

## Nuevos conceptos de exploración en el Distrito Minero de Uchucchacua – Perú Central

**Rolando Ligarda<sup>1</sup>, Edwin Arias<sup>2</sup>, Ronald Callupe<sup>3</sup>, Juan Carlos Salazar<sup>4</sup>, José Luis Aquino<sup>5</sup>, María del Pilar Ventura<sup>6</sup>**

<sup>1</sup> Cía. de Minas Buenaventura S.S.A., Lima, Perú, ([rolando.ligarda@buenaventura.pe](mailto:rolando.ligarda@buenaventura.pe))

<sup>2</sup> Cía. de Minas Buenaventura S.S.A., Lima, Perú, ([edwin.arias@buenaventura.pe](mailto:edwin.arias@buenaventura.pe))

<sup>3</sup> Cía. de Minas Buenaventura S.S.A., Lima, Perú, ([ronald.callupe@buenaventura.pe](mailto:ronald.callupe@buenaventura.pe))

<sup>4</sup> Cía. de Minas Buenaventura S.S.A., Lima, Perú, ([juan.salazar@buenaventura.pe](mailto:juan.salazar@buenaventura.pe))

<sup>5</sup> Cía. de Minas Buenaventura S.S.A., Lima, Perú, ([jose.aquino@buenaventura.pe](mailto:jose.aquino@buenaventura.pe))

<sup>6</sup> Cía. de Minas Buenaventura S.S.A., Lima, Perú, ([maria.ventura@buenaventura.pe](mailto:maria.ventura@buenaventura.pe))

### 1. Abstract

The Uchucchacua mining district is located in the Western Andean Cordillera of Central Peru, at an altitude between 4,300 and 5,000 m.a.s.l. Geologically, it is located in the faulted and folded Marañón belt. The Uchucchacua mine, containing more than 410 M oz Ag (historical production + Reserves-Resources), is the most important underground silver mine in Peru. Another 40 M oz Ag, recently discovered at the Yumpag Project, 6 km northeast of Uchucchacua, have been added to these reserves and resources. The ore bodies are hosted in limestones of the Jumasha formation, particularly in pure limestones, with bioclastic packstone to grainstone facies of the Mid Jumasha at Uchucchacua, and similar facies at the base of the Upper Jumasha ( $\beta$  and Gastropod horizons) at Yumpag. In all cases, the presence of impermeable levels has been crucial to trapping the mineral in favorable rocks. At Uchucchacua, veins, multi-directional bodies or sub-vertical mantles occur in the short limb of the core of the N-S striking anticline. However, the mineralization was controlled by the Colquicocha (NS) and Cachipampa (NE-SW) faults, of cortical reach, considered as “thick skin faults”. Dacitic porphyritic stocks are emplaced where these faults meet, showing Pb-Zn-(Cu) skarn halos, grading to Ag-Mn mineralization in its distal periphery. At Yumpag, the Camila vein which is a mineralized Reidel structure related to the movement of the Cachipampa fault, when crossing the  $\beta$  or sub-horizontal Gastropod horizons, has allowed the formation of high-grade

silver mineralized bodies, which also grade from a distal halo of Ag-Mn towards a proximal mineralization enriched in Pb-Zn-(Cu), following the plunge to the southwest. The source of the mineralization remains unknown, but is presumed to come from below the coverage of the Casapalca formation.

### 2. Introducción

En este artículo se van a discutir brevemente los nuevos conceptos de exploración utilizados por el equipo de exploraciones de Cía. de Minas Buenaventura S.A.A. para potenciar el éxito en la búsqueda de nuevos depósitos de Ag-(Pb-Zn) en el distrito minero de Uchucchacua en el Perú Central.

La mina Uchucchacua es la más importante mina subterránea productora de plata en el Perú. En el año 2019 su producción fue de 10.6 M oz Ag (1.3 Mt @ 9.1 oz/t Ag). Las Reservas y Recursos Medidos + Indicados son 109.8 M oz Ag (12.3 Mt @ 8.9 oz/t Ag), habiéndose producido más de 300 M oz Ag (25.4 Mt @ 15.3 oz/t Ag) desde 1975.

