

DEPÓSITOS DE BARITINA Y CELESTINA, RELACIONADOS A LAS FORMACIONES LA MANGA Y AUQUILCO, MENDOZA Y NEUQUÉN

Miguel A. Del Blanco¹ y Mario Barbieri²

En este capítulo se tratarán los depósitos de baritina y de celestina relacionados a las Formaciones La Manga y Auquilco, de edad oxfordiana. Los mismos se extienden geográficamente desde la zona meridional de la provincia de Mendoza (departamento Malargüe) hasta poco más al sur de la localidad de Las Lajas, en la provincia del Neuquén. Se emplazan en dos posiciones estratigráficas definidas; algunos de ellos se vinculan a la transición Formación La Manga-Formación Auquilco, mientras que otros están ligados a intercalaciones calcáreas de la Formación Auquilco.

Estos depósitos y manifestaciones se agrupan en unos pocos distritos; el más importante de ellos es el de Mallín Quemado, que incluye a las minas de Achalay, Río Agrio y La Porfia (baritina) y Llao llao (celestina) emplazadas en el anticlinal de la Sierra de la Vaca Muerta (figura 1). Los depósitos estratoligados, más importantes desde el punto de vista económico, se sitúan en el Oxfordiano (Formación Auquilco), mientras que los discordantes, más pequeños, se disponen en la suprayacente Formación Tordillo (Kimmeridgiano).

Los restantes depósitos se localizan sobre el anticlinal de la Sierra Azul, (departamento Malargüe, Mendoza), con las minas Luthema-Monteagudo (celestina), El Compadrito-La Isidora (baritina); y Vega de la Veranada (departamento Chos Malal, Neuquén).

DISTRITO MALLÍN QUEMADO

MINA ACHALAY

INTRODUCCIÓN

UBICACIÓN

Este depósito se encuentra a unos 55 km al noroeste de la ciudad de Zapala, en el departamento Picunches, Neuquén. Se accede al mismo desde la citada ciudad por la Ruta Nacional 22 hasta la localidad de Las Lajas; desde allí se desvía al este por la Ruta Provincial 48 de ripio, que conduce a Bajada del Agrio por unos 15 km, donde se toma un desvío que lleva a mina Achalay, a unos 5 km de distancia, en el extremo nororiental del cordón Curymil.

LEYES, RESERVAS, PRODUCCIÓN

Los datos analíticos conocidos se indican en la tabla 1.

	Oliveri <i>et al.</i> , 1964	Leveratto, 1982	
	Veta	Manto	Manto
SO ₄ Ba	90%	87%	70-75%
SO ₄ Sr	1,7%	1,3%	6-8%
Densidad	4,33	4,26	4,04-4,33
SiO ₂	3,0%	4,2%	

¹ INREMI, Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Naturales y Museo.

² Universidad de Roma La Sapienza, Italia.

Tabla 1.

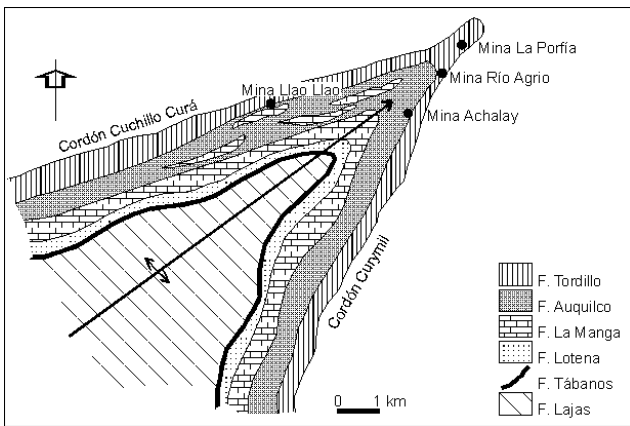


Figura 1. Ubicación de los depósitos del anticlinal de la Sierra de la Vaca Muerta.

Hasta principios de la década del 70, se habían extraído unas 250.000 t de mineral. (Leveratto, 1982). Navarro (1983) por su parte, indica la producción de unas 50 t diarias de baritina destinada a su uso en perforaciones petroleras.

Las reservas de este yacimiento son reducidas, quedando circunscriptas principalmente al manto brechado en su porción occidental, sector que fue explotado por Togon SRL. El sector oriental del depósito, donde se centró la explotación de Minera Tea SAMICAF, se encuentra prácticamente agotado.

SISTEMA DE EXPLOTACIÓN

La explotación de esta mina comenzó, por rajos superficiales, en la veta Achalay, en 1935. A medida que se profundizó la explotación, se pasó a laboreo subterráneo. El nivel mantiforme fue intensamente explotado, por la metodología de cámaras y pilares, en el sector suroeste del yacimiento. Dicha explotación se realizó inicialmente en forma rudimentaria, quedando sujetas en dimensiones y diseño a las irregularidades del manto, de allí que se individualicen grandes cámaras o caserones, de varios metros de alto. Este tipo de yacencia fue detectado luego en el sector noreste del yacimiento, abriéndose aquí el principal acceso a las labores subterráneas más modernas, a través del cual se extraía el mineral por vagonetas.

