cerro Verde se encuentra en operación desde mayo de 1977 y utiliza actualmente uno de los más modernos procesos hidrometalúrgicos que consta de chancado, lixiviación, intercambio iónico y electrodeposición para el tratamiento de sulfuros secundarios.

A partir de año 2007 se pondrá en operación una moderna planta concentradora de 108 mil toneladas/día, para el tratamiento de los sulfuros primarios, este proyecto contempla también la construcción de una presa para el almacenamiento de relaves.

Historia.

Hasta donde se ha investigado los primeros trabajos de extracción fueron realizados por los hermanos Vicuña, de nacionalidad chilena en 1868, que enviaron mineral de alta ley a Swansea, Gales en el Reino Unido.

Luego la propiedad pasó por varios dueños, hasta que en 1919 la Anaconda Company evaluó el área y poco después su subsidiaria, Andes Exploration Company, la tomó bajo opción e hizo las primeras perforaciones Churn Drill exploratorias. Luego, Andes del Perú también subsidiaria, continuó los trabajos iniciados por su antecesora.

En 1944, W.F.Yenks recomienda a Cerro de Pasco Corporation la explotación del yacimiento. Ellos trabajaron de 1952 a 1955 en el área e hicieron la primera prospección geofísica con apoyo de Newmont Exploration, utilizando el método de “sobre Voltaje” que hoy conocemos como Polarización Inducida.

Después de 1955, nuevamente, Andes del Perú retomó las exploraciones realizando perforaciones inclinadas y los primeros estudios con miras a explotar la zona de óxidos de Cerro Verde

En 1970 la propiedad revierte al estado y el gobierno encarga a la empresa estatal Minero Perú la exploración y explotación del yacimiento.

Minero Perú, inició la exploración con diferentes campañas de perforación, logueo y mapeo, que lo llevaron a las primeras estimaciones del potencial del cuerpo mineralizado.

En 1974, se iniciaron los trabajos de desbroce y en 1977, se envían las primeras toneladas de óxidos de cobre para lixiviar con la tecnología más

moderna de la época. Minero Perú fue la primera en utilizar lixiviación en el Perú para extraer cobre en una operación a tajo abierto de las características de Cerro Verde.

En 1993 Sociedad Minera Cerro Verde es adquirida por la empresa Cyprus Amax Minerals en un programa de privatización del gobierno y toma posesión de la misma en Marzo de 1994.

Cyprus reevaluó el depósito para su compra y luego de adquirirlo desarrolló nuevas campañas de perforación, mapeo regional y local; mejoró el proceso productivo; extrajo los sulfuros secundarios de Santa Rosa y exploró el prospecto Cerro Negro.

Cuando Cyprus estuvo lixiviando los sulfuros secundarios de Cerro Verde y estudiando alternativas para el beneficio de los sulfuros primarios fue comprada por Phelps Dodge Corporation en setiembre de 1999.

Phelps Dodge toma el control de las operaciones y continúa hasta la actualidad con la extracción y lixiviación de los sulfuros secundarios de Cerro Verde.

Phelps Dodge revisó las evaluaciones de la etapa de sulfuros primarios hechas por Minero Perú, continuó las iniciadas por Cyprus y desarrolló nuevos estudios para conseguir la viabilidad del proyecto.

Luego de obtenida la factibilidad del proyecto y cumplir con todas las regulaciones legales y ambientales en el 2004, se ha iniciado la preparación de las áreas en donde construirá, la planta concentradora de 108 mil toneladas/día, de material mineralizado que entrará en operación el 2007 y la presa de relaves que almacenará todo el material de desecho que generara el proceso de flotación.

Fig. N°1, Plano de ubicación de Cerro Verde.

Ubicación Pórfido de Cobre **CERRO VERDE**



Ubicación

El pórfido de cobre y molibdeno de Cerro Verde se encuentra ubicado en el sur del Perú, en el distrito de Uchumayo de la región, provincia y departamento de Arequipa entre los 2,435 y 2,920 m.s.n.m.

Está a 15 Km. en línea recta al sur-oeste de la ciudad de Arequipa y es accesible por una carretera asfaltada de 30 Km., sus coordenadas geográficas son 71° 35' 51" longitud Oeste y 16° 31' 46" latitud sur.

Geológicamente esta emplazado en el flanco occidental de la Cordillera de los Andes, en el segmento Arequipa del Batolito de la Costa dentro del Complejo Intrusivo de La Caldera.

El relieve original mostraba una elevación de 2904 m.s.n.m. con drenaje radial que presentaba óxidos de cobre especialmente brocantita en el lado Este y lo llamaron Cerro Verde, nombre con el cual se conoce el yacimiento.

Geología.

Cerro Verde esta dentro de la Sub-Provincia Cuprífera del Pacífico alineado con otros importantes yacimientos del sur del Perú en una franja de rumbo NW-SE paralela a la fosa Perú-Chile y a la Cordillera de los Andes, genéticamente relacionado al magmatismo calco-alcalino producto de la fusión parcial de corteza oceánica en la zona de subducción de las placas de Nazca y Sudamérica.

