

ISSN 0328-2325

RECURSOS MINERALES

DE LA REPUBLICA ARGENTINA

Volumen II

*Copia del original obtenida
por el Convenio SEGEMAR-UTN
PTM, junio 2010*



Anales N°35
Buenos Aires - 1999



INSTITUTO DE
GEOLOGIA Y
RECURSOS
MINERALES

SEGEMAR
SERVICIO GEOLOGICO
MINERO ARGENTINO



EL YACIMIENTO CAPILLITAS, CATAMARCA

María F. Márquez-Zavalía¹

INTRODUCCIÓN

UBICACIÓN

Capillitas es un depósito epitermal de alta sulfuración ubicado en el extremo norte de la sierra de Capillitas, departamento de Andalgalá, (27°27'S, 66°30'O) (figura 1).

LEYES, RESERVAS Y PRODUCCIÓN

Las leyes de Au de la mena de la mina Capillitas varían dependiendo de la roca de caja, y esta diferencia se agudiza en profundidad, donde algunos sectores de las vetas hospedadas en riolitas pueden tener hasta 6 veces más oro que las que se encuentran encajadas en granito. Esta característica es especialmente notable en la veta Capillitas, donde algunos sectores de los niveles -30 a -105 de las vetas alojadas en riolitas tienen 30,0 g/t Au, mientras que las hospedadas en granito a esos mismos niveles sólo tienen 4,5 g/t Au (JICA, 1978-81).

Existen diferentes datos de reservas y leyes para este depósito, dependiendo de las fuentes de información.

1) Angelelli y Rayces (1946) reportaron reservas probadas 42.118 t, con 5,7 g/t Au (240 kg Au), 250 g/t Ag (10.530 kg Ag), 4,4 % Cu (1.853 t Cu); reservas probables 58.632 t, con 4,1 g/t Au (240 kg Au), 196 g/t Ag (11.992 kg Ag), 3,8 % Cu (2.228 t Cu); y 120.000 t de reservas posibles.

2) Varese y Navarro (1949) proveyeron únicamente valores de reservas probadas: 878,6 kg Au, 33.614 kg Ag,

6.991 t Cu, y reservas probables: 2.931 t Cu, 322,6 kg Au, 10.290,72 kg Ag.

3) JICA (1978-81) reportó 387.000 t para reservas tanto probadas como posibles, con 2,6 g/t Au (1.006 kg Au), 108 g/t Ag (41.800 kg Ag), y 2,31 % Cu (8.940 t Cu).

SISTEMA DE EXPLOTACIÓN

Las labores mineras realizadas comenzaron con trabajos a cielo abierto que luego evolucionaron a labores subterráneas. El método de explotación utilizado es realce sobre saca combinado con circado de veta y posterior desquinchado (*resuing*).

El sector Capillitas-Carmelitas, sector principal de la mina, actualmente cuenta con dos galerías de extracción, varias chimeneas de ventilación y piques de exploración, tales como los pique Varese y 90 y aunque en un momento tuvo unos 20 km de galerías que fueron desarrolladas en 18 niveles distintos, en la actualidad sólo un pequeño porcentaje de ese recorrido se encuentra habilitado. Las restantes vetas del depósito cuentan con trabajos subterráneos de longitud diversa que, en su mayoría, se encuentran aterrados o inundados. Los trabajos de explotación últimamente han estado concentrados principalmente en las vetas Nueve y 25 de Mayo.

HISTORIA DEL DEPÓSITO

DESCUBRIMIENTO Y TAREAS DE EXPLORACIÓN

El depósito ha sido explotado por oro en forma discontinua desde épocas precolombinas, pero luego de los trabajos en la zona de oxidación llevados a cabo durante la centuria pasada, los diversos intentos de extracción de cobre llevados a cabo durante el presente siglo siempre en-

¹ IANIGLA, CRICYT-CONICET.

contraron problemas metalúrgicos debido al ineficiente tratamiento de la compleja paragénesis integrada por Cu-Au-S-As-Sb-Pb-Zn-Ag-Bi-Cd.

Durante los últimos 50 años, la explotación ha estado casi totalmente restringida a la extracción de rodocrosita, mineral por el cual este depósito es conocido a nivel internacional.

No existe un detallado registro de las tareas de exploración llevadas a cabo en el yacimiento, previas a 1946. Angelelli y Rayces (1946) dieron cuenta de las tareas de exploración llevadas a cabo por la Dirección General de Fabricaciones Militares, que estuvieron especialmente centradas en el muestreo de las principales vetas, incluyendo el de sus respectivos desmontes y posteriores análisis para determinar las leyes de cobre, oro y plata. Además se llevaron a cabo tareas de recuperación y limpieza de unos 11 km de labores mineras, incluyendo galerías, piques y chimeneas, la apertura de 1,5 km de nuevos frentes, la realización de cinco perforaciones de reconocimiento (221 m) con escasa recuperación de testigos y la cuantificación de reservas.

Varese y Navarro (1949) dieron cuenta de las labores de exploración llevadas a cabo en 1948-49 durante las cuales se efectuó la apertura de 1 km de galerías y de nuevos piques y chimeneas, y se realizaron dos nuevas perforaciones de reconocimiento (80 m); además se hicieron tareas de muestreo en labores nuevas y antiguas y cuantificación de las reservas.

En épocas más recientes, la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA, 1978-81) realizó intensivas tareas de exploración que incluyeron mapeo, estudio de socavones antiguos, estudios geofísicos (métodos de polarización inducida y electro-magnético), exploración geoquímica (Au, Ag, Cu, Pb, Zn) y 1.700 m de perforaciones exploratorias.

PROPIETARIOS

A lo largo de los años el depósito ha cambiado numerosas veces de dueños. El primer registro que se conoce es a partir de 1856, cuando la mina perteneció a S. Lafone, quien resolvió construir un establecimiento de fundición en Santa María para procesar, sin éxito, mineral de veta Restauradora. Unos 5 años después S. Lafone (h) suspendió las fundiciones de Santa María e hizo construir nueve hornos reverberos en Pilciao (50 km al sur de la mina). Por la misma época, en Pipanaco existía otra fundición con cuatro hornos reverberos de mayor tamaño que los de Pilciao, perteneciente a Carranza y Augier (Molina, según Rickard, 1869 y Stelzner, 1924), en los que se procesaba mineral de la veta La Rosario. El sistema de fundición que fue aplicado en ambos establecimientos dió muy buenos resultados y fue ideado por el químico y metalurgista alemán Schickendantz (Rickard, 1869).

