

EL YACIMIENTO EPITERMAL DE Au – Ag DE BAJA SULFURACION ARES: DESCUBRIMIENTO, GEOLOGIA Y GEOQUIMICA

Hugo Candiotti de los Rios

Mauricio Hochschild & Cia. Ltda. S.A.C. - Pasaje El Carmen No.180, Surco –Lima, Perú

Leandro Echevarria Cairoli

Mauricio Hochschild Arg. S.A. - Granaderos 1365,(5500) Mendoza - Argentina

RESUMEN

El yacimiento de Ares, constituido por vetas epitermales de oro y plata de baja sulfuración, se encuentra ubicado a 150 Km. al noroeste de la ciudad de Arequipa a una altura de 4930 m. Ocurre dentro de una amplia franja volcánicas del sureste del Perú, conjuntamente con los yacimientos epitermales del mismo tipo: Arcata, Orcopampa, Caylloma, Sucuytambo, Chipmo y Shila. Esta franja esta constituida mayormente por rocas volcánicas de composición intermedia a ácida, depositadas en el Cenozoico durante un mayor periodo de tectonismo, magmatismo y metalogénesis de los Andes Centrales.

Ares fue descubierto en el año 1988 por los geólogos del Grupo Hochschild, dentro de una región muy conocida desde la colonia, mediante el uso de métodos básicos y tradicionales de exploración .El prospecto fue inicialmente identificado por su notable anomalía de color observable en fotografías aéreas y desde el cerro Cajchaya. Los subsiguientes trabajos de exploración, que condujeron a su descubrimiento, consistieron en una cuidadosa observación y mapeos geológicos detallados, combinados con muestreos geoquímicos orientados y selectivos de los cortos y escasos afloramientos de veta.

La producción de la mina se inicio en el año 1998 con la puesta en operación de una planta de lixiviación por cianuración y agitación de 750 t/día, con proceso de recuperación Merrill Crowe, que ha producido hasta la fecha alrededor de 1.2 millones Oz .de oro y 15.0 millones de Oz. de plata, convirtiéndose Ares en el yacimiento de oro en vetas mas productivo del país.

Las vetas del yacimiento, parcialmente ciegas y con afloramientos de solamente algunos metros, ocurren rellenando fallas dentro de un área semicircular de tufos ácidos alterados que tiene un diámetro de 1.7 km. y muestra una notable anomalía de color .Esta área se encuentra circundada a manera de una "ventana volcánica" por lavas y aglomerados de andesita vesiculares y andesita basáltica extruídas a través de conductos centrales y fisurales de los volcanes adyacentes Cajchaya y Hujrahui. En la parte central del área ocurre también un domo de dacita moderadamente silicificada y cruzada por vetillas de cuarzo con valores anómalos de oro y plata.

La veta principal Victoria y las vetas productivas Maruja y Lula rellenan fallas normales que poseen un rumbo general NE/SO y buzamientos semi verticales y las otras vetas menores Guadalupe y Tania, pobremente mineralizadas y desarrolladas, se encuentran alojadas en fallas de rumbo que siguen la orientación regional NO/SE.

La veta Victoria, que solamente exhibe un afloramiento corto de 36 m. ha sido desarrollada conjuntamente con su numerosos ramales a lo largo de 2200 m. en el nivel 4826 de la mina. El horizonte mineralizado de la veta, sin considerar sus ramales, muestra anchos que varían de 1 a 10.m., tiene una longitud de 1200m y una extensión vertical de 270 m . La localización, forma y tamaño del horizontes de

mena de la veta, así como el cambio de buzamiento, muestran características de haber sido controlados por variaciones estructurales, que fueron motivados por cambios litológicos de las rocas de caja que varían de tufos poco compactados en superficie a rocas más competentes y quebradizas del domo de dacita y las lavas de andesita en profundidad. La base del horizonte mineralizado de la veta, termina casi abruptamente y con algunos tramos cortos discontinuos de mayor ley de plata que se prolongan en profundidad como clavos conteniendo mayor cantidad de sulfuros de hierro y metales base. Se postula que estas prolongaciones, representan los paleocanales por donde inicialmente ascendieron las soluciones mineralizantes para formar en un nivel más favorable la franja horizontal mineralizada de la veta. La edad de la mineralización fue estimada en 12,5 Ma. en adularia y al parecer se inició en el Mioceno medio después de un corto periodo que siguió al emplazamiento del domo de dacita.