El cuerpo intrusivo principal lo constituye un Pórfido Dacítico Monzonítico que intruyó, alteró y mineralizó al Gneiss Charcani, Granodiorita

Yarabamba y los cuerpos de brecha turmalina y sílice adyacentes aproximadamente hace 62 Ma. (Paleógeno), marcando localmente el final de la actividad magmática.

Luego los procesos supérgenos de lixiviación, oxidación y enriquecimiento se llevaron a cabo en dos periodos principales, el más antiguo entre 36 y 38 Ma. y el más reciente entre 24 y 28 Ma. en el Eoceno tardío y fines del Oligoceno. (Chang X. Quang, Alan H. Clark, James K.W. Lee y Jorge Guillen, 2003)

Estratigrafía

Gneiss Charcani (Precámbrico–Paleozoico Inferior).

Es la roca más antigua reconocida en el área, aflora al Norte, Oeste y Sur de Cerro Verde.

En sectores externos al tajo se puede observar claramente las bandas típicas de feldespatos y biotita plegadas, en la mina la roca tiene una textura de grano medio a grueso con cuarzo, ortoclasa, biotita y en menor cantidad por plagioclasas y moscovita ligeramente bandeada, también se puede observar algo de gneiss augen y gneiss pegmatítico y ocasionales diques de lamprófido.

Conglomerado Tinajones (Triásico superior - Jurásico inferior).

Aflora a 2.5 Km. al NE de Cerro Verde, compuesto de fragmentos redondeados y angulares de diferentes tamaños, caóticamente distribuidos. Los fragmentos son de gneiss, intrusivos graníticos antiguos, metacuarcitas y rocas volcánicas cementadas por una matriz gnéisica de color verde oscuro, yace en discordancia sobre el Gneiss Charcani e infrayace al Volcánico Chocolate.

Volcánico Chocolate (Jurásico Inferior)

Se encuentra al Norte y NW de Cerro Verde, está compuesto por derrames andesíticos y aglomerados de color verde y marrón oscuro con tufos y pizarras, infrayace en discordancia erosional a la Formación Socosani.

Formación Socosani (Jurásico Inferior- Medio)

Aflora en el Cerro Nicholson al NW de Cerro Verde, compuesto por calizas de grano grueso de color gris y algo más oscuro en las zonas pizarrosas, los niveles inferiores están recristalizados a mármol y sobreyace al Volcánico Chocolate en discordancia erosional con 40 m. de potencia.

Grupo Yura (Jurásico Superior-Cretáceo Inferior)

Aflora al Sur de Cerro Verde y sobreyace a la Formación Socosani en discordancia erosional, su potencia es de 500 m. Se han reconocido dos miembros de este grupo:

Formación Cachíos, intercalación de delgados estratos de lutitas, cuarcitas y areniscas cuarcíferas con esporádicos horizontes de calizas.

Formación Labra, paquetes de cuarcitas con areniscas tufáceas de colores verdosos y pizarras. Esta cortada por numerosos diques y sills de diorita.

Volcánico Toquepala (Cretáceo Superior – Paleoceno)

Aflora fuera del área a una distancia de 15 Km. al SE de Cerro Verde cerca de la mina Rescate.

Está compuesto por aglomerados, brechas volcánicas, derrames andesíticos y traquíticos de variados colores y tienen una potencia aproximada de 100 m.

Volcánico Sencca (Plioceno Superior).

Compuesto por pequeños afloramientos, uno de los cuales se encuentra al Norte de Santa Rosa. Son rocas tufáceas riolíticas o riodacíticas que contienen cuarzo, feldespatos y micas con fragmentos de pómez, su potencia aproximada de 50 m, es de color salmón.

Depósitos Recientes.

En las quebradas se puede observar materiales eluviales, coluviales y aluviales producto de la erosión, inclusive cenizas volcánicas.

Rocas Ígneas.