En 1902, el establecimiento fue adquirido por la Capillitas Copper Company. En 1908, debido a su quiebra, la Capillitas Copper Company se transformó en la compañía Capillitas Consolidated Mines Ltda., que luego fue aban-

donada durante la Primera Guerra Mundial. En 1917 J. Jorba se apoderó de la mayor parte de las pertenencias de esta compañía. Entre los años 1928 y 1930, la mina fue arrendada a la casa M. Hochschild y Cía. Desde 1931 la firma pasó a ser S. Padroz y Cía. y únicamente siguió la explotación con trabajos de poca extensión e importancia. A fines de 1937 la Compañía Argentina Minera de la Cordillera (CAMICO) arrendó las minas, principalmente para extraer rodocrosita y en menor escala cobre cemento (Kittl, 1940). Finalmente desde el año 1947 hasta la actualidad, está a cargo de la Dirección General de Fabricaciones Militares (Angelelli, 1941 y Angelelli *et al.*, 1974), quien a partir de 1988 la arrendó a la empresa Minera Andina que extrae rodocrosita en pequeña escala.

GEOLOGÍA REGIONAL

La sierra de Capillitas, en cuya vertiente oriental se encuentra ubicado el depósito homónimo, consiste en un bloque de basamento de rumbo noreste-suroeste, de unos 15 km de largo por 5 km de ancho, perteneciente a las Sierras Pampeanas. Se encuentra limitada al noroeste por la falla Lavadero y al sureste por la falla El Tigre; la primera es un falla inversa de alto ángulo, posiblemente lítrica en profundidad, que basculó el bloque de basamento unos 30° al sureste, mientras que El Tigre es también una falla inversa (Aceñolaza *et al.*, 1982) que dejó un escalón deprimido al sureste de la falla Yacochuyo. Yacochuyo es la fractura morfogénica del pie occidental del Aconquija, en su continuación hacia el norte. La asimetría estructural de la sierra de Capillitas es también fisiográfica y está reflejada por una pronunciada escarpa hacia el oeste y una ladera oriental más tendida.

Estas fallas principales que limitan la sierra de Capillitas, forman parte de un conjunto de fracturas de dirección noreste, paralelas a las fracturas sintéticas desarrolladas entre los lineamientos Hualfín y Aconquija (Ramos, 1977) y están asociadas a fallas de rumbo noroeste, desarrolladas como fracturas tensionales y que controlaron el emplazamiento de las mineralizaciones de Agua Tapada y Bajo de La Alumbra. Koukharsky y Mirré (1976) infirieron un control estructural de la mineralización en el área, según una dirección N80°O, que se cree está relacionada con una megafactura cortical que estuvo activa durante un largo período y que podría haber controlado el emplazamiento y desarrollo de la cadena volcánica transversal Carachipampa-Farallón Negro (Viramonte *et al.*, 1984).

La litología del área está representada por un basamento granítico paleozoico, el granito Capillitas, y tres unidades cenozoicas menores: la Formación El Morterito, el Complejo Volcánico y sedimentos cuaternarios del Araucanense.

Desde el punto de vista metalogénico, Capillitas pertenece a un importante grupo de depósitos de Cu-Au-Mo (Ag-Pb-Zn), relacionado con la evolución del intrarco magmático mioceno-reciente de los Andes Centrales. En

ese sector la mineralización se presenta como agrupaciones de diversos tipos de depósitos:

- a) prospectos de mineralización o alteración hidrotermal, que incluyen Agua Tapada, El Durazno, Los Jejenes, El Espanto, San Lucas y Las Juntas,
- b) depósitos epitermales vetiformes, tales como Farallón Negro, Capillitas y Cerro Atajo,
- c) los pórfiros de Cu-Au-(Mo) del Bajo de La Alumbrera, que tiene reservas de ca. 750 millones de toneladas métricas, con 0,64 g/t Au y 0,51 % Cu, y Agua Rica, con reservas potenciales de ca. 1.000 millones de toneladas métricas con 0,30 g/t Au y 0,5 % Cu.

GEOLOGÍA DEL DEPÓSITO

LITOLOGÍA

Las unidades aflorantes en el área del depósito están representadas por el granito Capillitas, las rocas del Complejo Volcánico y sedimentos del Cuaternario.

GRANITO CAPILLITAS

El granito Capillitas forma un batolito que se extiende fuera de la sierra de Capillitas, hacia el oeste. La mayor parte de la sierra de Capillitas está constituida por la facies porfirítica de este granito, que tiene una composición adamelítica preferencial.

En el área del depósito, los afloramientos de este granito están formados por una roca masiva, de color gris en las superficies frescas, y amarillento en las superficies expuestas. La granometría es de grano medio; presenta textura hipidiomórfica a granular y los minerales principales son: oligoclasa, cuarzo, y microclino perítico, con biotita, sillimanita, moscovita, cordierita, circón, apatita y rutilo, y algunos minerales opacos como accesorios; clorita, moscovita y caolinita se presentan como minerales secundarios.

Con frecuencia aloja xenolitos de esquistos parcialmente digeridos (< 1 m) y diferenciados pegmatoideos irregulares de espesores decimétricos.

El sistema de fracturas que afecta al granito es subvertical con una dominante orientación nornoroeste y trenes noreste subordinados.

El paralelismo observado entre la foliación de los esquistos xenolíticos y de las rocas metamórficas de la región (Indri, 1986) sugieren que la superficie actual del granito se encuentra próxima al techo del intrusivo. La edad estimada del intrusivo, basada en edades radimétricas K/Ar compiladas por Aceñolaza *et al.* (1982), está comprendida entre 471 y 414 millones de años.

COMPLEJO VOLCÁNICO

Al oeste de la sierra del Aconquiya y suprayaciendo a la Formación El Morterito, se encuentra un grupo de rocas volcánicas de edades comprendidas entre el Mioceno superior y el Plioceno inferior, que fueron agrupadas por Gon-