El relleno de veta está dominado por la ocurrencia de varias generaciones de cuarzo y calcedonia muy fracturados y brechados por diferentes etapas de reactivación, sin y post mineral, de la falla que rellenan. Sin embargo, es todavía posible observar en algunos tramos de veta, las texturas típicas de vetas epitermales de baja sulfuración, constituidas por bandas alternas colofórmicas y crustiformes de cuarzo y calcedonia, acompañados por pseudomorfos de cuarzo después de calcita lamelar y adularia, intercaladas con finas bandas oscuras de cuarzo gris con diseminaciones microscópicas de sulfosales de plata y sulfuros y, finas bandas blancas de illita y caolinita. El contenido de sulfuros de hierro, pirita y marcasita en la veta, es típicamente escasa (<1 % por volumen), pero están presentes en mayor cantidad que los sulfuros de metales base esfalerita, galena y calcopirita. La mineralización de mena es rica en plata con una relación Ag /Au de 16/1 y esta constituida por pirargirita, tetraedrita (freibergita) y acantita. El oro ocurre como finas diseminaciones de oro nativo y electrum con tamaños que fluctúan entre 10 y 100 micrones, en forma libre e intercrecidos con pirargirita y esfalerita. La pirargirita ocurre mayormente remplazando a la pirita y freibergita. Y la acantita reemplaza a su vez a la pirargirita y freibergita. La marcasita ocurre en los tramos más superficiales de la veta.

En los niveles superiores donde las rocas de caja son tufos, la veta se encuentra flanqueada por una aureola ancha de alteración argílica que gradúa hacia la periferie de caolinita a illita /clorita con una silicificación muy débil y escasas diseminaciones de pirita. En cambio, la parte inferior de la veta alojada en dacita, se encuentra flanqueada por una franja angosta de alteración argílica que gradúa lateralmente de caolinita e illita con diseminaciones de pirita, adyacente a la veta, a illita /caolinita y finalmente a illita/smectita. Es notable la presencia de caolinita e illita, dentro del relleno de veta, no obstante que estos dos minerales se forman en diferentes ambientes físico-químicos. Los análisis de rayos x de muestras tomadas en diferentes partes de la veta, indican una relación genética más estrecha entre la ocurrencia de la illita y la mineralización de mena.

En la veta Victoria, se han reconocido hasta tres etapas principales de mineralización de cuarzo y mena, producidos como resultado de la evolución físico-químico de las soluciones mineralizantes, relacionados con periodos episódicos de actividad tectónica de la estructura de veta. Así en los periodos de actividad, al ascender las soluciones hidrotermales calientes saturadas con sílice y conteniendo gases reactivos y elementos metálicos, depositaron como resultado de un proceso de ebullición y mezcla de aguas meteóricas, las diferentes bandas alternadas de cuarzo, calcedonia, adularia, illita y los minerales de mena. Mientras que en los periodos de reposo, al producirse el colapso del sistema hidrotermal, la percolación de aguas superficiales menos calientes y con un pH más bajo, depositaron dentro de la veta caolinita sin mayor relación con la mineralización de mena.

INTRODUCCION

El yacimiento de oro y plata en vetas epitermales de baja sulfuración Ares, se encuentra localizado a una altura de 4930 m. y a 150 Km. al noroeste de la ciudad de Arequipa (Fig. 1). Ocurre conjuntamente con los yacimientos del mismo tipo: Arcata, Orcopampa, Caylloma, Sucuytambo y Shila, dentro de una amplia franja volcánica Cenozoica del sureste del Perú. (Stephan, 1974; Silberman, et al., 1985; Vidal, et al., 1989; Gibson, et al., 1990; Candiotti, et al., 1990; Candiotti y Guerrero, 2000; Echevarria, 2004)

Exploración y descubrimiento de Ares

Ares fue descubierto en el año 1988, por los geólogos del Grupo Hochschild mediante el uso de métodos básicos y clásicos de exploración, dentro de una región muy conocida y explorada desde la colonia. El área del prospecto, fue inicialmente identificado como un objetivo de exploración por exhibir una notable alteración hidrotermal con una intensa anomalía de color, rodeada por rocas volcánicas frescas, observable en fotografías aéreas y desde la cumbre del vecino cerro Cajchaya, por cuya ladera sur transcurre la carretera Caylloma-Orcopampa-Arcata. (Fig. 2).

En el primer reconocimiento de campo del área, se encontraron solamente escasos afloramientos cortos de vetas de cuarzo de algunos metros en tufos alterados, sin evidencias de haber sido muestreadas con anterioridad, junto a una pequeña laguna y un domo volcánico de dacita silicificada y cruzado por vetillas de cuarzo. Las primeras muestras tomadas de estos afloramientos fueron ensayadas únicamente por plata y los resultados arrojaron valores bajos entre 2 a 3 Oz/t.