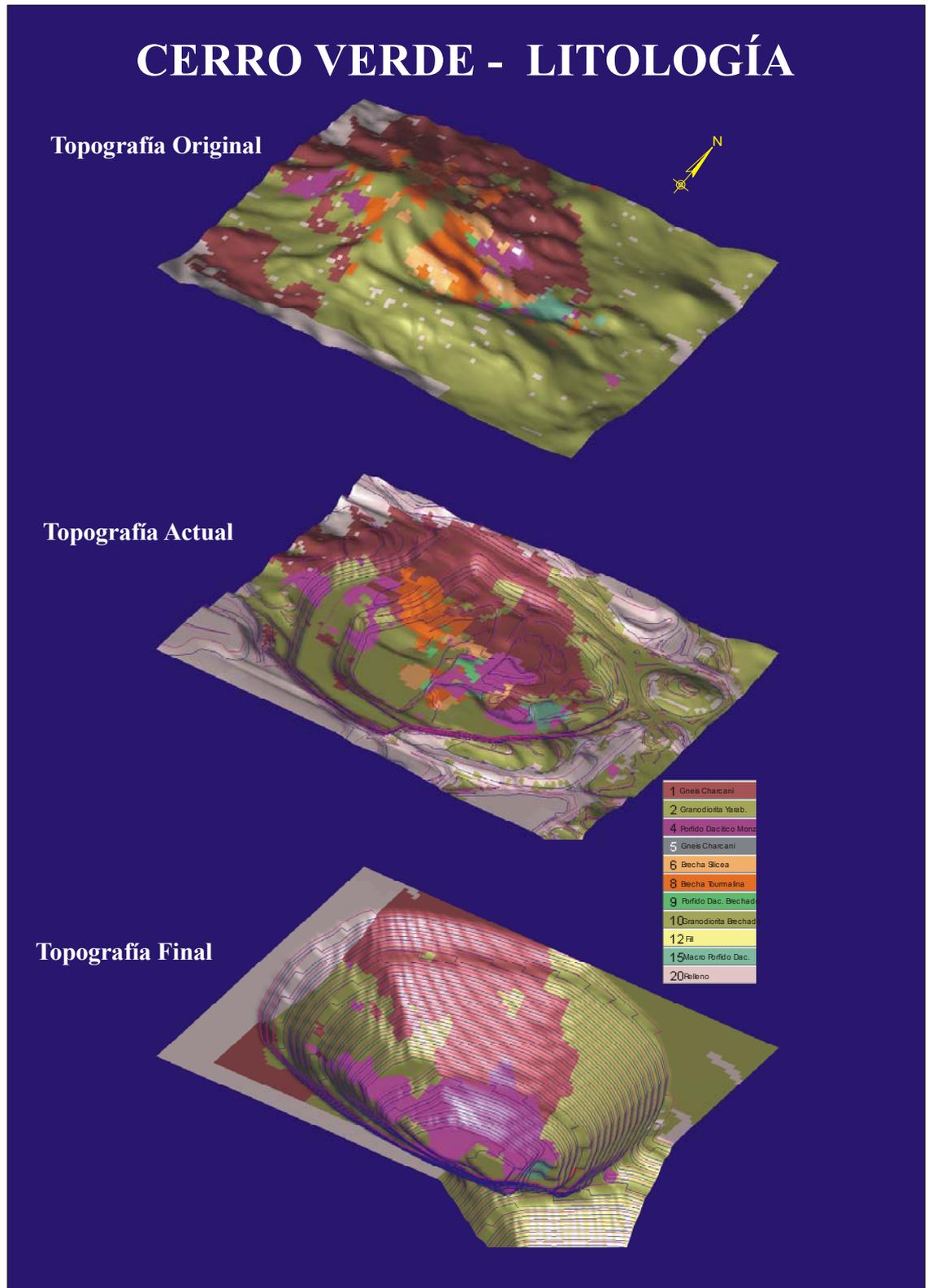
Las rocas ígneas más importantes del área pertenecen al Complejo intrusivo de La Caldera, comprende varias súper unidades emplazadas probablemente de acuerdo a la siguiente secuencia: Incahuasi (>100 Ma) - Linga (100? Ma) – Jahuay (87 Ma) – Laderas (?) – Tiabaya (80 -78 Ma) – Yarabamba (68 Ma) y los pórfidos de Cerro Verde y Santa Rosa (60 Ma). (Mukasa y Le Bel)

En el área tenemos los siguientes intrusivos de este complejo:

Granodiorita Tiabaya.

Aflora al NE de Cerro Verde, comparte su contacto sur, con el gneiss Charcani y la granodiorita Yarabamba y el contacto norte con el volcánico Sencca y el gneiss Charcani

Fig. N°2, Modelo tridimensional de litología.



La roca fresca es de color gris claro, por intemperismo toma color rosado, es de grano medio a grueso, sus minerales esenciales son plagioclasas, cuarzo, ortoclasa y como accesorios biotita, hornblenda, calcita, epidota, clorita y abundante magnetita. Su textura es más gruesa que la de la granodiorita Yarabamba.

La granodiorita Tiabaya está cortada por diques pegmatíticos y aplíticos, son comunes los xenolitos.

Granodiorita Yarabamba.

Prácticamente bordea al yacimiento a excepción del lado NW donde entra en contacto con el gneiss Charcani y los pórfidos Dacítico-Monzoníticos. Se prolonga y crece hacia el SE en donde rodea al pórfido de Santa Rosa y al prospecto Cerro Negro, al norte entra en contacto con la Granodiorita Tiabaya y por el lado sur con el Grupo Yura.

En general, su textura es de grano medio a fino y contiene plagioclasa, cuarzo, ortoclasa y biotita como minerales esenciales; los accesorios son hornblenda y magnetita principalmente.

Un cuerpo de Granodiorita Yarabamba Brechada, se localiza alrededor de la brecha Silícea y del cuerpo de pórfido Dacítico-Monzonítico en Cerro Verde y está en contacto al sur con la granodiorita Yarabamba de la cual se le considera sub-unidad.

Presenta textura brechoide, algo caótica, con fragmentos silíceos angulares a sub-angulares, de diferentes tamaños, en una matriz de granodiorita cruzada por venillas de cuarzo.

Pórfidos Dacítico-Monzoníticos.

Se encuentran ubicados al Este de Cerro Verde mayormente dentro de la Granodiorita Yarabamba, al norte entra en contacto con el gneiss Charcani, al SW comparte sus contactos con brechas de turmalina y sílice, en el lado NW se presenta algo brechado considerando a esta zona como sub-unidad. En Santa Rosa está al Oeste y rodeado por Granodiorita Yarabamba.