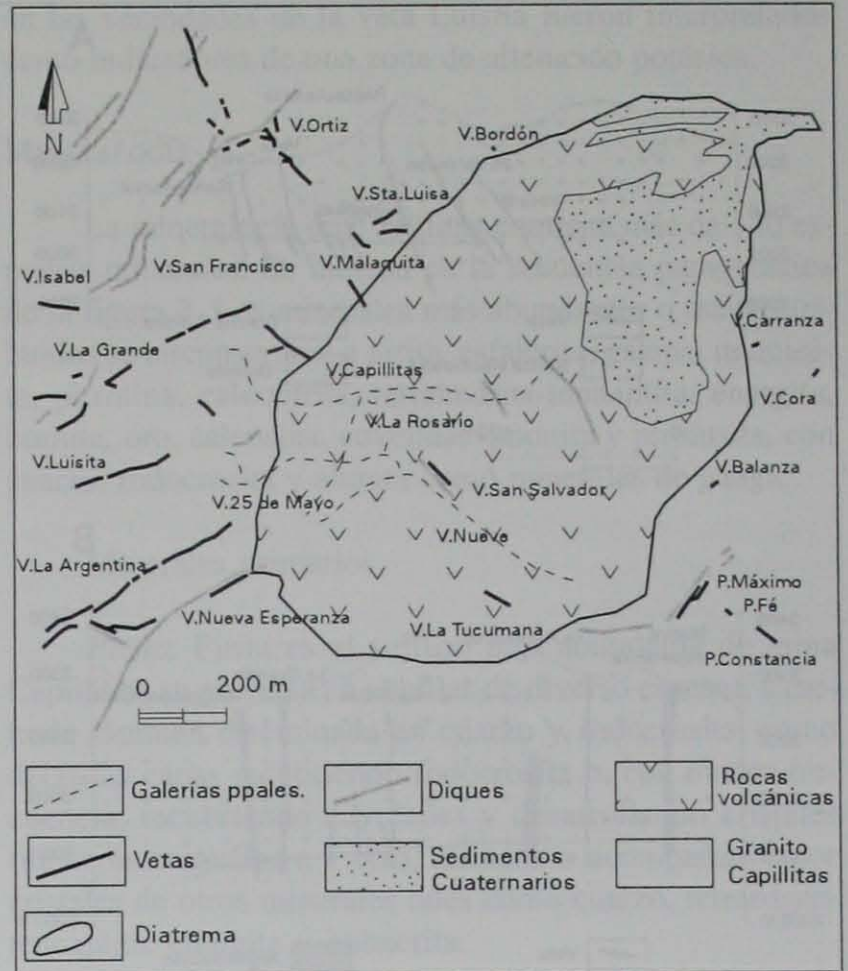


Figura 1. Unidades litológicas mayores y ubicación en superficie de las vetas del yacimiento Capillitas.

zález Bonorino (1950) bajo el nombre de Complejo Volcánico.

La Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA, 1978-81) consignó dos dataciones K/Ar realizadas sobre la dacita Pan de Azúcar y la riolita, que dieron $5 \pm 0,5$ Ma, situando a estas rocas en el límite Mioceno-Plioceno.

En el área del depósito, estas rocas se encuentran emplazadas en rocas graníticas, formando una diatrema elipsoidal cuyo eje mayor, orientado noreste-suroeste, tiene unos 1.500 m de extensión y, a partir de datos de perforación, se infiere que este cuerpo tiene una forma de cono invertido.

Los tipos litológicos más frecuentes del Complejo Volcánico en el área de la mina Capillitas (figura 1) están representados por: riolita, riolita brechosa, brecha riolítica y granítica, dacita porfírica, diques ácidos de composiciones riolíticas y traquíticas y diques básicos de composición basáltica (Márquez Zavalía, 1988).

Riolita. Los afloramientos de esta litología cubren aproximadamente un tercio de la superficie de la diatrema.

En algunos sectores, esta roca grada a una facies brechosa con escasos clastos y mesostasis muy sericitizada.

Riolita brechosa. Esta litología ocupa el sector oriental de la diatrema; es una brecha con clastos de hasta 0,5 cm de diámetro, de color pardo amarillento y frecuentemente se la encuentra recubierta por pátinas de limonita.

Brechas. Las brechas se presentan en los bordes de la diatrema y tienen una granometría más gruesa que la de la

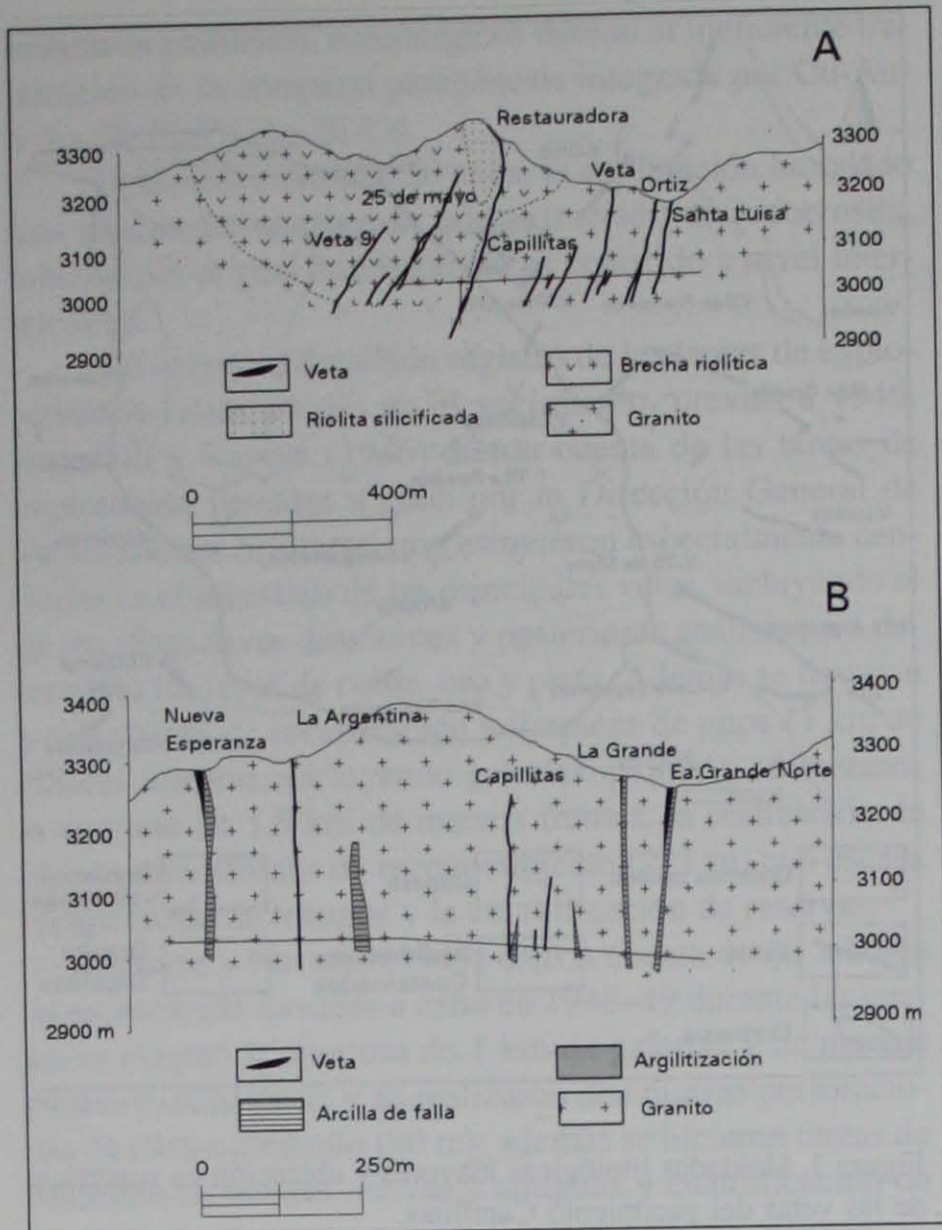


Figura 2. Perfiles esquemáticos (A) desde veta Nueva Esperanza a veta Isabel (B) desde veta Nueve a veta Santa Luisa (Tomado de Jica, 1978-81).

riolita brechosa. Se reconocen dos tipos diferentes de brechas: riolíticas y graníticas.