Aspectos de importancia, como la comprensión de los controles estructurales, la lito-estratigrafía identificada con el estudio de microfacies de la formación Jumasha, huésped de la mineralización y zoneamiento de la mineralización, han confluído para descubrir el nuevo yacimiento de alta ley de plata en Yumpag, 6 km al noreste de Uchucchacua que a la fecha tiene 40 M oz Ag (1.7 Mt @ 23.6 oz/t Ag). Además, se van a aportar nuevas edades radiométricas U/Pb sobre zircón (realizadas en Geochronex Analytical Services & Consulting –

Canadá) de los diferentes pulsos magmáticos en el distrito; Figura 1.

### 3. Contexto geológico

El distrito Minero de Uchucchacua está localizado en la faja corrida y plegada del Marañón (Mégard, 1979). La secuencia estratigráfica comienza con la Fm. Oyón (Tithoniano-Berriasiano) constituida por lutitas, areniscas de color gris y carbón. Lo cubre el Gr. Goyllarisquizga (Berriasiano-Aptiano) al cual pertenecen las Fms. Chimú de ortocuarzitas, Santa de calizas y margas grises, Carhuaz de areniscas y lutitas beige y Farrat de areniscas cuarzosas blancas. Sobre este grupo aparecen los carbonatos de las Fms. Pariahuanca (Albiano inferior) de calizas más margas y Chulec (Albiano medio) de calizas, margas y calizas arenosas. La Fm. Pariatambo (Albiano medio) de calizas y lutitas negras es el paso hacia las calizas de la Fm. Jumasha (Albiano superior-Turoniano). La Fm. Jumasha en la zona de estudio se subdivide en tres miembros: Jumasha inferior, medio y superior. Los límites de estas tres unidades presentan niveles de referencia conocidos como “*markers*” de tonalidad marrón-amarillenta, que actúan como horizontes marcadores o guía. Suprayaciendo a la Fm. Jumasha se encuentran las calizas y margas de colores beige y rojo de la Fm. Celendín (Turoniano-Coniaciano). Al techo de la Fm. Celendín se superponen discordantemente las areniscas y lutitas rojas de la Fm. Casapalca (Cretácico-Terciario). Finalmente, los volcánicos Atalaya compuestos de riolitas, dacitas, andesitas hasta basaltos, de edades Oligoceno (24.5 Ma) a Mioceno terminal (5.5 Ma), cubren o intruyen a la pila sedimentaria (Bissig et al 2008; Romaní 1982), siendo equivalentes a los volcánicos Calipuy; Figura 1.

La estructura más prominente es el gran anticlinal volcado N-S de Uchucchacua, en cuyo núcleo se hallan la mayor parte de los cuerpos mineralizados de Uchucchacua. A este anticlinal se asocian cabalgamientos y pliegues menores como parte del sistema corrido y plegado. Pero desde el punto de vista de la mineralización, hay dos estructuras que dominan el distrito minero: Una es la gran falla N-S Colquicocha, que va paralela inmediatamente al oeste del gran anticlinal, y la otra es la falla trasandina N40 Cachipampa. Ambas son de alcance litosférico, llegan hasta la cámara magmática, han canalizado intrusiones y mineralización subsecuente.