En Cerro Verde al lado Este entra en contacto con otro pequeño cuerpo de pórfido de grano más grueso probablemente posterior, que se encuentra poco alterado y mineralizado, se le ha denominado Macropórfido.

Presenta mayormente fenocristales de plagioclasas, biotita y cuarzo incluidos en una matriz microcristalina constituida por cuarzo, albita y ortoclasa. El macropórfido se puede diferenciar por el mayor desarrollo de la textura porfirítica y el menor grado de alteración y mineralización.

Brechas.

Un gran cuerpo alargado con rumbo NW-SE de brecha con matriz de turmalina al NW y sílice al SE fue reconocido en el área de Cerro Verde, aproximadamente de 1300 m. de longitud con anchos variables que llegaron a un máximo de 330 metros.

Brecha Turmalina.

Actualmente aflora al NW del tajo y presenta fragmentos angulosos a sub-redondeados de granodiorita y gneiss envueltos en una matriz de turmalina gris oscura a negra.

Brecha Cuarzo-Turmalina.

Formada por fragmentos angulares de las rocas circundantes, la matriz es microgranular de cuarzo-turmalina y en diversas zonas se encuentra en contacto con brechas silíceas.

Brecha Silícea.

Se encuentra al NW y S de la parte central del tajo; al W del contacto del pórfido con la Granodiorita; presenta clastos y matriz silícea

Brecha Dumortierita.

Es la menos abundante, un pequeño afloramiento de 240 x 170 m. se reconoció al inicio de las exploraciones. Con el minado, este cuerpo fue disminuyendo y desapareció a los 120 metros de profundidad.

De color azul-violáceo con abundante matriz de dumortierita y cuarzo presentaba fragmentos sub-redondeados de cuarzo de 1 a 5 cm. de diámetro.

Brecha de Guijarros (Pebble Breccia).

Consiste de pequeños y angostos diques de 10 a 60 cm. de potencia, con buzamientos casi verticales emplazados generalmente en fallas.

Están formados por fragmentos redondeados a sub-redondeados de gneiss, granodiorita y pórfido, en una matriz fina milonítica alterada y mineralizada.

Geología Estructural.

Las estructuras presentes en el área han sido reconocidas por mapeos e interpretación de fotografías aéreas, tienen una tendencia NW-SE concordante con la tendencia del sistema Incapuquio del sur del Perú.

Estas fallas transcurrentes tienen una orientación que varían entre 280° y 320° de azimut, con buzamientos entre 60° y 85° al NE y potencias variables.

Las principales fallas regionales son:

Falla Cenicienta	(~315°/80°)
Falla Variante	(~310°/65°)
Falla Jenks	(~330°/70°)
Falla Tinajones	(~317°/81°)
Falla Yura	(~315°/82°)

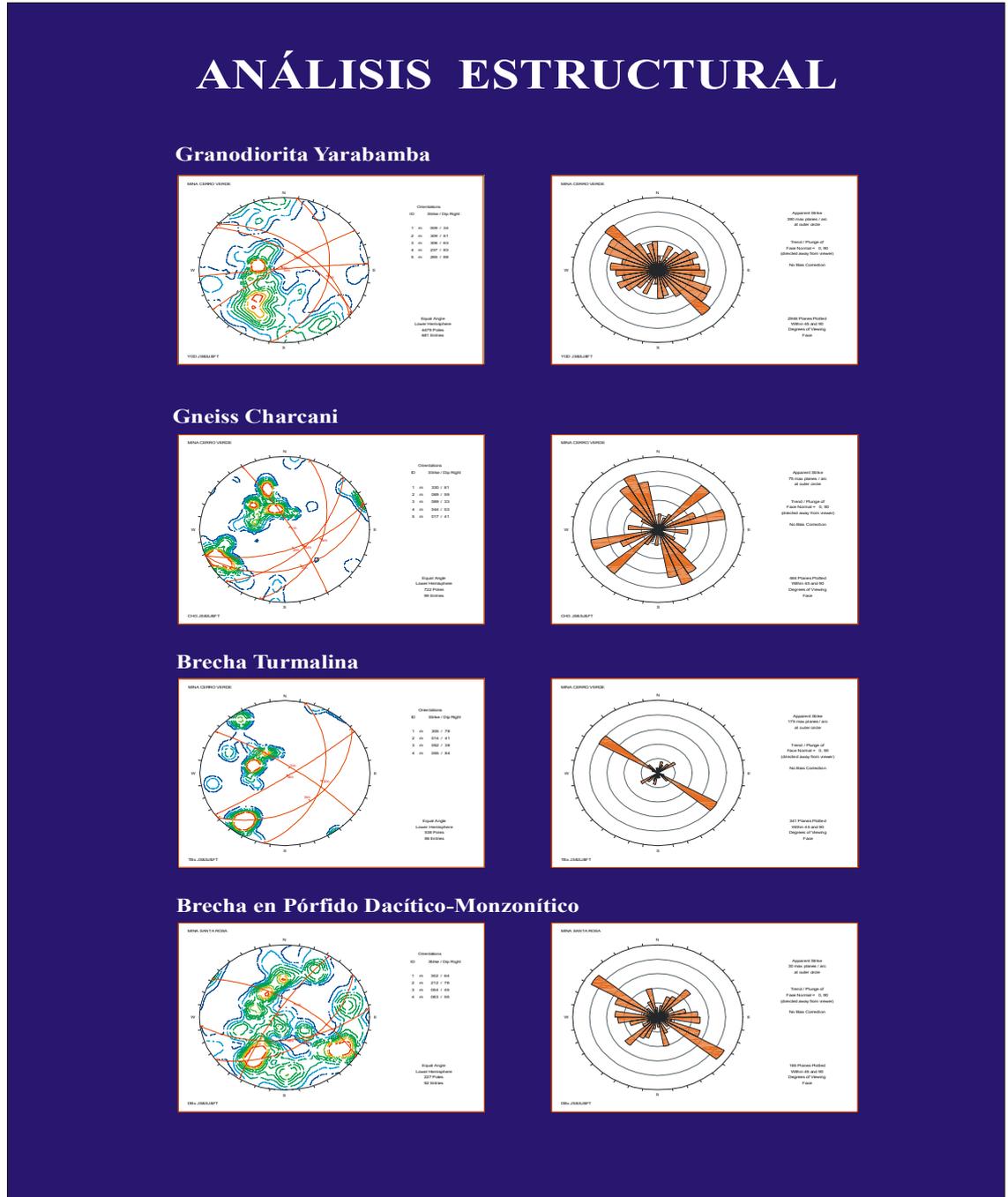
Mapeos recientes han reconocido claramente la Falla Tinajones en los tajos Cerro Verde y Santa Rosa con una potencia de 0.5 a 2 m.