Dacita porfírica. De los cuatro afloramientos principales de esta roca en la mina Capillitas, el más importante es el que constituye el morro Pan de Azúcar; este cuerpo tiene forma redondeada, mientras que los restantes consisten en potentes diques con contornos irregulares. Esta roca es posterior a las de composición riolítica. La alteración está bien desarrollada y consiste principalmente en argilitización, calcitización y sericitización, con participación subordinada de cuarzo secundario, epidoto y jarosita.

Diques. Los diques, tanto ácidos como básicos, son comunes en el área del depósito, especialmente al occidente de la diatrema. Los diques ácidos tienen composiciones riolíticas y traquíticas; se presentan intruidos en granito con rumbo noroeste-sureste predominante y muestran corridas de unos 100 a 300 m y potencias de hasta 1 metro. Los diques riolíticos tienen fenocristales de cuarzo corroído y ortoclasa perfitica y láminas de biotita sericitizada, soportados por una mesostasis felsítica.

SEDIMENTOS CUATERNARIOS

Los sedimentos cuaternarios consisten en acumulaciones de pie de monte apoyadas discordantemente en las

unidades descritas previamente y están representados por conglomerados poco consolidados con matriz arenosa e intercalaciones de capas arenosas friables.

ESTRUCTURAS

La fábrica estructural en el área del depósito es paralela a los lineamientos estructurales regionales. Al sur del morro dacítico Pan de Azúcar, y a lo largo del contacto riolita-granito, pasa una importante falla con rumbo noreste-suroeste, que se encuentra bifurcada, siguiendo hasta las vetas Balanza y Carranza. Una fractura subsidiaria coincide con el trazado de la Quebrada Restauradora. Angelelli y Rayces (1946) sugirieron que las fracturas dentro del granito, que a su vez coinciden también con el patrón estructural regional noreste-suroeste y noroeste-sureste, controlaron el emplazamiento tanto de los diques como de las vetas mineralizadas.

MORFOLOGÍA

Mina Capillitas es un depósito polimetálico vetiforme, en el que se reconocieron diecinueve vetas y cuatro pertenencias menores. Las vetas se encuentran alojadas en rocas graníticas y volcánicas y presentan dos orientaciones principales: estenoreste-oestesuroeste y oestenoroeste-este-sureste (figura 2).

Las vetas son lenticulares a tabulares; tienen potencias medias de 50 a 70 cm, diseños lineares a sinuosos y frecuentes anastomosamientos. Se describieron numerosas texturas métricas y decimétricas (Márquez-Zavalía, 1995). Una de las texturas más características es la de naturaleza bandeada, que consiste en la sucesión de capas de diferentes minerales, tales como pirita-calcopirita-rodocrosita (veta 25 de Mayo, nivel + 30 m), o esfalerita-galena-tennantita-enargita-cuarzo (veta Nueve, nivel +10) o en la alternancia de capas de igual composición, pero con variaciones cromáticas como ocurre por ejemplo con rodocrosita y capillita en la veta Nueve. Las texturas de bandeo rítmico desarrolladas en espacios abiertos reflejan a menudo variaciones composicionales oscilatorias de los fluidos mineralizantes. Las bandas individuales tienen espesores comprendidos entre 1 y 40 mm y pueden desarrollar superficies planas o mamelares, con tendencia a ser más masivas en los sectores en donde abunda la pirita.

En otras vetas del depósito como por ejemplo Bordón y La Argentina, las texturas drúsicas son frecuentes; el desarrollo de cristales en cavidades tiene amplia distribución, las cavidades tienen tamaños variados que generalmente no superan los 2 cm y están frecuentemente recubiertas por cristales idiomórficos de galena, pirita, enargita, hübnerita, cuarzo y baritina.

Las estructuras brechadas son comunes en el depósito: fragmentos de pirita brechada cementados por diversos minerales, especialmente galena, esfalerita, calcopirita, tennantita, cuarzo, rodocrosita y capillita; en otras áreas del depósito, como por ejemplo en la veta Malaquita, alunita

rellena los espacios abiertos y cementa la mena fracturada; en las vetas Nueve y Ortiz, los fragmentos de la mena brechada se encuentran cementados por cuarzo correspondiente al séptimo y último estadio de la mineralización.

La veta Capillitas fue una de las primeras explotadas en el depósito y, conjuntamente con las vetas 25 de Mayo y Nueve, se encuentra entre las vetas más importantes y más explotadas del yacimiento. Las vetas Capillitas y Nueve consisten, en algunos sectores, en un conjunto de vetillas menores que presentan un diseño en rosario y con frecuentes anastomosamientos, con los bolsones generalmente ubicados en las áreas fuertemente silicificadas y/o argilizadas.

Existe una relación general entre la mineralogía y la altitud; tetraedrita-tennantita y enargita generalmente se encuentran presentes en vetas ubicadas a altitudes menores de 3.270 m s.n.m., con la única excepción de las vetas La Argentina y Nueva Esperanza que se localizan a 3.300 y 3.290 m s.n.m. respectivamente e incluyen ambos minerales entre sus paragénesis. Sin embargo no se encontraron evidencias de la predominancia de una de estas fases sobre la otra, como fue reportado en otros depósitos (La Mejicana, Losada-Calderón y McPhail, 1996).

Perforaciones exploratorias revelaron la prolongación de las vetas La Grande y San Francisco a niveles más profundos (figura 3); se observó además que la veta Capillitas muestra una consistente mineralización con leyes de 0,69 g/t Au; 56,5 g/t Ag y 0,62 % Cu, mientras que La Argentina y Nueva Esperanza dieron leyes menores (La Argentina: 0,04 g/t Au; 2,9 g/t Ag; 0,4 % Cu y Nueva Esperanza: 0,77 g/t Au; 39,5 g/t Ag; 0,3 % Cu).

ALTERACIÓN HIDROTERMAL

La alteración hidrotermal está ampliamente distribuida en Capillitas, pero el tipo y la intensidad de la alteración varían con la litología.

En algunas áreas del yacimiento la silicificación tiene buen desarrollo y la sílice cavernosa es bastante común (por ejemplo en el sector centro-occidental de la diatrema). La depositación de cuarzo secundario en espacios abiertos ha dado lugar a texturas silicificadas masivas, algunas de las cuales contienen sulfuros y sulfosales. En las rocas graníticas la silicificación se encuentra restringida a unos pocos metros del contacto con las vetas.

La alteración arcillosa avanzada tiene gran desarrollo y su dispersión es mayor en las rocas volcánicas que en las graníticas.

La alteración arcillosa intermedia se presenta como una alteración pervasiva a lo largo de los contactos veta-roca de caja.