## 4. Controles de la mineralización.

### 4.1. Control estructural y eventos magmáticos

La faja corrida y plegada del Marañón, se formó durante la tectónica Inca en el Eoceno-Oligoceno (43–30 Ma), como parte de la tectónica compresiva andina (Mégard, 1979; Carlotto, 2014). Sin embargo, muchas de las fallas N-S de alcance cortical —que previamente controlaron la sedimentación, durante el Mesozoico, con juegos polifásicos— durante el acortamiento de los Andes, generaron una importante inversión tectónica traducida por fuerte plegamiento, cabalgamientos y/o fallas de propagación, además de la instalación de la cuenca intra-montañosa de antepaís Casapalca. Las fallas más profundas configuran escamas gruesas (Mc Clay, 1992) conectadas a cámaras magmáticas, como es el caso de las fallas Colquicocha, Anamaray, o más al este, en el altiplano, la falla longitudinal entre Cerro de Pasco y Colquijirca. En este estadio la falla NE Cachipampa se comportó como falla transformante con movimiento dextral, separando el bloque norte con menor deformación o corrimiento respecto del bloque sur.

En Uchucchacua, en la confluencia de las fallas Colquicocha y Cachipampa de edad Oligoceno tardío, en el inicio de la fase tectónica Quechua 1, se emplazaron diferentes stocks de pórfidos dacíticos que han generado skarn de Pb-Zn-(Cu) cuyas edades U/Pb en zircones obtenidas por nosotros, van de  $26.68 \pm 0.34$  Ma (stock Luz) a  $25.08 \pm 0.21$  Ma (stock Oeste), corroborando una edad U/Pb en zircón obtenida por Bissig et al (2008) de  $25.28 \pm 0.44$  Ma (dique Sandra). Estos stocks son casi coetáneos con el emplazamiento en Yumpag del lacolito de microdiorita estéril de  $27.43 \pm 0.25$  Ma canalizado por la falla Cachipampa.

Durante el Mioceno, al finalizar la tectónica Quechua 1, en cerro Yumpag la falla Cachipampa controla la intrusión de un stock de diorita que genera un skarn prógrado seco, cuya edad U/Pb es de  $15.97 \pm 0.32$  Ma, que altera a hornfels al lacolito de microdiorita suprayacente. Posteriormente, la actividad magmática se intensifica con el emplazamiento de un dique de cuarzodiorita que arroja una edad U/Pb de  $12.07 \pm 0.13$  Ma y del dique de andesita porfírica “Mequíás” que da una edad U/Pb de  $11.75 \pm 0.17$  Ma. El dique Mequíás de dirección N60, es pre a intra-mineral, ubicándose en paralelo y adyacente a la veta Camila, a la cual controla; por ende, la edad máxima del mineral en Camila sería del orden de

11.75 ± 0.17 Ma. De otro lado, edades U/Pb en rocas de Uchucchacua y Yumpag, dan edades recurrentes entre 8.70 ± 0.17Ma y 8.10 ± 0.29 Ma, coincidente con la tectónica Quechua 3 del Mioceno, que está relacionada a los eventos magmáticos más jóvenes en el distrito (Anamaray y Atalaya), pero se desconoce su relación con la mineralización; Figuras 1 y 3.

En Uchucchacua es evidente que el *continuum* tectónico entre ambas fallas, aparte de controlar los múltiples pulsos intrusivos, crea un terreno fértil en el anticlinal con estructuras tensionales multidireccionales, las cuales, con el subsiguiente ascenso de fluidos hidrotermales, han formado vetas, cuerpos o mantos en determinados niveles del Jumasha medio y Jumasha superior. Prevalecen los cuerpos o mantos verticales en el flanco corto del anticlinal. Así, a la falla Cachipampa se asocian el sistema de vetas Gina-Socorro que aportan el 80% del mineral extraído en Uchucchacua, mientras en Yumpag, la estructura mineralizada N60 “Camila” es un plano Reidel relacionado a la falla Cachipampa N40; Figuras 1 y 3.