Dentro del tajo el sistema de fracturamiento presenta una tendencia estructural predominante NW-SE igual que la regional.

El gneiss Charcani muestra una tendencia principal de 320° a 350° de azimut y buzamiento de 81° en promedio y otra tendencia secundaria entre 40° y 80° de azimut con buzamientos de 33° a 59°.

La Granodiorita Yarabamba principalmente muestra fracturamiento de 290° a 320° de azimut con buzamientos de 51° a 83° en promedio y una tendencia secundaria entre 50° y 100° de azimut y buzamientos entre 34° y 88°.

Fig. N°3, Análisis Estructural.



La Brecha Turmalina como tendencia principal muestra un azimut entre 300° y 310° con buzamiento de 78° en promedio.

La Brecha del Pórfido Dacítico-Monzonítico presenta una tendencia principal de 300° a 310° de azimut y un buzamiento 64° en promedio, otra secundaria de 20° a 50° de azimut con buzamientos entre 45° y 78°.

En el pórfido principal no se ha podido tomar suficiente información, para hacer un análisis estructural confiable, ya que no se encuentra lo suficientemente expuesto.

Alteración y Mineralización.

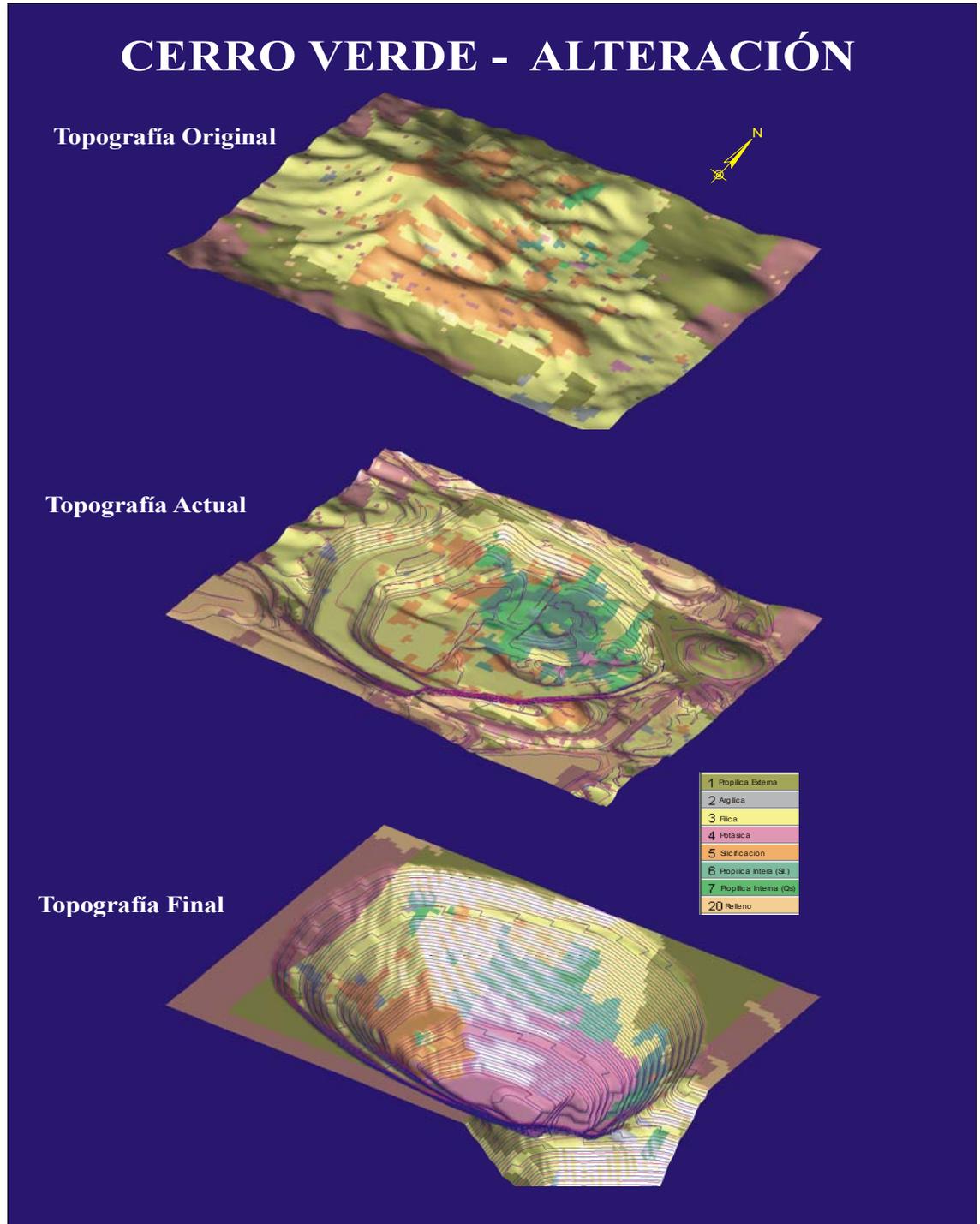
Las zonas de mineralización y alteración en Cerro Verde concuerdan en general con las descritas en otros pórfidos de cobre, pero muestran particularidades macroscópicas que detallamos a continuación.