La alteración sericítica no es intensa y afecta principalmente a las riolitas y diques basálticos.

La alteración propilítica es periférica y poco desarrollada.

En el informe de JICA (1978-81), ciertos datos de prospección geofísica ubicados a unos 400 m de la superficie y

en las vecindades de la veta Luisita fueron interpretados como indicadores de una zona de alteración potásica.

MINERALOGÍA

La mineralogía de Capillitas contiene más de 120 especies minerales. Se indican en la secuencia paragenética de la figura 3. Los minerales más abundantes o más distribuidos se circunscriben a pirita, esfalerita, galena, marcasita, pirrotina, calcopirita, tetraedrita-tennantita, enargita, bornita, oro, calcosina, covelina, limonita y pirolusita, con cuarzo, rodocrosita y alunita como minerales de ganga.

Minerales primarios

Pirita. Pirita es el sulfuro más abundante de mina Capillitas; se presenta en venillas de diverso espesor, a menudo también diseminada en cuarzo y rodocrosita, como delgadas capas recubriendo rodocrosita o, con menor frecuencia, recubriendo cavidades y desarrollando cristales (menores o iguales a 1 cm), aislados o acompañados por cristales de otros minerales tales como cuarzo, tetraedrita-tennantita, enargita y hübnerita.

Esfalerita. La esfalerita se presenta en la mayoría de las vetas del depósito y exhibe una amplia variedad de texturas tales como brechada, crustificada, pseudomorfosis wurtzita-esfalerita y textura de sandía.

Galena. Este mineral es casi omnipresente en el depósito y se encuentra en vetas de hasta 20 cm de espesor, generalmente intercrecido con otros minerales, especialmente pirita y esfalerita. La galena de Capillitas es generalmente masiva a granular y sólo en restringidos sectores del depósito (por ejemplo veta Bordón) desarrolla cristales perfectos de hasta 1 cm.

Marcasita. La marcasita se encuentra ampliamente distribuida en Capillitas; con frecuencia reemplaza masivamente a pirrotina desarrollando texturas en escamas y en ojos de pájaro.

Calcopirita. Éste es uno de los minerales más abundantes y distribuidos del depósito. Se presenta desarrollando una amplia variedad de texturas tales como intercrecimientos cristalográficos con galena, esfalerita y bornita; complejos intercrecimientos con patrones en enrejado con esfalerita, tetraedrita-tennantita y enargita, como los descritos en Summitville (Stoffregen, 1987) y en los Nevados del Famatina (Losada-Calderón y McPhail, 1996); bordes de reacción entre enargita y tetraedrita-tennantita y rellenando fracturas o reemplazando parcialmente a pirita craquelada. Digenita, calcosina, cuprita y covelina se presentan desarrollando texturas concéntricas o brechadas, reemplazando a calcopirita.

Tetraedrita-tennantita. Este grupo de minerales es muy abundante en el depósito y se formó durante el tercer y cuarto estadio de la mineralización (Márquez-Zavalía y Craig, 1996). Se presentan masivos o, con menor frecuencia, desarrollando cristales tetraédricos de hasta 0,5 cm, en espacios abiertos.

Minerales	Hipogénicos							Supergénicos
	I Estadios Mineralización T° de los fluidos ≥ 275°	II Pb-Zn ~270°	III Pb-Zn-Cu ~260°	IV Cu-Pb-Zn-Au ~245°	V Zn-Cu ~230°	VI Cu ~150°	VII ≤ 150°	
Cuarzo	---	-----	-----	-----	-----	---	---	
Pirrotina		---						
Arsenopirita		---						
Pirita	---	-----	-----	-----	-----			
Galena		---	-----	-----	-----			
Esfalerita		---	-----	-----	-----			
Marcasita		---	-----	-----	-----			
Bournonita								
Boulangerita								
Freibergita								
Jamesonita								
Calcopirita			-----	-----	-----	---		
Enargita			-----	-----	-----			
Tennantita			-----	-----	-----			
Tetraedrita			-----	-----	-----		-----	
Bornita			-----	-----	-----			
Wurtzita			-----	-----	-----			
Greigita			---	-----	-----			
Hübnerita				---	-----			
Oro				---	-----			
Electrum				.	-----			
Allargentum				.	-----			
Hematita				---	-----			
Estannita					-----			
Estannoidita				.	-----			
Hexaestannita				.	-----			
Mawsonita				.	-----			
Famatinita				.	-----			
Luzonita				.	-----			
Renierita				.	-----			
Germanita				.	-----			
Teluro				.	-----			
Estutzita				.	-----			
Goldfieldita				.	-----			
Tetradymita				.	-----			
Petzita				.	-----			
Hessita				.	-----			
Sylvanita				.	-----			
Krennerita				.	-----			
Melonita				.	-----			
Volynskita				.	-----			
Bismutinita				---	-----			
Emplectita				---	-----			
Wittichenita				---	-----			
Baritina				---	-----	-----		
Carbonatos				---	-----	-----	-----	
Pirolusita				---	-----	-----	-----	
Romanechita				---	-----	-----	-----	
Criptomelano				---	-----	-----	-----	
Ramsdellita				---	-----	-----	-----	
Manjiroita				---	-----	-----	-----	
Calcofanita				---	-----	-----	-----	
Litioforita				---	-----	-----	-----	
Wad				---	-----	-----	-----	
Plata				---	-----	-----	-----	
Cuprita				---	-----	-----	-----	
Cobre				---	-----	-----	-----	
Tenorita				---	-----	-----	-----	
Goethita				---	-----	-----	-----	
Covellina				---	-----	-----	-----	
Calcosina				---	-----	-----	-----	
Digenita				---	-----	-----	-----	
Cerusita				---	-----	-----	-----	
Malaquita				---	-----	-----	-----	
Linarita				---	-----	-----	-----	

Figura 3. Secuencia paragenética de la mina Capillitas.

Enargita. La enargita se presenta masiva, o en cristales de hasta 1 cm de longitud tapizando cavidades y acompañada de cuarzo, galena, tennantita y hübnerita; también se la observó, en sectores localizados, desarrollando texturas en empalizada. Algunas veces aloja pequeñas inclusiones o delgadas venillas de luzonita y es reemplazada en diferentes grados de magnitud por tetraedrita-tennantita y, en menor grado, por digenita. La enargita de Capillitas presenta rangos composicionales comprendidos entre: Cu 37,48 y 51,07%; S 26,13 y 32,89%; As 15,40 y 21,25% y Sb 0,00 y 2,80%.

Bornita. En Capillitas se reconocieron bornitas hipogénicas y supergénicas.

Pirrotina. Sólo se encontraron relictos de este mineral, ya que fue reemplazado en su mayor parte por marcasita y pirita.