Al hacerse cargo del yacimiento Minera Tea SAMICAF, se combinó el método de explotación (cámara y pilares y corte y relleno) del manto y tubo de Achalay, y en menor medida de la veta, con la explotación a cielo abierto (cantera) del manto y de la mena brechada, que continuó hasta el fin de la actividad del yacimiento.

HISTORIA DEL DEPÓSITO

DESCUBRIMIENTO Y TAREAS DE EXPLORACIÓN

Los depósitos han sido movilizadas desde el año 1935, inicialmente en forma subterránea y rajos longitudinales a

las estructuras vetiformes por la firma Togon SRL, siendo éste el primer depósito que comenzó a explotarse en el distrito, que en un primer momento tuvo pedido de cateo como mina de plomo. La exploración se desarrolló mediante laboreo superficial y subterráneo (estocadas). Los volúmenes de explotación fueron incrementándose a partir de mediados de la del 50, hasta la década del 60 (Lyons, 1975), a partir del descubrimiento de un sector de mena masiva, denominado después tubo y el horizonte mantiforme. La actividad continuó con cantidades modestas hasta la década del 80, ocasión en que Minera TEA se hace cargo del yacimiento. Inicialmente se continúa con esta metodología de explotación, para después ampliar a una modalidad de cielo abierto en cantera Paralelamente se desarrollaron tareas de prospección mediante perforaciones con recuperación de testigos de corto alcance (diamantinas), dispuestas en el sector norte del depósito. El depósito ha continuado en actividad hasta principios de la década del 90'.

GEOLOGÍA REGIONAL

Estos yacimientos se encuentran asociados a los eventos evaporíticos que durante el Oxfordiano se desarrollaron en las áreas marginales de la Cuenca Neuquina.

GEOLOGÍA DEL DEPÓSITO

LITOLOGÍA

La unidad más antigua es la Formación La Manga, aflorante en la base del cordón Curymil, que presenta como facies más extendida a un *mudstone*. Localmente se reconocen facies de calcáreos arrecifales (*bounstone* coralígeno, Matheos, 1987) y de *grainstone* oolítico, *packstone-wackestone*, que se hacen más abundantes al oeste, en zonas alejadas del depósito barítico, caracterizando un ambiente de plataforma (Matheos, 1987).

Por encima (y en parte sincrónica con la depositación de la Formación La Manga) se dispone el yeso principal (Formación Auquilco), integrado por evaporitas (yeso-anhidrita) con intercalaciones de calcáreos organógenos y limos. Los niveles de sulfato de calcio presentan texturas nodulares conspicuas, principalmente en su sección inferior y media, que pasan a texturas laminadas en su parte superior. En toda su extensión se presentan intercalaciones de calcáreos fétidos, con textura nodular, en ocasiones finamente bandeados (laminación de tipo algal), de pocos metros de potencia. Si bien los calcáreos micríticos se presentan en cantidad muy reducida, en todo el desarrollo de la columna yesífera se destacan dos intercalaciones principales: la de mayor desarrollo limita el tercio inferior de la unidad, mientras que la superior, más discontinua, se presenta en el techo de la misma. Es a este último nivel calcáreo que se vinculan espacialmente los depósitos mantiformes de Ba-Sr del distrito.

Por encima, se deposita la Formación Tordillo, constituida por areniscas gruesas verdosas, con intercalaciones

conglomerádicas de desarrollo lenticular en su porción basal, que gradualmente van pasando a areniscas finas y limolitas. Esta unidad es la roca de caja de los depósitos discordantes (veta Achalay).

ESTRUCTURA

El emplazamiento de las estructuras discordantes estuvo controlado por fracturas de orientación noreste, paralelas al eje del pliegue, correspondientes a fallas de alivio de tensión o de cresterío, las que posiblemente se unan en profundidad (Canelle, 1950; Navarro, 1983). Existen también otras fracturas, de rumbo norte-sur, de tipo perianticlinal, posmineralización, que motivan rechazos de pocos metros en la estructura mantiforme, provocando un resalto al suroeste.

Los procesos de tectónica postmineral, así como la disolución del manto de yeso-anhidrita subyacente han complicado la estructura de este depósito, donde aparecen numerosas zonas brechadas que incluyen bloques de baritina, calcáreos de la Formación Auquileo y areniscas de la Formación Tordillo. Estos procesos han provocado que el manto se presente con desniveles laterales.

MORFOLOGÍA

El yacimiento de mina Achalay consiste principalmente un depósito mantiforme, cuya potencia oscila entre 1 y 4 metros, estratigráficamente dispuesto en el contacto entre la Formación Auquileo (Oxfordiano medio-superior) y la suprayacente Formación Tordillo (Brodtkorb *et al.*, 1985, 1989 y 1995, Del Blanco *et al.*, 1992). En particular se relaciona a niveles calcáreos fétidos, identificados como abultamientos micríticos (Matheos, 1987), los que en el área del yacimiento se encuentran profundamente recrystalizados, con pasajes a mosaicos esparíticos. Este manto de textura bandeada puede seguirse por lo menos 400 m, con inclinaciones moderadas al este, del orden de 20-25° al este, que acompañan a la estructura anticlinal de la sierra de la Vaca Muerta en el flanco suroriental. La extensión del manto puede llevarse, según Leveratto (1982) hasta unos 650 m, en forma discontinua. Es muy frecuente que presenten estructuras bandeadas, que podrían denominarse ritmitas de cristalización diagenética (DCR, Amstutz y Fontboté, 1982).