Alteración.

En la parte central y reconocida por taladros diamantinos tenemos un núcleo con alteración potásica representada por ortoclasa, biotita, magnetita y anhidrita en cantidades y presentaciones variables. Los afloramientos de esta alteración actualmente están restringidos a pequeños cuerpos al Este del tajo que crecen en profundidad.

En los testigos de perforación la presencia y predominio de ortoclasa o biotita es aleatorio en los diferentes tipos de roca, se presenta tanto selectiva como pervasiva.

Las venillas de cuarzo pueden presentar diseminación muy fina, playas internas y/o finas salbandas de ortoclasa con colores que van del Fig. N°4, Modelo tridimensional de alteración.



rosado al marrón. Inclusive combinaciones de cuarzo con ortoclasa.

Venillas irregulares de ortoclasa se observan esporádicamente, de anchos menores a un milímetro

La magnetita se presenta mayormente diseminada, las manchas y venillas son esporádicas.

La biotita de color negro a pardo, invade pervasivamente al testigo en zonas. Las venillas de biotita son escasas y mayormente se encuentran cloritizadas.

Un poco antes de llegar a esta alteración se ha observado en los testigos de perforación venillas yeso; esporádicas de anhidrita y el reemplazo selectivo y zonado de las plagioclasas por feldespatos potásico que indican su cercanía.

También se observa siderita en algunas fracturas y trazas de calcita en los bordes de las venas de yeso. El ratio py/cpy es 1:1 inclusive se observa el predominio de la calcopirita sobre la pirita. La molibdenita está presente como trazas diseminadas muy finamente y ocasionalmente en algunas venillas de cuarzo como inclusiones o en los bordes.

Prácticamente bordeando y hacia arriba del cuerpo de alteración potásica se nota incremento notable de la clorita con trazas de epidota que dan a las diferentes rocas una tonalidad verdosa que puede variar de intensidad por la presencia de sílice pervasiva o por la sericitización selectiva de los feldespatos y la invasión de albita en la matriz de la roca.

Se le ha llamado propílica interna y se le ha diferenciado en silicificada y cuarzo sericítica.

La mineralización de calcopirita muy finamente diseminada, en parte dentro de núcleos de clorita, es tan buena como en la alteración potásica. Podría tratarse de una sobre imposición del halo propilítico del macropórfido Dacítico-Monzonítico (segundo pulso).

La alteración filica está representada por cuarzo, sericita y pirita, ocasionalmente no se observa pirita. En zonas de los diferentes tipos de roca la textura ha sido completamente destruida.

El predominio de cuarzo o sericita es variable, observándose un incremento en cantidad y tamaño de la pirita cuando se incrementa la sericita. El ratio py/cpy en esta es 2:1.

El stockwork de venas de cuarzo se incrementa de débil a moderado, en estas zonas y la mineralización de calcopirita disminuye con respecto a la alteración potásica. Las trazas de molibdenita diseminada son más finas y las venillas son esporádicas.

Un cuerpo silicificado se manifiesta en profundidad hacia el Oeste en donde la sílice pervasiva predomina ampliamente sobre la sericita. La calcopirita finamente diseminada es la característica principal, la molibdenita esta en trazas y ocasionalmente se puede observar algo cristalizada en muy esporádicas fracturas, pero no en toda la fractura sino como manchas.

La alteración propílica envuelve a todas las anteriores predominando la clorita. La epidota diseminada está presente en menor

cantidad al igual que la calcita, este halo propílico disminuye gradualmente hacia la parte externa. El ratio en promedio es de 15:1

La alteración argílica no representa una cantidad importante, solamente se manifiesta cerca de estructuras donde la hidrólisis ha sido tan intensa que ha destruido a la roca.