## 4.2. Control litológico

Por años se pensó que sólo el Jumasha medio era el huésped de la mena en Uchucchacua, sin embargo, el descubrimiento de un cuerpo mineral en la estructura Camila en un horizonte del Jumasha superior en Yumpag rompe ese paradigma; Ligarda, et al (2017). A raíz de esto se viene estudiando mejor las características de las rocas hospedantes con la elaboración de columnas lito-estratigráficas y estudios de facies calcáreas al microscopio. De ello se desprende que las unidades estratigráficas con características para albergar mineralización y a su vez comportarse como trampas impermeables, son:

### 4.1.1. Jumasha medio:

De al menos 400 m de espesor. Compuesto por calizas beige mudstone en bancos gruesos intercaladas con calizas puras packstone-grainstone masivos y con calizas nodulares wackestone-packstone, ambas con foraminíferos y gasterópodos centimétricos de concha gruesa. Presenta niveles de calizas con granos de cuarzo con envueltas algares intercalados con algunos niveles mudstone laminares margosos. Alberga al menos el 90% del mineral en Uchucchacua; Figura 1.

### 4.1.2. Marker superior

Tiene una potencia de 25 m y está compuesto por intercalaciones de estratos delgados de calizas grainstone con gasterópodos de concha gruesa y foraminíferos, mudstone margosos laminares y calizas margosas mudstone-wackestone nodulares con bitumen. Se comporta como roca sello para los fluidos que generaron mineralización en las calizas de Jumasha medio.

### 4.1.3. Jumasha superior:

Se divide en tres horizontes (del piso al techo):

**-Horizonte de gasterópodos:** Tiene una potencia de 150 m. Litológicamente es idéntico al Jumasha medio. Sus bancos son menos potentes y la ocurrencia de calizas de aspecto nodular es mayor. En cuanto a fauna y composición, ambas litologías son indistinguibles, con presencia de foraminíferos y gasterópodos centimétricos de concha gruesa. En Yumpag alberga el mineral de la estructura Tomasa y parte de la estructura Camila; Figura 1.

**-Horizonte prospectivo beta:** Tiene una potencia de 50 m en Yumpag y 35 m en Uchucchacua, en las inmediaciones de la estructura Gina-Socorro. Presenta una alternancia de calizas puras mudstone-wackestone con foraminíferos y fragmentos de conchas y calizas margosas negras masivas, margosas nodulares y bioclásticas packstone. En el “Horizonte beta” de Yumpag está el 90% del mineral de la estructura Camila. Separado por un nivel de 15 m de calizas margosas, aparece otro horizonte favorable conformado por calizas wackestone puras claras masivas y fosilíferas denominado “Horizonte Alfa” de 15 m de espesor, que ha sido pobremente mineralizado; Figura 1.

**-Horizonte margoso:** Su potencia es de 80 m. Es una secuencia cíclica rítmica de calizas margosas negras masivas intercaladas con calizas margosas nodulares oscuras y niveles delgados de calizas puras decimétricas. Este horizonte en Yumpag no ha sido mineralizado, pero se ha comportado como trampa estratigráfica o sello permitiendo la precipitación de la mena en el horizonte prospectivo subyacente.

## 4.3. Mineralización, paragénesis y zoneamiento

Si bien la mineralización en el distrito es el resultado de los diferentes pulsos de actividad magmática e hidrotermal, a la fecha no tenemos una edad exacta de la mineralización, pero a grandes rasgos, en Uchucchacua se percibe un zoneamiento de valores de Cu-Pb-Zn asociado a skarn alrededor de stocks dacíticos de edades entre 26.68 ± 0.34 Ma y 25.08 ± 0.21 Ma que grada

a un halo distal rico en Ag-Mn-(Au) de filiación epitermal de baja sulfuración. No es claro si esto se debe a dos eventos mineralizadores (skarn y epitermal) en un intervalo de tiempo largo o es la evolución del evento skarn hacia un evento epitermal; sin embargo, al menos sabemos que el mineral asociado al evento skarn tiene una edad máxima de  $26.68 \pm 0.34$  Ma. En Yumpag, este mismo zoneamiento se evidencia en la estructura Camila, donde el mineral con altos valores de Ag-Mn del extremo noreste distal gradúa hacia un núcleo caliente con Zn-Pb-(Cu) al suroeste, cuya fuente se desconoce.