En vinculación al manto, hay cuerpos vetiformes, que conforman una estructura principal, y otras menores subparalelas, de rumbo submeridiano, con potencias de hasta 2 m, y longitud de 400 metros. Se relacionan a la estructura mantiforme a través del sector de mena masiva o tubo (figura 2).

El depósito mantiforme se encuentra truncado hacia el norte, por la quebrada que separa al yacimiento Achalay del cerro Mallín Quemado, no descartándose su continuidad en profundidad. En dirección al suroeste, se reconocen sólo aisladas manifestaciones de baritina, ligadas al manto carbonático superior dentro de la Formación Auquileo, frecuentemente como reventones de baritina espática de pocos centímetros de diámetro.

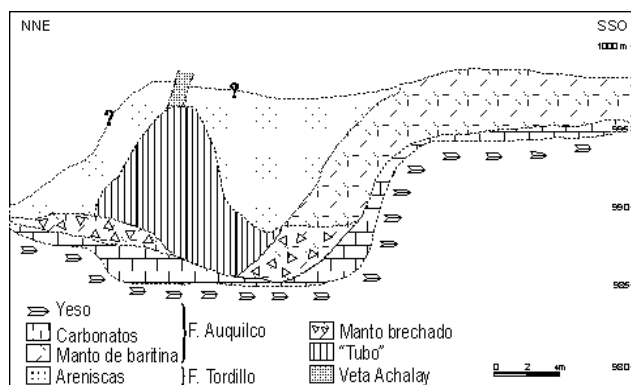


Figura 2. Perfil de la mina Achalay.

MINERALOGÍA

La mineralogía es simple, consistente en baritina, de estructura bandeada y textura plumosa, rara vez espática, de tonalidad blanco amarillenta, con escasas y delgadas intercalaciones de material pelítico verdoso, que se hacen más abundantes en el extremo occidental de este cuerpo. La primera variedad textural domina en el tubo como en la veta Achalay, restringiéndose la espática al manto. El tamaño de grano de ésta es de 0,5 cm mientras que la plumosa, alcanza a 2 centímetros.

Entre los minerales secundarios, cabe indicar la presencia de covelina, frecuentemente asociada a los oxidados de plomo (cerusita, anglesita) además de malaquita, cuprita, hidróxidos de hierro (limonitas) y manganeso, vanadinita y mottramita, estos dos últimos restringidos a la veta Achalay.

Ocasionalmente se presentan escasas cantidades de sulfuros (galena), que se distribuye en forma diseminada, en granos de pocos milímetros de diámetro en la mena mantiforme, pudiendo constituir agregados de hasta 10 cm de diámetro en la veta, donde se la visualiza con un importante grado de deformación. Leveratto (1982), indica la presencia de muy escasas cantidades de esfalerita, pirita, calcopirita, tennantita-tetraedrita; como minerales tardíos se indica también la presencia de calcita y cuarzo, que son más abundantes en la estructura vetiforme. El cuarzo es muy escaso en el manto, donde ocasionalmente aparece como pequeños cristales en oquedades, de 1-2 mm de longitud. En la estructura vetiforme, se lo visualiza en parte masivo, sacaroides, blanquecino, cuya presencia se hace significativa a partir del sector denominado Campana de Tubo (zona de transición entre el manto y la veta) y en la estructura vetiforme. Los carbonatos (calcita y manganocalcita) son abundantes en la parte superior de la veta, donde exhiben una textura espática característica. Se reconoce también la presencia de celestina, a modo de pequeñas drusas y vetillas que impregnan las areniscas de la Formación Tordillo, en cercanías de la veta Achalay.

ESTUDIOS ISOTÓPICOS, GEOCRONOLOGÍA, GEOQUÍMICA

Desde el punto de vista de la geoquímica, cabe resaltar que los contenidos de Sr son del orden de 4% en Sr metálico o de hasta 20% molecular en la baritina (Hayase *et al.*, 1979), disminuyendo hacia los niveles altos y periféricos del yacimiento, donde coexisten baritina y celestina. Son de destacar también los altos valores de Ba, registrados en algunos niveles carbonáticos vinculados a la mineralización, del orden de 6.000 partes por millón. Otro hecho importante es la presencia de altas concentraciones de Ba en los niveles de yeso-anhidrita, de 5.600 a 8.400 partes por millón.