Oro. El oro está ampliamente distribuido en mina Capillitas, pero se presenta casi sin excepción como pequeños granos (menores o iguales a 25 μ m) aislados. Recientemente se estudió una variada mineralogía de telururos (Márquez-Zavalía y Craig, 1996), que se encuentra integrada por: telurio nativo, krennerita, calaverita, sylvanita, petzita, hessita, stützita, goldfieldita, melonita, tetradymita y volynskita.

Minerales secundarios

Calcosina. La calcosina supergénica se presenta reemplazando parcial o totalmente a calcopirita y pirita y como venillas o islotes en limonita. Es frecuente encontrarla íntimamente relacionada con malaquita y linarita y con digenita y covelina.

Covelina. La covelina se presenta en pequeñas cantidades pero con amplia distribución, reemplazando a calcopirita, bornita y calcosina.

Limonitas. Los óxidos de hierro hidratados son comunes en la zona de oxidación de las diferentes vetas del yacimiento y se los encuentra exhibiendo diversas presentaciones, entre las cuales las más características son: masas compactas a pulverulentas, *boxworks* irregulares, estalactitas (0,1 a 0,5 cm de diámetro y hasta 10 cm de longitud) y pátinas irregulares. Reemplazan parcial a totalmente a los sulfuros preexistentes y en algunas vetas, tales como Isabel y Luisita, la mineralización está representada únicamente por limonitas que coexisten con óxidos de Mn y Cu.

Criptomelano y pirolusita. Criptomelano y pirolusita, conjuntamente con una variada selección de otros óxidos de Mn, son comunes en la zona de oxidación de las vetas en las que la rodocrosita es el mineral de ganga predominante.

Minerales de ganga

Cuarzo. El cuarzo está ampliamente distribuido en este depósito. En la veta Ortiz se observó una presentación poco común, pero particularmente atractiva, en donde pequeñas estalactitas (2 cm de largo por 0,5 cm de diámetro) de esferita color caramelo se encuentran recubiertas por cristales de cuarzo distribuidos en forma radial.

Rodocrosita. La rodocrosita es el principal mineral de ganga de Capillitas, y es el motivo por el cual este depósito es internacionalmente conocido. El color de la rodocrosita de Capillitas varía entre rojo frambuesa, que es la tonalidad más apreciada por coleccionistas y orfebres, y rosado blanquecino. El hábito característico de esta localidad es el bandeado, en donde alternan capas de diferentes tonalidades; también son frecuentes las presentaciones mamelares, brechadas, masivas y, con mucha menor frecuencia y en forma localizada, se encontraron cavidades en las que se desarrollaron estalactitas de diversas formas y tamaños. Los cristales de rodocrosita no son muy comunes en Capillitas, y por lo general son pequeños (menores o iguales a 5 mm) y las formas identificadas son romboedros y escalenoedros. La variedad de rodocrosita de color castaño, conocida localmente como capillitita, se presenta exhibiendo diferentes texturas, siendo las más frecuentes la bandeada y la brechada; se presenta en diversas proporciones, pero siempre es mucho menos abundante que rodocrosita.

Alunita. Este mineral es particularmente abundante en algunos sectores del depósito, tales como la veta Malaquita y en ciertas áreas de las vetas Capillitas y Nueve.

INCLUSIONES FLUIDAS

Petrografía. Las inclusiones fluidas fueron observadas principalmente en cuarzo y rodocrosita sin embargo, debido a la translucencia de este último mineral, las determinaciones de temperatura en la mayoría de los casos no brindaron datos confiables.

Se reconocieron cuatro tipos de inclusiones fluidas:

Tipo I (monofásicas; líquido). Este tipo de inclusiones es escaso y por lo general se trata de inclusiones de tamaños pequeños (< 6 μ m), que se interpretaron como secundarias o pseudosecundarias debido a que se encuentran dispuestas a lo largo de fracturas cicatrizadas en cuarzo.

Tipo II (bifásicas; líquido > vapor). Son las inclusiones fluidas más abundantes en este depósito. Sus tamaños varían entre < 4 hasta 70 μ m, con tamaños promedios de 12 μ m y las relaciones volumétricas (volumen gas/volumen total) medias son del 10 al 20 %; algunas inclusiones presentan evidencias de pérdida de fluidos y estrangulamiento y en unas pocas inclusiones se detectaron fenómenos de metaestabilidad. Las formas son variadas y se observaron desde cavidades irregulares y ameboidales hasta otras con contornos geométricos (cristales negativos). Algunas de las inclusiones se presentan aisladas o integrando pequeños agrupamientos (origen primario), mientras que otras se ubican a lo largo de fracturas cicatrizadas o líneas de crecimiento (origen secundario o pseudosecundario).

Tipo IIa. Dentro del tipo II se distingue un subtipo caracterizado por una fase gaseosa algo más oscura y la diferencia del índice de refracción de la fase líquida con respecto al del cuarzo es más marcada. Si bien no fue posible confirmar su composición, se deduce de las observaciones ópticas realizadas durante los estudios termométricos

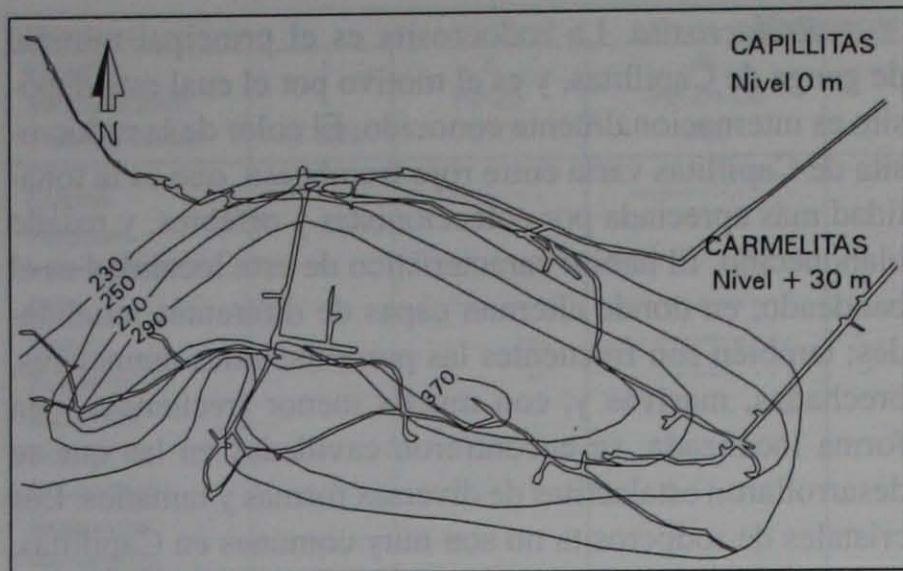


Figura 4. Isotermas en base a valores T_h en la mina Capillitas.

que no se trata de CO_2 puro. Las restantes características son similares en ambos tipos.