Los subsiguientes trabajos de exploración que realmente condujeron a su descubrimiento, consistieron en una cuidadosa observación geológica y mapeos detallados combinados con muestreos geoquímicos orientados y selectivos de los escasos y cortos afloramientos de veta. Otros factores importantes, para apreciar el potencial económico de las vetas parcialmente ciegas de Ares y recomendar los subsiguientes trabajos de exploración, fueron la experiencia y conocimiento de los geólogos en la exploración de ambientes epitermales de baja sulfuración. Las muestras recolectadas en esta etapa, fueron ensayadas esta vez por oro y plata, las que indicaron valores entre 10 y 23 Gr Au/t y de 5 a 7 Oz Ag/t., que sirvieron de base para seleccionar la mejor estructura de veta para iniciar la exploración subterránea en Ares.

A principios del año 1989, se inició la exploración subterránea en la veta Victoria, debido a que su corto afloramiento de 36 m. exhibía texturas típicas de vetas epitermales con valores más altos de Au. y Ag. Para conocer las características estructurales y grado de mineralización de la veta en profundidad, por la falta de un desnivel topográfico en el área, se optó por excavar dos labores mineras inclinadas a lo largo del rumbo de la misma, hasta una profundidad de 100m por debajo de la superficie. Una de las labores, se situó cerca del afloramiento corto de veta y la otra a una distancia de 270m. al este de la primera en un tramo sin afloramiento de veta, para lo cual tuvo que ubicarse primero la continuación de esta, mediante excavaciones de trincheras transversales. En las labores inclinadas, la veta se mostró como una estructura continua y definida, con relleno de cuarzo y sílice coloidal bandeado y brechado por una reactivación de la falla que la alberga. Posteriormente, al fondo de estas labores, la estructura de veta fue desarrollada lateralmente a lo largo de un tramo de 1200m. con mineralización de oro y plata continua y definida tipo bonanza.

En base a los buenos resultados obtenidos, con los trabajos arriba mencionados, y después de la ejecución de un programa de perforaciones diamantinas por debajo del nivel explorado con una galería, se procedió con el desarrollo de una rampa de acceso hasta una profundidad de 270m como parte del desarrollo y preparación de mina. Esta rampa, fue también aprovechada para desarrollar dos cruceros a una profundidad de 120 m. hacia el norte y sur de la veta Victoria que interceptó las vetas menores con afloramientos parcialmente ciegos Maruja, Lula y Tania.

La producción de la mina se inició en el año 1998, con la puesta en operación de una planta de lixiviación por cianuración y agitación, con proceso de recuperación Merrill Crowe, de una capacidad de 750 t/día

que ha producido hasta la fecha alrededor de 1.2 millones de Oz. de oro y 15.0 millones de Oz. de plata,, convirtiéndose Ares en un yacimiento de oro en vetas más productivo del país.

Durante los años 2002 y 2003, en el marco de un convenio entre el Grupo Hochschild y Colorado School of Mines, se efectuaron trabajos adicionales de campo e investigaciones de laboratorio con la finalidad de obtener información complementaria orientada a definir nuevos objetivos de exploración para incrementar reservas y recursos de minerales.

Los resultados de los trabajos de campo e investigaciones de laboratorio realizados hasta la fecha, fueron integrados y evaluados con la finalidad de interpretar los mecanismos de la mineralización en las vetas parcialmente ciegas en el yacimiento. Esperamos que la información contenida en el presente artículo, pueda tener una aplicación práctica en la exploración de yacimientos epitermales similares con vetas parcialmente aflorantes.

GEOLOGIA REGIONAL

Ares conjuntamente con los yacimientos epitermales Arcata, Orcopampa, Chipmo, Shila, Caylloma y Sucuytambo ocurren dentro de una amplia franja volcánica de la Cordillera Occidental del sureste del Perú, constituida por rocas volcánicas de composición intermedia a ácida, depositadas en el Cenozoico durante un mayor periodo de tectonismo, magmatismo, y metalogénesis en los Andes Centrales. Las edades de estas rocas, fluctúan mayormente entre el Mioceno inferior y el Plioceno superior (McKee y Noble, 1989; Clark, et al., 1990; Nobel, et al., 1999). Las rocas volcánicas, constituidas por un secuencia de lavas y piroclásticos, suprayacen discordantemente a formaciones sedimentarias plegadas de origen marino de edad Jurásica- Cretácica.