Este depósito cuenta también con numerosos estudios de isótopos estables, entre los que se indican la relación $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (Barbieri *et al.*, 1984; Brodtkorb y Barbieri, 1993; Brodtkorb *et al.*, 1989, 1997 y Del Blanco *et al.*, 1992) isótopos de azufre (Del Blanco *et al.*, 1992; Brodtkorb *et al.*, 1995 y 1997) que se pueden observar en Depósitos de baritina y de celestina vinculados a la Formación Tábanos, Neuquén (Brodtkorb *et al.*, 1999). Se agregan estudios de isótopos de C y O (Brodtkorb *et al.*, 1995a y 1997) y plomo (Del Blanco *et al.*, 1996 y Brodtkorb *et al.*, 1997).

Los valores de relación de isótopos de estroncio para los niveles de yeso, anhidrita y calcáreos de la Formación Auquilco son similares entre sí y asimismo comparables con los niveles baríticos mantiformes del yacimiento homónimo. Se indican en tabla 2. Todos ellos son comparables a los indicados para sulfatos marinos del Jurásico medio-superior (Burke *et al.*, 1982). Aquellos correspondientes a mena brechada y niveles vetiformes, exhiben guarismos más elevados, hecho que se interpreta como debido a la contribución de Sr radiogénico, derivado posiblemente de las cajas de las areniscas de la Formación Tordillo, en ocasión de la apertura del sistema.

En relación a los datos de $\delta^{34}\text{S}$ (tabla 2), puede señalarse una marcada concordancia entre los valores obtenidos de yeso-anhidrita, y niveles mantiformes de baritina, (alrededor de +15,5 ‰) que se corresponden muy bien con aquellos sulfatos derivados de precipitación de agua de mar durante el Jurásico superior. Las estructuras vetiformes, arrojan valores algo inferiores (+15,0 ‰).

Asimismo Del Blanco *et al.*, (1996) efectuaron análisis de relaciones isotópicas Pb/Pb; la relación $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$

	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$\delta\pm$	$\delta^{34}\text{S}$ ‰
Manto	0,70703	0,00003	15,5
Manto brech	0,70782	0,00003	15,2
Yeso	0,70684	0,00003	15,3
Anhidrita	0,70706	0,00003	16,2
Calcáreos	0,70702	0,00003	
Veta	0,70789	0,00003	15,0

Tabla 2. Valores isotópicos determinados en el yacimiento Achalay.

arroja valores comprendidos entre 18,537 a 18,596, mientras que la relación $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ lo hace entre 15,620 a 15,945. Por último, la relación $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ varía entre 38,605 a 38,804. De su análisis surge que la mayoría de ellos indica una fuente de aporte con alta relación U/Pb, es decir niveles altos corticales, siendo entonces posible concluir que el Pb de estas galenas deriva de removilización a partir de rocas preexistentes del basamento. Además, la relativamente alta relación $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ sugeriría, según indican Del Blanco *et al.* (*op. cit.*) dos o más fuentes de origen del Pb o bien procesos posteriores de removilización con agregado de Pb más radiogénico al sistema.

MINA LLAO LLAO

INTRODUCCIÓN

UBICACIÓN

Este depósito se emplaza unos 8 km al oeste de Achalay en el cordón de Cuchillo Curá, que conforma el flanco occidental del anticlinal de la Vaca Muerta. Se accede a este yacimiento desde Zapala, por la Ruta Nacional 22, por 40 km en dirección noroeste hasta la localidad de Las Lajas, para tomar luego un desvío al este por 7 km, paralelo al cordón Cuchillo Curá.

LEYES, RESERVAS, PRODUCCIÓN

Son escasos los antecedentes respecto a la potencialidad minera de este depósito. Según Casé *et al.* (1990), el manto celestínico principal, presenta la composición química que se señala en la tabla 3.

	Común de mena	Mena recristalizada
SrSO_4	65 al 85%	97,40%
BaSO_4	0,9 al 33%	1,31%
CaCO_3	2,2 al 10,5%	0,59%

Tabla 3.

Los delgados mantos de celestina y/o celestobaritina asociados no constituyen manifestaciones de interés económico, cuyos contenidos de SrSO_4 no superan el 30-50% (Casé *et al.*, 1990).

SISTEMA DE EXPLOTACIÓN

El depósito ha sido explotado por la firma Conidier a cielo abierto. La cantera activa tiene un tamaño que alcanza los 8 x 15 m, con una profundización de 6 metros. Se registran trabajos mineros bajo la forma de rajos superficiales y pequeños laboreos subterráneos a veces achiflonados, horizontales y verticales, sobre cuerpos mineralizados menores de baritocelastina, de hasta unos 25 m de longitud.

HISTORIA DEL DEPÓSITO

Las primeras labores efectuadas en el sector corresponden a las manifestaciones de mina Cotita y Achari Car, emplazadas al este de Llao llao, que estuvieron en actividad hasta mediados de la década del 50. Esta mina entra en actividad en el año 1951 (Casé *et al.*, 1990). La firma propietaria de este yacimiento es Conidier.