Turmalina diseminada se presenta eventualmente en todo tipo de roca o alteración, las venillas son escasas. En las brechas se incrementa.

La alteración supérgena se caracteriza por la caolínita, es la variedad de arcilla más representativa de la zona con menor sericita, se reconoce por su color blanquecino y por ser higroscópica.

Venas de alunita están presentes en el Gneiss, la Granodiorita Yarabamba y la brecha silícea.

Estas venas llegan hasta la zona de sulfuros secundarios del lado sur que están en granodiorita y parte en brecha silícea con potencias que van desde milímetros hasta 2 o 3 cm. de potencia.

En el gneiss del lado NW zona lixiviada se ha encontrado venillas de alunita que tienen potencias que van de milímetros hasta 3 cm. de color amarillo y blanco.

Mineralización.

En Cerro Verde el encape lixiviado es predominantemente hematítico con cantidades menores de jorosita y goethita. La granodiorita Yarabamba y la

Brecha turmalina son las rocas en las que mejor se ha desarrollado, llegando hasta 300 m. de profundidad con un promedio de 70 m.

El cuerpo de óxidos de Cerro Verde ha sido prácticamente minado y estuvo expuesto en superficie en un cuerpo ligeramente elíptico 400 x 300 m, con una potencia promedio de 50 m. llegando en algunos taladros a sobrepasar los 100 m. El mineral predominante fue la Brocantita con cantidades menores de pitch de cobre, crisocola, malaquita, cuprita, tenorita, neotosita y antlerita.

La zona de sulfuros secundarios se encuentra actualmente en explotación y tiene potencias variables que han llegado en algunos taladros hasta 200 m.

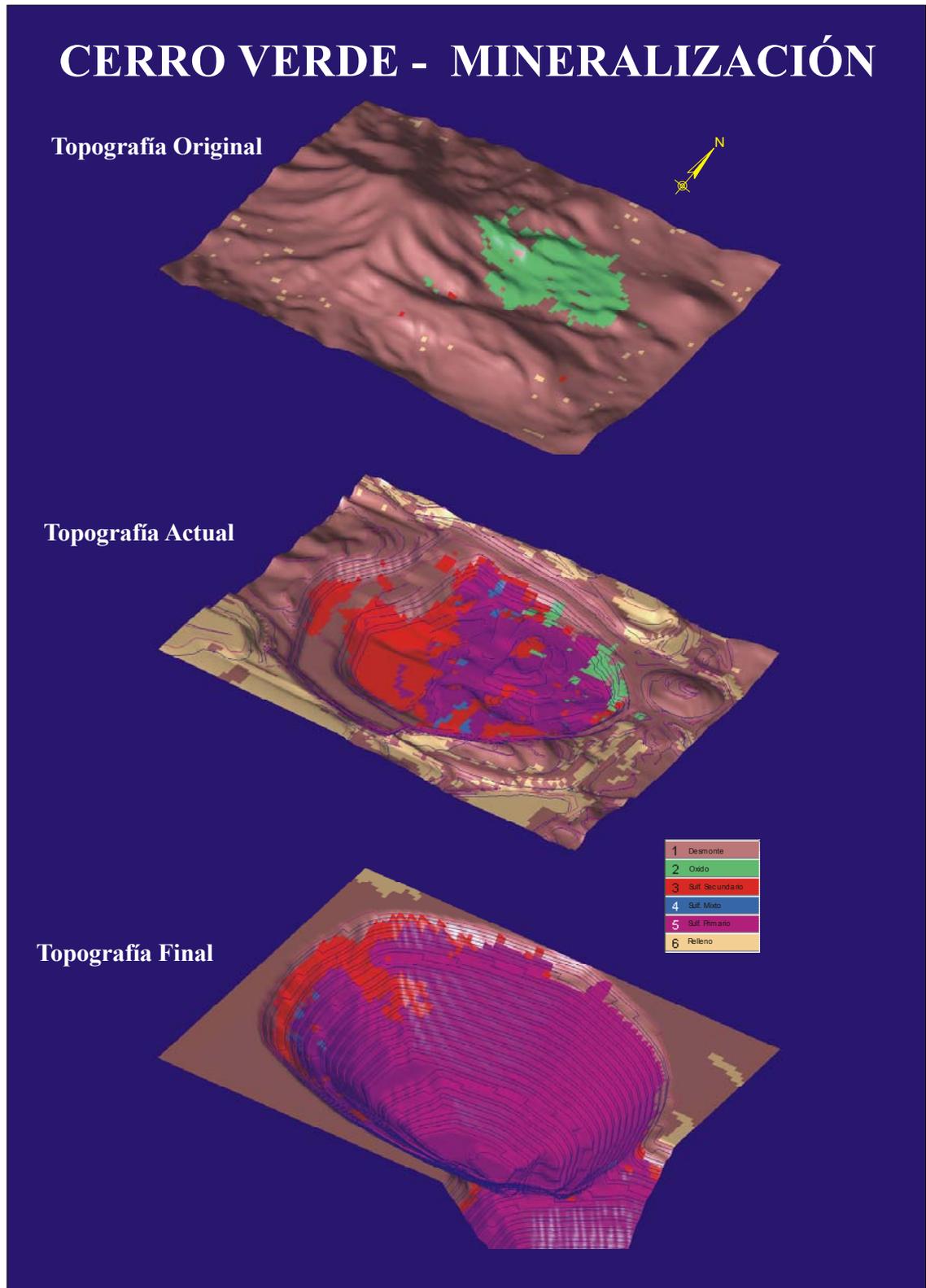
El cuerpo de sulfuros secundarios esta mayormente desarrollado en el lado oeste, con un promedio de 80 m. aproximadamente.