GEOLOGIA DEL YACIMIENTO

El ambiente geológico del yacimiento, está constituido mayormente por tufos poco compactados y argilizados que afloran dentro de un área semicircular de aproximadamente 1.7 Km de diámetro ("ventana volcánica alterada"), rodeada por rocas volcánicas frescas y más recientes, provenientes de 2 volcanes vecinos. Las rocas volcánicas que cubren el lado sur del área alterada, están conformadas por lavas vesiculares y aglomerados de andesita extruidos del conducto central y fisuras del volcán erosionado Cajchaya. Y hacia el norte, el área está rodeada por lavas de andesita basáltica Cuaternaria provenientes del volcán más joven Huajrahuiri. (Fig. 2 y 3).

En la parte central del área alterada, ocurren solamente escasos afloramientos de pocos metros de vetas bandeadas de cuarzo y sílice coloidal alojadas en tufos argilitizados y muy cerca a una pequeña laguna circular Cajchaya, que al parecer ocupa una posible chimenea volcánica explosiva (Maar) asociada con un domo volcánico de dacita que aflora parcialmente con una silicificación moderada y cruzado por numerosas vetillas de cuarzo.

En el interior de la mina, el domo de dacita se extiende lateralmente por debajo de los tufos alterados, con una textura porfirítica y afectado con un mayor grado de silicificación y localmente argilitizado y cloritizado cerca de las vetas. Los fenocristales de plagioclasa se encuentran totalmente remplazados por cuarzo e illita y los minerales máficos están enteramente reemplazados por cuarzo y clorita. En los sectores donde la alteración es menos destructiva, se observan que la matriz con un porcentaje elevado de vidrio volcánico, muestran abundantes esferulitas de recristalización hasta de 2 cms. de diámetro, generalmente alrededor de fenocristales de plagioclasa. Esta dacita constituye la principal roca de caja de las vetas productivas en Ares y ha sido interpretada en base a sus características, como un posible cuerpo tipo criptodomo, parcialmente emplazado muy cerca a la superficie, después de atravesar un secuencia de lavas de andesita tufos de edad Mioceno Inferior (20.8 Ma.) .Debido al intenso grado de alteración hidrotermal que sufrió el domo no fue posible determinar su edad radiométrica (Echavarría, 2004); sin embargo, es posible que se emplazó a fines del Mioceno medio, conjuntamente con otros

domos de riolita fresca de edad 13.7 Ma. que ocurren a 2 Km en el borde noreste del área alterada emplazados en fallas regionales. Las edades de estas rocas, fueron determinadas por el método de datación Ar^{40}/Ar^{39} en el Laboratorio del USGS de Denver.

SISTEMA DE VETAS EPITERMALES

Las características geológicas superficiales del yacimiento, anteriormente mencionadas, dificultan en gran medida realizar una interpretación de las relaciones estructurales, la distribución y tamaño de las estructuras de veta en superficie; sin embargo, las labores mineras de exploración y desarrollo subterráneas han puesto en evidencia 2 sistemas de vetas bien definidas en el Nivel 4826 de la mina. El primero, constituido por la veta principal Victoria y las vetas menores Maruja y Lula que rellenan fallas normales dextrales de rumbo general NE/SO y buzamientos subverticales. Y el segundo, por las vetas poco desarrolladas y pobremente mineralizadas Guadalupe y Tania, que ocupan fallas de rumbo NO/SE que siguen la dirección estructural regional. (Fig.4)

La localización y el grado de mineralización de los horizontes de mena en las vetas del primer sistema, muestran evidencias de haber sido controlados por una mayor permeabilidad para la circulación de las soluciones mineralizantes, originado por varias etapas de reactivación de las estructuras de fallas normales que rellenan. Y los cambios de buzamiento en estas, fueron producidos por variaciones litológicas de las rocas de caja, de tufos poco compactados en los niveles superiores a rocas más competentes y quebradizas del domo de dacita y lavas de andesita en profundidad.

Contrariamente, la pobre mineralización de Ag-Au en las vetas del segundo sistema alojadas en fallas de rumbo, se debió a la poca dilatación y permeabilidad de estas para la circulación de las soluciones mineralizantes; y también a que estas, al parecer se sellaron inmediatamente después de una primera etapa de mineralización de cuarzo y sílice coloidal sin mayor contraste textural y acompañada solamente por cantidades trazas de sulfuros de hierro.

A continuación se describen las características geológicas y geoquímicas de la principal veta Victoria, con la finalidad de interpretar la posible evolución de las condiciones físico-químicas de las soluciones hidrotermales, que originaron la mineralización de mena en las vetas productivas de Ares.