GEOLOGÍA DEL DEPÓSITO

LITOLOGÍA

La roca de caja se compone de un horizonte calcáreo de pocos metros de potencia, sobreyacente a los niveles evaporíticos de la Formación Auquilco, en parte brechado por debajo del cual se dispone el nivel de celestina principal. Cabe destacar aquí la presencia de un intrusivo subaflorente, de textura porfírica, integrado por fenocristales de 2 a 3 mm de longitud de clinopiroxeno, posiblemente augita, otros de plagioclasas (andesina) en textura intergranular y una matrix totalmente argilizada, teñida con óxidos de hierro. Este intrusivo sería asimilable a la Formación Molle, de edad eocena (Llambías y Rapela *et al.*, 1987). Los calcáreos se encuentran profundamente recrystalizados en un mosaico esparítico, con total obliteración de la textura original.

Localmente, estos calcáreos pierden su carácter de mosaico esparítico a subesparítico, pasando a presentar una textura bandeada, del tipo rítmico sindiagenético, con bandas de calcita micrítica con concentraciones menores de celestina y arcillas, como generación temprana, con bandas más límpidas, de carácter esparítico, de calcita y/o de celestina de segunda generación (figura 3).

ESTRUCTURA

Las estructuras mineralizadas se encuentran alojadas en el flanco noroccidental del anticlinal de la Vaca Muerta, donde las areniscas y conglomerados de la Formación Tordillo, más resistentes a la erosión, constituyen los niveles más elevados del Cordón de Cuchillo Curá. En el mismo, los formaciones jurásicas que lo integran presentan inclinaciones mayores que en el cordón Curymil, de unos 50°-65° al noroeste.

Las concentraciones discordantes, de poca extensión, presentan rumbos que varían desde estenoreste a este-oeste y potencias que no exceden el metro.

MORFOLOGÍA

El depósito de celestina de Llao llao ocupa una posición estratigráfica similar al depósito barítico de Mina Achalay. Tiene morfología mantiforme, con una extensión mínima de 300 m, de forma lenticular, muy discontinua, relacionada a niveles calcáreos fétidos, cuya potencia no excede el metro.

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA ZONA MINA LLAO-LLAO (sin escala)



Figura 3. Columna estratigráfica mina Llao-Llao.

Las concentraciones principales consisten en masas cristalinas de celestina, acompañadas de yeso y/o calcita, producto de removilización y recrystalización. Estos cuerpos irregulares se alojan en cavidades labradas en el yeso y/o los calcáreos de Auquilco, creadas por procesos de disolución. Puntualmente estas concentraciones pueden alcanzar hasta 2 m de potencia.

Los procesos de removilización - recrystalización, además de los fenómenos diagenéticos acontecidos, así como la presencia de óxidos de hierro en las celestinas se debería a la presencia del intrusivo andesítico, ya que, como fue señalado por otros autores, es común que los diques de la Formación Molle aporten soluciones ricas en hierro (Llambías y Malvicini, 1978; Brodtkorb *et al.*, 1989).

En el sector oriental, se presentan manifestaciones menores de celestina y celestobaritina, estratoligadas a los niveles calcáreos superiores de la Formación Auquilco, o bien como cuerpos discordantes, vetiformes, alojados en los niveles basales de la Formación Tordillo. En dirección al oeste, el manto celestínico principal aparece cubierto por material moderno, siendo posible la continuidad del manto en esta dirección.

MINERALOGÍA

Uno de los minerales primarios más importantes es la celestina, la cual aparece bajo distintos aspectos:

a) ritmitas sindiagenéticas, integradas por bandas alternantes de calcita de grano fino, micrítico (generación I), seguida por calcita recrystalizada, de tipo esparítico (generación II) con una banda externa de celestina y/o calcita de tipo sacaroide que puede desarrollar una textura de creci-

	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	δ_{\pm}	$\delta^{34}\text{S} \text{ ‰}$
Celestina (manto)	0,70704	0,00003	18,0/33,0
Celestina (remov.)	0,70805	0,00003	23,0/35,0
Calcáreo	0,70704	0,00003	
Yeso	0,70722	0,00003	

Tabla 4. Datos isotópicos del depósito Llao Llao.

miento bipolar, constituyendo las denominadas ritmitas de cristalización diagenética (DCR) de Amstutz y Fontboté (1982)

b) Masas de grandes cristales tabulares de celestina, que alcanzan a los 10 cm de longitud, de tonalidad celeste a blanquecina, que pueden agruparse en forma masiva o en drusas de 30-40 cm de diámetro. Su textura espática y crecimiento en forma de drusas indican que se han formado en cavidades, por procesos de removilización-recristalización. Con frecuencia estos cristales aparecen teñidos por óxidos de hierro (limonitas) aportados por el intrusivo de la Formación Molle.

c) Se reconoce también celestobaritina y/o celestina, bajo la forma de agregados irregulares, normalmente espáticos, dentro de los calcáreos micríticos emplazados al este del yacimiento, o bien como cuerpos discordantes de entre 10 y 15 cm de potencia, emplazados en los términos inferiores de la Formación Tordillo.

Como minerales secundarios, se reconocen óxidos e hidróxidos de hierro y manganeso, bajo la forma de limonitas-hematita y wad. También, se identificó la presencia de aislados granos de azufre nativo.