#### 4.3.1. Paragénesis:

La compleja secuencia paragenética ha sido identificada en base al logueo de testigos de perforación, mapeo subterráneo y estudios microscópicos de muestras de los cuerpos minerales Gina-Socorro en Uchucchacua y Camila en Yumpag. Cuatro principales estadios de precipitación de mineral han sido reconocidos: alabandita-sulfosales de plata (E1), esfalerita-galena (E2), sulfosales de plata-pirita (E3) y arsenopirita-oro (E4). Esto se corrobora con la asociación geoquímica de elementos que se puede apreciar mediante componentes principales (PC).

Vetas, cuerpos y mantos muestran texturas de reemplazamiento y de relleno de espacios abiertos como bandas y brechas. En general, donde se presenta variedad de texturas es donde ocurrió mineralización de alta ley. Los principales minerales de ganga son calcita, rodocrosita, rodonita y en menor proporción cuarzo.

#### 4.3.2. Zoneamiento mineral:

Las variaciones en la composición mineral y el contenido metálico de vetas y otros cuerpos minerales asociados a la falla Camila, muestran una zonificación sub-horizontal concordante con el Horizonte  $\beta$ , y sub-vertical concordante con fallamiento-fracturamiento relacionado al eje del anticlinal o a litología favorable en el flanco corto sub-vertical del anticlinal en la estructura Gina-Socorro.

Dos secciones a lo largo de las estructuras mineralizadas Camila y Gina-Socorro muestran un patrón similar de zoneamiento de mineral; Figura 2.

La estructura Camila de 1.3 km de longitud reconocida,  $\pm 50$  m de alto,  $\sim 8$  m de potencia, contiene 40 Moz Ag. Los mayores contenidos de Ag están distribuidos principalmente en la parte central y por debajo de la cota 4,250 m. El Zn-Pb incrementan hacia el suroeste en la dirección del *plunge*, por el contrario, el As-Au se encuentran principalmente en la parte central, probablemente

asociados a estructuras alimentadoras aún no identificadas.

La estructura Gina-Socorro con una longitud de 1.8 km y desarrollo vertical de 1000 m, de al menos 102 Moz Ag (histórico + reservas), da los mejores contenidos de Ag en la parte central, entre las cotas 3,800 y 4,250 m. El Zn-Pb-Cu tiene mayor desarrollo hacia el oeste donde están los stocks porfíricos con halos de skarn y por debajo de la cota 4,000 m; el Au-As se distribuyen erráticamente en la parte central, sin embargo, hacia el oeste y por debajo de la cota 3,900 m se distribuyen con un zoneamiento más consistente.

No obstante, las similitudes en ensamblajes mineralógicos, presencia de Pb-Zn-(Cu), la ubicación del cuerpo mineral Camila, sugiere una fuente magmática hidrotermal distinta a la de Gina-Socorro, la cual, se presume se ubique al suroeste según el *plunge*, bajo la cobertura de las Fms. Casapalca y Celendín.

## 5. Conclusiones

De lo expuesto se puede concluir que en el distrito de Uchucchacua hay tres controles importantes para la mineralización: el primero es estructural, expresado por la presencia de fallas profundas (escamas gruesas) que permitieron el ascenso de stocks y diques porfíricos y también la mineralización; la mineralización ha precipitado en la porosidad secundaria generada en el núcleo del anticlinal en forma de vetas y cuerpos o en forma de mantos en determinados niveles del Jumasha medio en el flanco corto del mismo en el caso de Uchucchacua.

En efecto, el segundo control es el litológico, constituido por niveles donde priman calizas puras de textura packstone a grainstone, que conforman horizontes prospectivos en el Jumasha medio para el caso de Uchucchacua; mientras que en Yumpag los fluidos mineralizantes ascendieron por la falla Camila formando cuerpos minerales en la intersección con los horizontes  $\beta$  y de Gasterópodos del Jumasha superior. En ambos casos se ha evidenciado que estos horizontes favorables necesitan una trampa estratigráfica impermeable que permita la precipitación del mineral.