VETA VICTORIA

La veta principal Victoria, que solamente exhibe como expresión superficial un afloramiento de 36 m. de longitud de cuarzo y calcedonia bandeado, ha sido desarrollada conjuntamente con sus ramales orientales Ramal Victoria y Split Victoria, a lo largo de 2200m. en el nivel 4826 de la mina, mostrándose como una estructura definida y con mineralización continua de Au y Ag tipo bonanza en profundidad.(Fig. 5 y 11). El horizonte de mena de la veta Victoria, sin incluir sus ramales tiene una longitud de 1100m, anchos que fluctúan de 1.0 a 10m y se extiende verticalmente desde superficie hasta 270 m. de profundidad. La veta rellena una falla normal con un salto estructural de 50m. presentándose mayormente como una estructura delgada con anchos de 1.0m en los niveles superiores donde las rocas de caja son tufos poco compactados. Y continúa en profundidad, dentro del domo de dacita más competente y fracturable, con un cambio de buzamiento, varios ramales y anchos mayores que alcanzan hasta los 10m. (Fig.6).

La base del horizonte de mena, termina casi abruptamente, con algunos tramos cortos discontinuos con mayor ley de plata que se prolongan en profundidad a manera de clavos conteniendo mayor cantidad de sulfuros de hierro y metales base. Estos tramos, que también ocurren en la base de mineralización de las vetas de los yacimientos vecinos Arcata y Caylloma (Candiotti, et al.,1990), al parecer representan los paleocanales por donde inicialmente ascendieron las soluciones mineralizantes para formar el horizonte de mena al circular lateralmente en un nivel más alto y dilatado de la veta.(Fig. 11)

La veta, está constituida principalmente por varias generaciones de cuarzo y calcedonia bandeados, mayormente fracturados y brechados con matriz de minerales arcillosos, originados por varias etapas de reactivación episódica, sin y post-mineral, de la falla que rellena; siendo esta la causa de que la veta sea deleznable y no muestre afloramiento.(Candiotti y Guerrero , 2000).

No obstante el fracturamiento y brechamiento sufrido por la veta, es todavía posible observar en algunos tramos de esta, las texturas típicas de vetas epitermales de baja sulfuración (Fig.7). La veta muestra bandas alternadas colofórmicas y crustifórmes de cuarzo de grano grueso y fino y calcedonia, acompañados por adularia y pseudomorfos de cuarzo después de calcita lamelar, intercaladas con finas bandas oscuras de sílice gris con diseminaciones microscópicas de sulfosales de plata y sulfuros y, finas bandas blancas de caolinita e illita. (Fig.8, A, B y C) El contenido de sulfuros de fierro, pirita y marcasita, es típicamente escasa (<1% por volumen), pero están presentes en mayor cantidad que los sulfuros de metales base esfalerita, galena y calcopirita. La mineralización de mena es rica en plata con una relación Ag/Au de 16/1 y esta constituida por pirargirita, tetraedrita(freibergita) y acantita. El oro ocurre como finas diseminaciones de oro nativo y eléctrum con tamaños que fluctúan entre 10 y 100 micrones en forma libre e intercrecidos con pirargirita y esfalerita. La pirargirita se presenta mayormente remplazando a la pirita y esfalerita. Y la acantita reemplaza a su vez, a la pirargirita y freibergita. La marcasita ocurre en los tramos más superficiales de la veta. (Fig. 9 y10).

La edad de la mineralización, fue estimada en 12.5 Ma. en adularia por el método Ar^{40}/Ar^{39} y al parecer se inició en el Mioceno medio después de un corto periodo que siguió al emplazamiento del domo de dacita. Y que posiblemente la cámara magmática donde se originó esta roca, fue la fuente de los elementos metálicos y también proporcionó el calor necesario que impulsó el sistema hidrotermal en el yacimiento.

En la veta Victoria , es difícil de observar un zonamiento mineralógico, debido al tamaño microscópico de los minerales de mena; sin embargo, existe una distribución geoquímica gradual tanto lateral y vertical de los valores de oro y plata controlados por las rocas de caja y la estructura de falla que la alberga. El horizonte con valores más altos de oro, ocupa en la veta un nivel mas elevado con respecto al horizonte de plata y como resultado el cociente Ag /Au aumenta gradualmente en profundidad y disminuye hacia la superficie. (Fig.11).

Mineralogía de Alteración Hidrotermal

Ares exhibe en superficie, una alteración hidrotermal más extensa y notable que los yacimientos cercanos Arcata y Orcopampa, debido a que los afloramientos de tufos poco compactados se encuentran intensamente caolinizados, originados posiblemente por su permeabilidad para la circulación de vapores calientes y de soluciones hidrotermales algo ácidas por encima del nivel freático.