Entre los minerales de ganga se presenta calcita, como enclaves micríticos dentro de los mantos o bien como agregados esparíticos asociados a las grandes masas de celestina, y en cristales escalenoédricos tapizando geodas, como generación tardía en los bancos removilizados de celestobaritina y/o de celestina. En forma minoritaria, restringida sólo a algunos sectores del material calcáreo, se identifica a pirita, y escasa marcasita. También se encuentra yeso, de tipo selenítico, megacristalino, removilizado a partir de los bancos de la Formación Auquilco infrayacente. En las manifestaciones ubicadas al oriente de Llao Llao, se indica la presencia de sílice microcristalino (calcedonia) y cuarzo, en reemplazo de material calcáreo.

ESTUDIOS ISOTÓPICOS, GEOCRONOLOGÍA, GEOQUÍMICA

Los contenidos en Sr de los niveles calcáreos de la Formación Auquilco varían considerablemente, desde cifras de 6.500 ppm para aquellos no vinculados espacialmente a la mineralización hasta sólo 750 ppm para los que conforman las estructuras rítmicas tipo DCR, hecho que puede atribuirse a la liberación del Sr durante el proceso de transformación aragonita-calcita. Hecho similar acontece con el Ba, que presenta contenidos iniciales de 7.000 ppm,

los que descienden a sólo 170 en aquellos calcáreos que conforman la caja de los niveles removilizados de celestina y/o baritocelastina. Los contenidos de Ba en la celestina removilizada son de 2.300 partes por millón.

La relación de los isótopos de Sr (Brodtkorb y Barbieri, 1993; Brodtkorb *et al.*, 1989 y 1997 y Del Blanco *et al.*, 1992) fue determinada tanto en la roca de caja como en la mena celestínica. Los valores de yeso son los menores (0,70675) siendo comparables con el rango de valores de agua de mar para el jurásico tardío. Las relaciones isotópicas de los calcáreos y la celestina primaria, sindiagenética son poco más elevados hecho que puede ser atribuido a la contribución de Sr radiogénico, derivado de la presencia de material arcilloso en los niveles calcáreos. Se indican en la tabla 4.

Por último, las relaciones correspondientes a la celestina removilizada, tanto de las grandes masas cristalinas de la mena principal como de las estructuras ubicadas al este de Llao Llao, exhiben valores más elevados, derivados de la reapertura del sistema, y consecuente modificación de las relaciones originales de Sr.

Por otro lado, los datos isotópicos de $\delta^{34}\text{S}$ efectuados (Del Blanco *et al.*, 1992, Brodtkorb *et al.*, 1997) exhiben un importante rango de variación, desde +18,0‰ a +35,0‰. Los menores corresponden a los niveles de celestina interestratificados con los calcáreos y los más elevados son de cuerpos que han sufrido procesos de removilización, y consecuente reacción con el SO_4^- remanente en solución, extremadamente enriquecido en el isótopo pesado. Este proceso de enriquecimiento se debería a reducción preferencial del $^{32}\text{SO}_4^-$ por acción bacteriana, que daría además como resultado la formación de S biogénico.

MINA RÍO AGRIO

INTRODUCCIÓN

UBICACIÓN

Esta mina se emplaza unos 1.800 m al noreste de mina Achalay, atravesando una quebrada que separa el extremo nororiental del cordón Curymil del cerro Mallín Quemado. El acceso a la misma se hace por los caminos señalados para Achalay.

LEYES, RESERVAS, PRODUCCIÓN

Análisis químicos aportados por Oliveri *et al.* (1964) Lyons *et al.* (1978) y Leveratto (1982), indican la siguiente composición de la mena barítica, SO_4Ba : 70-94%; SO_4Sr : 0,60-3,50%; SiO_2 : 2,80-37,50%; Densidad: 3,63-4,37.

Las variaciones de densidad son atribuibles principalmente a los contenidos de cuarzo. En su momento, constituyeron la mayor reserva de baritina de este distrito. Hasta el año 1975 se extrajeron de aquí unas 150.000 t de mineral (Leveratto, 1982). Se estima que quedan reservas, bajo una

disposición vetiforme, por debajo de ese nivel. Por otra parte, si bien no ha sido identificado con seguridad, existe la posibilidad que en los niveles superiores de la Formación Auquilco exista un depósito mantiforme de características similares al de Achalay.

SISTEMA DE EXPLOTACIÓN

Este yacimiento fue inicialmente explotado por rajos superficiales, pasándose rápidamente a una explotación por vía subterránea, en varios niveles, separados entre sí por 30-40 metros. El de mayor desarrollo fue el 1.265, siendo el 1.230 y 1.305 de menor alcance. En total se excavaron alrededor de 1.500 m de galerías, incluyéndose subniveles. El mineral se sacaba mediante vagonetas por la galería principal, ubicada en el nivel 1.265. Se alcanzaron en total seis niveles de explotación (Canelle y Terrero, en Lambert, 1956).