El tercer control, es un claro zoneamiento del mineral desde un núcleo caliente asociado a skarn enriquecido en Pb-Zn-Cu hacia una periferie distal rica en Ag-Mn hacia el noreste en Uchucchacua; mientras que en Yumpag se percibe la misma gradación, pero sólo se ha visto que el halo distal

con mineral de Ag-Mn va gradando a un mineral enriquecido en Pb-Zn-(Cu) a medida que la estructura mineralizada Camila avanza al suroeste en la dirección del *plunge* aunque todavía no se conoce la fuente, pero se sospecha que está debajo de la cobertura Casapalca en la altiplanicie entre Uchucchacua y Yumpag.

### Agradecimientos

A los Ings. Javier Rendón, Alejandro Gomez, Julio Samaniego, Hernán Tanabe, Tony Gómez, Alvaro Cárdenas, Jackson Arriola, Huber Uzuriaga y Fernando Lizárraga. A las Srtas. Denise Chávez y Ana Villar. A todo el equipo de Exploraciones y Asuntos Sociales del proyecto Yumpag de Buenaventura.

### Referencias

- Bissig, T., Ullrich, T. D., Tosdal, R. M., Friedman, R. & Ebert, S. (2008). The time-space distribution of Eocene to Miocene magmatism in the central Peruvian polymetallic province and its metallogenetic implications. *Journal of South American Earth Sciences* 26, p. 16–35.
- Carlotto, V. (2014). Revisión sobre la Geología: Sedimentología y tectónica en los alrededores de Uchucchacua. Reporte interno, Cía. de Minas Buenaventura S.A.A., 50 p.
- Ligarda, R., Arias, E., Sabán, C., Salazar J. C., Calderón, C. y Bermúdez, C. (2017). El Proyecto Yumpag: Un nuevo yacimiento de alta ley de plata en el Perú Central. Importancia de la identificación de facies carbonatadas en la formación Jumasha y controles estructurales para su descubrimiento. Resumen., X Congreso Internacional de Prospectores y Exploradores., 5 p.
- Mc Clay, K. R. (1992). *Thrust Tectonics*. Department of Geology Royal Holloway and Bedford New College University of London. Chapman & Hall., 447p.
- Mégard, F. (1979). Estudio geológico de los Andes del Perú Central. *Inst. Geol. Min. Metal. Bol. Ser. D: Est. Esp.* 8, 227 p.
- Romaní, M. (1982). *Géologie de la région minière Uchucchacua-Hacienda Otuto, Pérou: Unpub. thesis, 3rd cycle D, France, Univ. Grenoble*, 120 p.