Tipo III (bifásicas; líquido menor o igual vapor). Estas inclusiones coexisten con las de tipo II, y si bien son similares en todas sus restantes características, la fase gaseosa ocupa entre un 50 y 80 % de la cavidad de la inclusión.

Tipo IV (trifásica; líquido + vapor + fase sólida). Se observó una única inclusión de este tipo; presenta forma irregular, mide 15 :m y la fase gaseosa ocupa un 60 % (en volumen) de la cavidad. La fase sólida consiste en un pequeño (~ 1 :m) cristal subhedral, posiblemente prismático, que debido a su pequeño tamaño no pudo ser identificado.

Temperaturas de homogeneización (T_h). Se realizaron determinaciones de T_h en más de 200 inclusiones alojadas en cuarzo y en una en rodocrosita.

En las inclusiones de tipo II y III se distinguen dos poblaciones de datos, una poco representada e integrada por inclusiones secundarias o pseudosecundarias con T_h comprendidas entre 160° y 210°C y una población dominante formada por inclusiones primarias con T_h entre 220° y 290°C (promedio 240°-260°C). Las diferentes relaciones volumétricas observadas sugieren la presencia de ebullición en el sistema durante el momento del entrapamiento de los fluidos.

En las inclusiones de tipo IIa se determinaron T_h de hasta 360°C y, en la mayoría de los casos decrepitaron antes de alcanzar una completa homogeneización. Estas temperaturas de homogeneización anómalamente altas podrían reflejar pérdida de fluidos o estrangulamientos, pero también sería posible que el cuarzo que aloja a estas inclusiones sea de naturaleza xenoclástica y provenga de la roca de caja, ya que en todos los casos las muestras que contienen estas inclusiones fueron tomadas en las cercanías del contacto veta-roca de caja.

La inclusión fluida de tipo IV perdió la fase líquida durante el segundo calentamiento y el único valor de temperatura obtenido fue de 270 °C.

El único valor de T_h obtenido en una inclusión de tipo II alojada en rodocrosita fue de 140°C.

Temperaturas de fusión. El rango de temperaturas de fusión obtenido en las inclusiones fluidas de este depósito varía entre - 4,05° y - 0,65°C, con promedios comprendidos entre - 2,51° y - 0,79°C. Estas temperaturas corresponden a salinidades entre 6,5 y 1,1 % en peso de NaCl eq., con promedios de 4,2 a 1,3 % NaCl (calculados con la ecuación (4) de Potter *et al.*, 1978).

En la figura 4 se dibujaron algunas isotermas en base a los promedios de los valores de T_h obtenidos. El área de máxima temperatura es elongada según un eje este-oeste y coincide, en líneas generales, con el trazado de la zona central de la veta Nueve. La irregularidad en el diseño, especialmente en el sector suroeste donde se observa un engolfamiento, podría deberse tanto a diferencias en la permeabilidad de la roca de caja como a escasez de datos.

MODELO GENÉTICO

Capillitas es un depósito epitermal polimetálico de alta sulfuración (Márquez-Zavalía y Craig, 1996). Las relaciones que vinculan el Complejo Volcánico con la mineralización de metales preciosos y de base del grupo de depósitos del cual Capillitas forma parte fueron previamente establecidas por numerosos autores (Kittl, 1931 a y b, 1932, 1940; Angelelli, 1941; Angelelli y Rayces, 1946; Varese y Navarro, 1949). La evidencia primaria de esta estrecha relación espacial queda reflejada por la de las vetas y mena diseminada, generalmente alojadas en las volcanitas del Complejo Volcánico. Entre otras características que señalan esta vinculación, pueden mencionarse las estructuras y texturas de las vetas con fábricas bandeadas, la alteración de las rocas de caja, las paragénesis presentes, la fuerte variación vertical y horizontal tanto mineralógica como de leyes, y los rangos de temperaturas y salinidades de los fluidos.

Las vetas del depósito epitermal de la mina Capillitas parecen ajustarse mejor al tipo de alta sulfuración, tal como fue definido por Hedenquist (1987). Parecería que las características que definen estos tipos de depósitos son dominantes en Capillitas, tales como presencia de enargita asociada a pirita, tetraedrita-tennantita, covelina y sílice cavernosa; alunita como uno de los minerales de ganga representados en el depósito; texturas bandeadas; y la presencia de Cu como uno de los elementos dominantes, sumada a la de Te, W y Sn entre los elementos minoritarios. Existen sin embargo algunas características ambiguas, tales como mineralización en espacios abiertos y la presencia de rodocrosita como un importante mineral de ganga durante algunos de los estadios de la mineralización, que son más factibles de encontrar en los depósitos de baja sulfuración.

Considerando las relaciones entre el volcanismo y la mineralización, se podrían diferenciar tres estadios mayores:

1) Pre-mineralización: caracterizado por una sucesión de eventos que comenzaron con la formación explosiva de la diatrema y su relleno con las brechas riolíticas. Este estadio fue desencadenado cuando la parte superior de una cámara magmática silicificada alcanzó niveles cercanos a la

superficie y la sobrepresión causada por la degasificación del magma excedió la presión litostática de la frágil cobertura granítica. La intrusión de diques basálticos, traquíticos y riolíticos sugieren la coexistencia, o al menos la cercana presencia temporal, de magma básico vinculado a procesos de subducción y magma silíceo derivado de la corteza o con marcada contaminación cortical; los diques siguen el patrón de las fracturas conjugadas (noreste-suroeste y noroeste-sureste). Esto fue seguido por la alteración de la roca de caja, afectada principalmente por silicificación y piritización, y la apertura de fracturas de diseño ligeramente radial, posiblemente debido a la presencia de un cuerpo subvolcánico que produjo un ligero domamiento de la frágil cubierta granítica y riolítica, con la subsecuente fracturación radial. Este cuerpo proveería el foco térmico que dió origen al sistema geotérmico que generó la alteración y asimismo explicaría la refracturación de las vetas durante los estadios de la mineralización. La composición de este hipotético cuerpo subvolcánico puede ser dacítica, y constituiría entonces la fuente de los cuatro afloramientos dacíticos que atraviesan las riolitas.

2) Mineralización: la mena mineralizada de Capillitas fue depositada por fluidos hidrotermales derivados de la cristalización magmática del posible cuerpo subvolcánico, con salinidades de 1,1 a 6,5 % eq. NaCl y temperaturas entre 220° y 290°C. La depositación de la mineralización ocurrió en siete estadios discernibles, separados por etapas de fracturación, y progresó desde cuarzo, alunita, pirita y otros sulfuros de hierro, a sulfuros y sulfosales de Cu, Pb y Zn en ganga de rodocrosita; el último estadio estuvo dominado por la depositación de sílice que cementó los fragmentos de la mena mineralizada. La mineralización de metales preciosos se desarrolló durante el cuarto estadio y estuvo representada principalmente por oro y telururos de metales preciosos y estuvo acompañada por pequeñas cantidades de minerales de W, Sn, Bi, Ge, Ni, In, y Cd. La rodocrosita bandeada fue la ganga dominante del cuarto, quinto y sexto estadio de la mineralización.