Casi la totalidad del laboreo se ejecutó en la ladera septentrional del cerro Mallín Quemado, existiendo dos cortavetas en la ladera meridional, los que se encuentran hoy inaccesibles.

HISTORIA DEL DEPÓSITO

El yacimiento fue explotado a partir del año 1940 por décadas por la Compañía Minera Togon S.R.L., tanto a cielo abierto como por vía subterránea. Una vez descubierto el depósito mantiforme de Achalay, este mina se dejó de explotar. Durante la década del 80, se hizo cargo del yacimiento Minera Tea SAMICAF quienes entre otras tareas ejecutaron un socavón exploratorio para ubicar la veta a niveles inferiores a los que había sido explotado por su antiguo dueño. Esta labor tuvo resultados parcialmente positivos, ya que fue escaso el volumen de mineral alumbrado.

GEOLOGÍA DEL DEPÓSITO

LITOLOGÍA

Este yacimiento se emplaza en su totalidad en el cerro Mallín Quemado, en areniscas, limolitas y conglomerados de la Formación Tordillo. Casi la totalidad del cerro está integrado por las sedimentitas clásticas de la citada formación, excepción hecha de un pequeño sector del flanco noroeste de esta elevación, donde se encuentran los afloramientos más septentrionales de las evaporitas de la Formación Auquilco, con pequeñas, discontinuas y delgadas intercalaciones de calcáreos de tonalidad castaña, con textura de mosaico esparítico, en los que se destaca la presencia de escasos cristales de celestina de hábito espático de pocos centímetros de longitud.

MORFOLOGÍA, ESTRUCTURA

El depósito consiste en un sistema de vetas subparalelas, de rumbo general nornoroeste-sursuroeste, distribuidas

en un área de unos 1.600 m de largo por 1.000 m de ancho. Canelle (1950) agrupó las estructuras mineralizadas en:

- veta principal del cerro Mallín Quemado.
- Complejo oriental del cerro Mallín Quemado.
- veta occidental del cerro Mallín Quemado.
- afloramientos de galena del cerro Mallín Quemado.

La estructura principal tiene unos 1.000 m de longitud, con potencias que alcanzan hasta los 4-5 m, con un rumbo predominante N20-30°E, siendo su actitud prácticamente subvertical. Está alojada en fracturas normales, que presenta rechazos de hasta 65 m, siendo el labio bajo el oriental. Existen otras fracturas, posmineralización, de rumbo noroeste a oestenoeste, de movimiento siniestral, siendo en ellas el labio bajo el septentrional, con rechazos de 15 a 70 m (Leveratto, 1982). Presenta una estructura brechosa con clastos de areniscas de la Formación Tordillo.

La veta occidental presenta una extensión de 1.200 m, dispuesta unos 400 m al oeste de la anterior (Canelle, 1950). Presenta potencias variables, entre 1,50 m a decenas de centímetros, a veces dispuestas en más de una rama, de disposición discontinua, con textura brechosa. Exhiben fracturas perpendiculares, de pequeño desplazamiento, de tipo levógiro o siniestral.

El Complejo Oriental comprende un conjunto de 9 vetas, dispuestas en forma subparalela y al este de la veta principal, con orientación similar, consideradas como ramas secundarias de estas últimas. Presentan corridas comprendidas entre 120 y 380 m, aflorando en forma discontinua. Sus anchos varían entre 0,30 a 1,70 metros, Este sector tiene menores expectativas económicas que los antes indicados.

La veta con galena, ubicada a unos 500 m al este del complejo mencionado presenta una reducida corrida (150 m) con rumbo N15°E, compuesta esencialmente por cuarzo, sulfuros (principalmente galena) y carbonatos.

Al igual que en depósito de Achalay, procesos de disolución del yeso han provocado el brechamiento de la mena. Este efecto queda manifiesto claramente por los cráteres de la ladera occidental del cerro Mallín Quemado, motivados por el colapso de las sedimentitas clásticas del Tordillo y de las estructuras vetiformes, lo cual ha complicó la exploración en los niveles profundos de este depósito.

MINERALOGÍA

Como mena primaria se presenta baritina, en dos generaciones (Leveratto, 1982) que suele visualizarse en agregados radiados de hábito plumoso de hasta 3 cm de longitud, o bien otros de aspecto traslúcido, en cantidad subordinada. Otra variedad, aparentemente tardía, aparece ocupando fracturas y/o como costras sobre la baritina de primer generación, en tonalidad blanquecina celeste, en escasa cantidad.

La baritina es más abundante en los niveles inferiores de este depósito, pasando a ser mayoritarios los minerales de ganga, cuarzo y manganocalcita, en los superiores.

En todas las estructuras vetiformes aparecen numerosos minerales producto de alteración, en particular minerales de cobre entre las que se puede señalar a covelina, en cantidad escasa pero muy distribuida espacialmente, calcosina (digenita), cobre nativo, cuprita, malaquita y brocantita, y de plomo (cerusita-anglesita) a los que se agregan: rosasita, auricalcita, wulfenita, mottramita, linarita, (Gay y M. de Domínguez, 1984) además de óxidos e hidróxidos de manganeso-hierro.