La calcosita es el mineral predominante en esta zona, ocasionalmente se observa covelita, digenita y bornita. Prácticamente toda la pirita y calcopirita ha sido reemplazada por la calcosita.

En la zona de contacto con los sulfuros primarios la presencia de calcosita es variable determinando una zona transicional que puede contener hasta el 30% de calcosita y donde predomina la calcopirita.

Los sulfuros primarios son los más abundantes en el yacimiento y están constituidos principalmente por calcopirita, la mayor proporción está finamente diseminada en la roca, las venillas de calcopirita pura son poco frecuentes, notoriamente se le encuentra en algunas venas de cuarzo como manchas dando apariencia de una vena discontinua que al ser fracturada muestra manchas de calcopirita espaciadas.

Fig. N°5, Modelo tridimensional de mineralización.



La molibdenita se presenta mayormente diseminada y en eventuales venillas con cuarzo. Las venillas de molibdenita pura son muy escasas y llegan a medir hasta 2 mm. En esporádicas fracturas cristalizada.

La pirita también está diseminada mayormente y las venas son también escasas, algunas muy esporádicas presentan un halo de sericita con clorita exterior.

Recursos.

Más de 217 mil metros de perforación y mucho trabajo geológico de varias décadas han contribuido en el conocimiento del pórfido de cobre y molibdeno de Cerro Verde.

El adecuado registro y estructuración de las bases de datos con la información de logueos, ensayos e interpretaciones han permitido modelar el yacimiento y calcular con bastante precisión su potencial.

El recurso geológico es de 3,128 millones de toneladas con 0.49% de cobre total y las reservas minables, de 1,815 millones con 0.48% de CuT.

La ley de corte para sulfuros primarios es 0.25% de CuT., para los sulfuros secundarios depende de la ley de CuT. y el contenido de cobre soluble para determinar si va a chancado o se lixivia tal cual salió de la mina.

Para el mineral que va a chancado la ley de corte es 0.25% CuT y para el que se lixivia sin chancado es 0.07% de CuT.

Las reservas minables de sulfuros primarios representan el 79% de las reservas y tienen la siguiente distribución por tipo de roca:

Tipo de Roca	%	Ley CuT.
Granodiorita Yarabamba	58	0.48
Pórfido Dacítico- Monzonítico	26	0.53
Gneiss Charcani	10	0.57
Brechas	6	0.64

La distribución por tipo de alteración es:

Alteración	%	Ley CuT.
Fílica	40	0.46
Propilítica Interna (Sil)	19	0.58
Potásica	17	0.60
Silicificación	10	0.51
Propilítica Externa	7	0.38
Propilítica Interna (QS)	6	0.59
Argílica	1	0.40

El 21% restante lo constituyen los sulfuros secundarios que se lixiviaran como se ha venido haciendo los últimos 28 años.

Agradecimiento.

A todos los geólogos que contribuyeron con su trabajo y dedicación al conocimiento de este importante yacimiento.

Al actual equipo de geólogos por su apoyo en la preparación de este trabajo, sin ellos no hubiera sido posible.

A la gerencia de Sociedad Minera Cerro Verde por permitir la presentación del mismo y a los organizadores de proExplo2005 por invitarnos a participar en tan importante evento.

Referencias.

Chang X. Quang, Alan H. Clark, James K.W.I Lee y Jorge Guillen; boletín 98 Economic Geology 2003. "40Ar-39Ar Ages of Hypoge and Supergene Mineralization in the Cerro Verde-Santa Rosa Porphyry Cu-Mo Cluster, Arequipa, Peru".

Cyprus Climax Metal Company 1995; reporte interno; A. Plazolles, F, Linares y S. Canchaya, Sociedad Minera Cerro Verde; "Geología de los Pórfidos de Cerro Verde y Santa Rosa".

García W.; Servicio de Geología y Minería del Perú 1968; boletín N° 19; "Geología de los cuadrángulos de La Joya y Mollendo".

INGEMMET 1995; boletín N° 55; "Geología del Perú".

Kihien A. Minero Perú, 1975; "Alteración y su Relación con la Mineralización en el Pórfido de Cobre de Cerro Verde"

Martínez W. y Cervantes J., boletín N° 26 INGEMMET 2003, "Rocas Ígneas en el Sur del Perú".

Phelps Dodge Corporation 2003, Departamento de Geología Cerro Verde reporte interno "Reserve Model 12-A Cerro Verde, Santa Rosa y Cerro Negro"

Perea E., Bedoya R. y Valencia F. Minero Perú 1980; "Informe Geológico Final Cerro Verde – Santa Rosa".

Ponzoni E. INGEMMET 1980; "Estudio de la Metalogenia del Perú".

Steinmüller K. INGEMMET 1999; "Depósitos Metálicos del Perú".