La parte superior de la veta Victoria alojada en tufos, se encuentra flanqueada por una ancha franja de alteración destructiva que gradua lateralmente de caolinita a caolinita /clorita hacia la periferia con escasas diseminaciones de pirita mayormente oxidadas. La silicificación es muy débil y esta restringida a una franja angosta menor a los 2 m. a ambos lados de la veta. Por debajo de los tufos, la parte inferior de la veta alojada en dacita, se encuentra flanqueada por una franja de alteración argílica mas angosta , que gradua lateralmente de una banda delgada de caolinita/illita adyacente a la veta a illita/caolinita con diseminaciones de pirita de grano fino y finalmente a illita/esmectita hacia la periferie. La silicificación afecta más intensa y extensamente a la dacita en algunos sectores hasta mas de 100m. de la veta.

Es notable la presencia de caolinita junto con illita, dentro del relleno de veta, no obstante que estos minerales se forman en diferentes ambientes físico-químicos. Al parecer parte de la caolinita fue introducida por aguas meteóricas con un pH bajo, que se infiltraron en la estructura de veta durante la apertura de la falla que la alberga. Y otra parte de la caolinita se originó in situ, posiblemente por la

alteración de la illita, debido a la evolución y cambios en la composición de las soluciones mineralizantes ascendentes.

Los análisis espectrométricos de rayos x de muestras tomadas en diferentes sectores de la veta Victoria, indican que la mineralización de mena se encuentra genéticamente más relacionada con la mayor presencia de illita y contrariamente en los lugares donde prima la caolinita la mineralización se vuelve muy pobre (Echevarria,2004)-(Fig.12).

Etapas de Mineralización en la Veta

En la veta Victoria, se han reconocido hasta tres etapas principales de mineralización de cuarzo y mena relacionados con la evolución de las soluciones hidrotermales originados por reactivaciones tectónicas intermitentes de la estructura de falla que las albergan.

La primera etapa, está constituida mayormente por la deposición de cuarzo lechoso de grano medio a grueso sin mayores variaciones texturales y con un aporte muy pobre de metales preciosos. El cuarzo ocurre a ambos lados de los hastiales de la veta cementando a brechas con fragmentos silicificados de rocas de caja, acompañado por diseminaciones de pirita cúbica en los niveles inferiores y por marcasita hacia la superficie. En las vetas no productivas, el cuarzo de esta etapa representa el único relleno de veta.

La segunda etapa, está representada por la deposición de cuarzo blanco de grano fino y textura variable en bandas paralelas de algunos centímetros que se alternan con finas bandas de cuarzo gris que contienen finas diseminaciones de pirita. Ocurre también cuarzo pseudomorfo reemplazando calcita lamelar. La mineralización de esta etapa es incipiente, siendo para el oro aproximadamente de 2 gr/t.

La tercera etapa, con mineralización tipo bonanza de Au-Ag, ocupa generalmente la parte central de la veta, esta constituida por finas bandas oscuras repetitivas de cuarzo de grano fino y calcedonia con mineralización de mena, intercaladas con bandas delgadas paralelas de illita y caolinita. Las bandas oscuras con mineralización económica, contienen granos diminutos de sulfuros y sulfosales conformados, en orden descendente de abundancia, por pirita, marcasita, arsenopirita, acantita, pirargirita, freibergita, esfalerita, galena, calcopirita, oro nativo y electrum.(Fig.8C).

POSIBLE AMBIENTE FISICO-QUIMICO DE LA MINERALIZACION EN LAS VETAS

En Ares no ha sido posible determinar la composición y algunos parámetros termodinámicos de las soluciones mineralizantes que originaron la mineralización en las vetas, debido principalmente a la ocurrencia de cuarzo de grano muy fino, que acompaña a la mineralización de mena, que no permitió la realización de estudios de inclusiones fluidas confiables.

Sin embargo, en base a las evidencias geológicas anteriormente descritas y por analogía con otros yacimientos epitermales de baja sulfuración muy estudiadas se puede postular el posible ambiente físico-químico de la mineralización en las vetas de Ares.

Estudios geoquímicos en sistemas epitermales de Norte y Sur América (Field and Fifiarek,1985) indican que los fluidos hidrotermales son de origen mayormente meteórico, aunque el oro y otros metales se interpretan que se derivan de una fuente magmática (Henley and Hoffman,1987), no obstante que los yacimientos epitermales de baja sulfuración no muestran una clara relación magmática. Estos fluidos se caracterizan por tener un pH cercano al neutro(5 a 6)(Giggenbach,1992), temperaturas menores a los 300°C, salinidad baja (<3% de ClNa equivalente) y ricos en gases principalmente CO₂ y H₂S (Henley, 1985; Albinson et al, 2001; Jhon,2001; Etoh et al,2002; Echevarria 2003). Y la deposición de los

minerales ocurre a profundidades que fluctúan entre 100m.a 800-1500 por debajo del nivel freático(Hedenquist and Henley,1985).