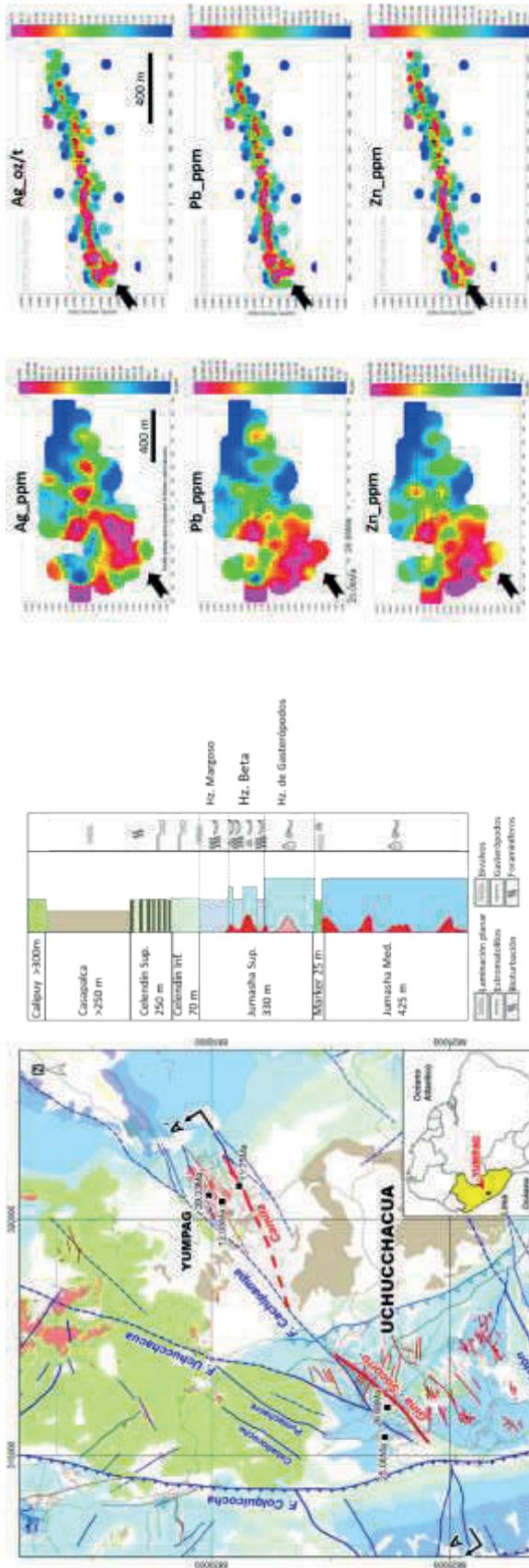


Figura 1. Mapas de ubicación y geológico; columna estratigráfica

Figura 2. Secciones longitudinales de las estructuras Gina-Socorro en Uchucchacua (Izquierda) y Camila en Yumpag (Derecha), donde se muestra el zoneamiento de un núcleo de alta temperatura (Zn-Pb) que grada a un halo de Ag.

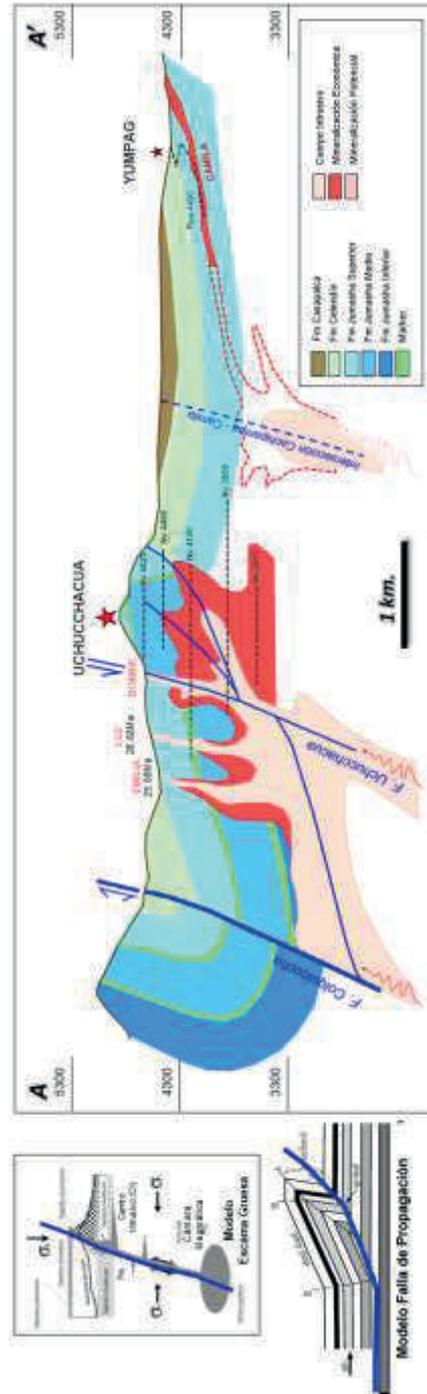


Figura 3. Sección longitudinal esquemática entre las estructuras Gina-Socorro (Uchucchacua) y Camila (Yumpag).