3) Post-mineralización: durante esta etapa la erosión removió la cubierta superficial del depósito. La zona de oxidación superficial tiene menos de 50 m de espesor y está evidenciada por el desarrollo de sulfatos y carbonatos de cobre, óxidos de Mn y limonitas, dependiendo si las vetas en esos sectores son ricas en sulfuros y sulfosales de Cu o rodocrosita y sulfuros de hierro respectivamente. La zona de enriquecimiento supergénico alcanza, en algunas áreas, hasta 150 m de potencia, pero como esta zona fue intensamente explotada, sólo se puede inferir que el principal mineral hipogénico de importancia económica fue calcosina.

AGRADECIMIENTOS

El CONICET otorgó las becas que hicieron posible este trabajo. La Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Salta (Argentina) y Virginia Polytechnic Institute and State University (USA) prestaron el

marco académico y técnico necesario para la realización de este estudio. La Dirección General de Fabricaciones Militares, otorgó su autorización para realizar investigaciones en una de sus pertenencias.

R. J. Sureda y M. K. de Brodtkorb fueron el supervisor y co-supervisora respectivamente de la tesis doctoral que constituyó la primera etapa de este trabajo y M. A. Galliski prestó su constante apoyo.

BIBLIOGRAFÍA

- Aceñolaza, F. G., A. J. Toselli, F. R. Durand y R. Díaz Tadei, 1982. Geología y estructura de la región norte de Andalgalá, provincia de Catamarca. *Acta Geológica Lilloana*, 16 (1): 121-139.
- Angelelli, V., 1941. Los yacimientos de minerales y rocas de aplicación de la República Argentina. Su geología y relaciones genéticas. *Dirección de Minas y Geología de la Nación, Boletín*, 50: 133-137 y 254. Buenos Aires.
- Angelelli, V. y E. C. Rayces, 1946. Estudio geológico-minero del distrito cuprífero Capillitas, departamento Andalgalá, provincia de Catamarca. *Dirección General de Fabricaciones Militares*, informe inédito. Buenos Aires.
- González Bonorino, F., 1950. Algunos problemas geológicos de las Sierras Pampeanas. *Asociación Geológica Argentina, Revista*, 5 (3): 81-110. Buenos Aires.
- Hedenquist, J. W., 1987. Mineralization associated with volcanic-related hydrothermal systems in the Circum-Pacific basin. In Horn, M. K., (Ed.), Transactions of the fourth Circum-Pacific energy and mineral resources conference, Singapore. *Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources*: 511-524.
- Hedenquist, J. W., Y. Matsuhisa, E. Izawa, N. C. White, W. E. Giggenbach y M. Oaki, 1994. Geology, geochemistry and origin of high sulfidation Cu-Au mineralization in the Nansatsu district, Japan. *Economic Geology*, 89: 1-30.
- Indri, D., 1986. Rasgos geológicos de la cuesta de Mina Capillitas, provincia de Catamarca, Argentina. *Instituto de Geología y Minería, Revista*, 6: 191-209.
- JICA (Japan International Cooperation Agency), 1978-81. Informe de estudios básicos sobre la explotación de recursos minerales en la zona norte de la República Argentina. Cuatro etapas. *Dirección General de Fabricaciones Militares*, informe inédito. Buenos Aires.
- Kittl, E., 1931a. Los yacimientos auríferos de la República Argentina, su génesis y posición geológica. *Revista Minera*, 3 (5): 135-142. Buenos Aires.
- Kittl, E., 1931b. Los yacimientos auríferos de la República Argentina, su génesis y posición geológica. *Revista Minera*, 3 (7): 205-214. Buenos Aires.
- Kittl, E., 1932. Los yacimientos auríferos de la República Argentina, su génesis y posición geológica. *Revista Minera*, 4 (1): 3-4. Buenos Aires.
- Kittl, E., 1940. Los yacimientos cupríferos de la República Argentina y sus explotabilidades. *Revista Minera*, 11 (1-4): 39-78. Buenos Aires.

- Koukharsky, M. y J. C. Mirré, 1976. Mi Vida prospect: a porphyry copper-type deposit in Northwestern Argentina. *Economic Geology*, 71 (5): 849-863.
- Losada-Calderón, A. J. y D. C. McPhail, 1996. Porphyry and High-sulfidation epithermal mineralization in the Nevados del Famatina mining district, Argentina. En Camus, F., Sillitoe, R. H. and Petersen, R. (Eds): Andean copper deposits: new discoveries, mineralization, styles and metallogeny. *Soc. Econ. Geologists Special Publication*, 5: 91-118.
- Márquez-Zavalía, M. F., 1988. Mineralogía y génesis del yacimiento Capillitas (Catamarca, República Argentina). *Universidad Nacional de Salta, tesis doctoral*, inédita. 258 p. Salta.
- Márquez-Zavalía, M. F., 1995. Texturas y sucesión paragenética de las asociaciones minerales del yacimiento Capillitas, provincia de Catamarca. *5º Congreso Nacional de Geología Económica*: 36-373. San Juan.
- Márquez-Zavalía, M. F. y J. R. Craig, 1996. Telluride mineralization at Mina Capillitas, a high-sulphidation epithermal type deposit in northestern Argentina. *Geol. Soc. Am. Meeting*, 27 (7).
- Potter, R. W., M. A. Clynne y D. L. Brown, 1978. Freezing point depression of aqueous sodium chloride solutions. *Economic Geology*, 73: 284-285.
- Ramos, V., 1977. Basement tectonics from LANDSAT imagery in mining exploration. *Geology in Mijnbow*, 56 (3): 243-252.
- Rickard, F. I., 1869. Informe sobre los distritos minerales y establecimientos de la República Argentina en 1868-69. *Informe Ministerio del Interior*, 119-145. Buenos Aires.
- Stelzner, A., 1924. Contribución a la geología de la República Argentina. *Academia Nacional de Ciencias (Traducción del trabajo de 1885)*, 8 (1-2): 165-168. Córdoba.
- Stoffregen, R., 1987. Genesis of acid-sulfate alteration and Au-Cu-Ag mineralization at Summitville, Colorado. *Economic Geology*, 82: 1575-1591.
- Varese, F. y H. B. Navarro, 1949. Distrito minero Capillitas. Informe geológico-minero. *Dirección General de Fabricaciones Militares*, informe inédito. Buenos Aires.
- Viramonte, J. G., M. A. Galliski, V. Araña Saavedra, A. Aparicio, L. García Cacho y C. Martín Escorza, 1984. El finivulcanismo básico de la depresión de Arizaro, provincia de Salta. *9º Congreso Geológico Argentino, Actas*, 3: 234-251. Buenos Aires.