Según Seward (1991) el Cl^- y HS^- poseen mayor importancia en transportar oro en las soluciones hidrotermales, dependiendo la mayor capacidad de transporte de cada uno de ellos a condiciones físico-químicas especiales. En ambientes epitermales de baja sulfuración como Ares el oro al parecer fue transportado como complejos sulfurados de $\text{Au}(\text{HS})_2^-$.

En la veta Victoria, soluciones hidrotermales con un posible pH cercano al neutro y saturadas con sílice, y conteniendo gases reactivos (CO_2 , SO_2 , HCl) y cationes metálicos de posible origen magmático, al parecer inicialmente ascendieron a través de los paleocanales existentes en las lavas de andesita y tufos localizados por debajo de la base del horizonte mineralizado. Y al alcanzar el contacto inferior del domo de dacita Victoria, donde la estructura aumenta considerablemente de potencia, se produjo la ebullición de las soluciones con una exsolución de gases CO_2 y H_2S hacia la fase de vapor como resultado de una repentina pérdida de presión. La pérdida de gases originó un incremento en el pH de las soluciones y donde el contenido de CO_2 fue suficientemente alto promovió la precipitación de carbonatos en la forma de calcita lamelar que fue posteriormente pseudomorfisada por cuarzo, debido a una disminución de la temperatura en condiciones de ebullición que produjo que se disuelva el carbonato y se precipite el cuarzo. Asimismo, una rápida ebullición y la pérdida de CO_2 a la fase de vapor aumentó el pH de la solución en tramos más permeables de la estructura produciendo la deposición de la adularia.(Fig.13).

En los niveles inferiores de la veta, donde el pH de las soluciones es menor que neutral y debido a los gases disueltos, las rocas de caja de la veta fueron alteradas a illita y clorita. Y en la parte superficial de las vetas donde estas soluciones se mezclaron con aguas meteóricas y absorbieron CO_2 y H_2S , se produjo aguas con un pH bajo que al reaccionar con las rocas de caja originaron una alteración argílica superficial caracterizada por la presencia de caolinita.

También, el aumento del pH de las soluciones en la parte inferior de la veta produjo un incremento en la solubilidad del oro como complejo $\text{Au}(\text{HS})_2^-$ y como resultado, en la parte basal de la veta los valores de oro son más bajos; no obstante encontrarse en una roca favorable y en un sector donde aumenta la potencia de la estructura. Por otra parte, la reducción de la temperatura y pH debido a la absorción de H_2S en las soluciones a medida que ascendía, produjo la separación del oro del complejo bisulfurado por la partición del azufre lo que originó una mayor precipitación del oro en los niveles superiores de la veta. La plata por su parte es menos sensible a estos cambios, por lo que precipita en forma más rápida, como lo evidencia el aumento de los valores de plata hacia la parte basal de la veta Victoria.

El sistema hidrotermal en la veta Victoria, al parecer funcionó episódicamente, con una alternancia de periodos de actividad y reposo. Así en los periodos de actividad, al ascender las soluciones hidrotermales saturadas con sílice y algunos elementos metálicos, depositaron como resultado de un proceso de ebullición y mezcla con aguas meteóricas, cuarzo, calcedonia, adularia y minerales de mena. Mientras que en los periodos de reposo, al producirse el colapso del sistema hidrotermal, con la percolación de aguas superficiales con un pH mas bajo, precipitaron caolinita dentro de la estructura de veta. Estos episodios se reflejan en el relleno de veta, constituido por una alternancia de bandas finas oscuras de sílice con mineralización de mena y bandas de cuarzo, calcedonia, pseudomorfos de cuarzo, illita y caolinita.

(Ver fotos Adjuntas)

AGRADECIMIENTO

Expresamos nuestro agradecimiento a Mauricio Hochschild & Cia. Ltda. S.A.C. y la Compañía Minera Ares S.A.C. por permitirnos la publicación del presente artículo. A Colorado School of Mines, donde se efectuaron los estudios de laboratorio en el marco del acuerdo impulsado por Eric Nelson y Jorge Benavides. Nuestro especial reconocimiento a Eduardo Hochschild por su apoyo entusiasta durante las diferentes actividades de exploración del yacimiento.

REFERENCIAS

Albinson, T., Norman, D.I., Cole D. y Chomiak, B., 2001. Controls on formation of low sulfidation epithermal deposits in Mexico: constraints from fluid inclusion and stable isotope data. In: Albinson T. and Nelson, C.E. (eds). *New Mines and Discoveries in Mexico and Central America*. SEG Special Pub. 8:1-32.

Candiotti, H., Noble, D.C., McKee, E.H., 1990. Geologic Setting and Epithermal veins of the Arcata District, Southern Peru: *Economic Geology*, v.85, p. 1473-1490.

Candiotti, H. y Guerrero T., 2002. Low-sulphidation epithermal gold-silver veins in the Ares deposit, Southern Peru. En: *XI Congreso de Geología, Resumen*. Sociedad Geológica del Perú.

Clark, A.H., Ferrar, E., Kontak, D.J., Langridge, R.J., Arenas, M., France, L.J., McBride, S.L., Woodman, P.L., Wasteneyes, H.A., Sandeman, H.A., y Archibald, D.A., 1990. Geologic and Geochronologic Constraints on the Metallogenic Evolution of Andes Southeastern Peru.

Echavarria, L., 2004. *Geología y Mineralización Mina Ares*. Informe privado Cia. Minera Ares S.A.C.

Etoh, J., Izawa, E., Taguchi, S., 2002. A fluid inclusion study on columnar adularia from the Hishikari low sulphidation epithermal gold deposit, Japan: *Resource Geology*, v. 52, p. 73-78.

Field, C.W., Ficarek, R.H., 1985. Light Stable isotope Systematics in the epithermal environment, in Berger, B.R., and Bethke, P.M., eds., *Geology and Geochemistry of Epithermal Systems: Reviews in Economic Geology 2*, p.99-128.

Gibson, P.C., Noble, D.C., y Larson, L.T. 1990. Multistage evolution of the Calera Epithermal Ag.-Au vein system, Orcopampa District, Southern Peru: *First Results: Economic Geology*, v., p.1504-1519.

Giggenbach, W.F., 1992. Magma degassing and mineral deposition in hydrothermal systems along convergent plate boundaries: *Economic Geology*, v.87, p.1927-1944.

Hedenquist, J.W., y Henley, R.W., 1985. The importance of CO₂ on freezing point measurement of fluid inclusions: Evidence from active geothermal systems and implications for epithermal ore deposition: *Economic Geology*, v.80, p. 1379-1406.

Henley, R.W., 1985. The geothermal framework of epithermal deposit. In: Berger, B.R. And Bethke, P.M. (eds). *Reviews in Economic Geology 2. Geology and Geochemistry of epithermal systems*, 1-24.

Jhon, D.A., 2001. Miocene and early Pliocene epithermal gold-silver deposits in the northern Great Basin, western USA: Characteristics, distribution, and relationship to magmatism: *Economic Geology*, v. 96, p. 1827-1853.

MacKee,E.H., y Noble,D.C.,1989. Cenozoic tectonic events, magmatic pulses, and base and precious metal mineralization in the Central Andes. In: Geology of the Andes and its relation of hydrocarbon and mineral resources; Ericksen G.E.,Cañas Pinochet,M, & Reinemund,J.A.,eds. Circum-Pacific council for energy and mineral resources ,Earth Science Series, 11,189-194.

Noble,D.C., y Vidal, C.E.,1999.Episodes of Cenozoic extension in the Andean Orogen of Peru and their relation to compression, magmatic activity and mineralization. In: Volumen Jubilar No 5 "75 Aniversario Sociedad Geologica del Peru"; Maacharé J., Benavides V. & Rosas,S.,Eds. 45 -66.

Seward, T.M., 1991, The hydrothermal geochemistry of gold .En: Foster, R.P.(Ed.):Gold metallogeny and Exploration, Blackie and Son Ltd., 37-62.Londres.

Silberman,M.L., McKee,E.H., y Noble.D.C., 1985, Age of mineralization at the Caylloma and Orcopampa silver districts, southern Peru: Isocrom/West,v. 43, p.17-18.

Sillitoe, R.H.,1993, Epithermal models: Genetic types, geometrical controls and shallow fetures: Geological Association of Canada,Special Paper 40,p.403 -417.

Stephan,S.,1974. Genese der subvolcakanischen silbererzgangue von Caylloma in Peru: Geologische Jahrbuch,Rehe D, Heft 8,143 p.

Vidal,C.E., Noble, D.C.,McKee,E.H.,Benavides,J.E., y Candiotti,H.,1989. Hydrothermally altered and mineralized late Pliocene –Quaternary central volcanoes in the Andes of southern Peru (abs.):International Geol. Cong.,28 th, Washington,1989,abstracts v.3, p.3-297.