Entre los minerales de ganga es importante la presencia de cuarzo, el cual se presenta en varias generaciones (Canelle, 1950; Leveratto, 1982). La más antigua, que produce también la silicificación de la caja, es de tonalidad amarillenta y aspecto masivo. La segunda generación, de aspecto sacaroide, que en algunos casos forma el cuerpo principal de varias estructuras vetiformes, coexiste con la baritina. En los niveles superiores de las estructuras central y orientales se hace dominante por sobre la baritina.

En los niveles superficiales, y en particular en las labores más occidentales, se hace importante la presencia de los carbonatos, en particular la calcita, que contiene pequeñas cantidades de manganeso, (manganocalcita de Canelle, 1950). En algunos rajos superficiales, por encima del nivel 1.305, es el mineral exclusivo de las estructuras vetiformes.

En los niveles más profundos se hace significativa la presencia de sulfuros, principalmente galena, con cantidades subordinadas de calcopirita, pirita, tetraedrita y esfalerita. Por otra parte, cabe indicar que Gay y Domínguez (1984) indica la presencia de una paragénesis de minerales de arsénico, donde como especies primarias se cuenta a cornubita, olivenita y connellita, en íntima asociación con la baritina, mientras que los sulfuros se vinculan a la deposición de cuarzo.

ESTUDIOS ISOTÓPICOS, GEOCRONOLOGÍA, GEOQUÍMICA

Los porcentajes de Sr en las baritinas, son más bajos que los determinados en el manto de mina Achalay, mientras que son comparables con aquellos de la veta del mismo yacimiento (alrededor de 17.000 ppm), los contenidos de Ca, están en alrededor de 4.600 partes por millón.

Los valores de la relación $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ revelan cifras levemente superiores los niveles mantiformes de Achalay (0,70788 a 0,70737), cuestión que se explicaría por procesos de removilización a partir de niveles estratoligados, que involucra una reapertura del sistema y por lo tanto contribución adicional de Sr radiogénico, derivado del Rb contenido en la roca de caja.

Los valores de $\delta^{34}\text{S}$ reflejan un hecho similar, ya que la cifra obtenida (+21,8‰) es significativamente más elevada que aquellas de niveles de yeso y mineralizaciones mantiformes de Achalay.

MINA LA PORFÍA

INTRODUCCIÓN

UBICACIÓN

Constituye el extremo norte de las manifestaciones barítico-celestínicas del distrito Mallín Quemado, que presenta una longitud total de 12 km. Se accede, a partir de las labores de la mina Río Agrio, por una distancia de 5 km en dirección noreste.

LEYES, RESERVAS, PRODUCCIÓN

Según datos aportados por Angelelli *et al.* (1976) los contenidos de SO_4Ba oscilan entre un 80 a 85%, tanto en material seleccionado, como en el común de mena.

Análisis ejecutados por los autores indican contenidos de Sr de 1,4%, encontrándose por debajo de los guarismos indicados para los depósitos emplazados al sur. Según Lyons (1975) la producción alcanzó, hasta mediados de la década del 70, unas 75.000 toneladas.

SISTEMA DE EXPLOTACIÓN

El depósito de La Porfía ha sido objeto de un laboreo focalizado principalmente en la estructura principal, en su mayoría a cielo abierto, con un rajo principal (labor Graciela) que se continúa en galerías, más tres niveles subterráneos (el mayor de los cuales es el denominado San Pedro) con destapes y laboreos subterráneos exploratorios menores, que tienen en conjunto una extensión de 600 metros. El laboreo se extiende hasta unos 30 m por debajo del nivel del valle ubicado al noreste. El resto de las estructuras sólo ha sido objeto de pequeños destapes con fines exploratorios.

HISTORIA DEL DEPÓSITO

Este depósito fue puesto en explotación en el año 1947 según Lyons, (1975) o 1948 (Angelelli *et al.*, 1976). La misma ha continuado en explotación hasta la década del 60 momento en el cual comenzó a decaer, hasta su total paralización. Posteriormente ha tenido varios intentos de reapertura, que no se han concretado.

GEOLOGÍA DEL DEPÓSITO

LITOLOGÍA

Se emplaza en los términos superiores de la Formación Tordillo, que están compuestos por areniscas finas y limolitas, principalmente, que presentan un rumbo N20-40°E y buzamientos suaves, de 20-35° al este.

MORFOLOGÍA, ESTRUCTURA

El depósito esta constituido por una estructura principal vetiforme, con un rumbo N20-25°E, e inclinaciones fuer-

tes al este. Tiene una disposición bolsoneira, pudiéndose seguir a lo largo de poco menos de 100 m, con una estructura brechosa dominante.

Entre los depósitos de Río Agrio y La Porfía se reconocen además una serie de estructuras menores, también de rumbo nornoreste, de composición predominantemente carbonática, que carecen de importancia económica, que constituyen la manifestación conocida como Mallín Quemado TG. Presentan corridas de hasta 100 m, con potencias de 0,10-0,20 hasta 1,00 m, con un estructura bolsoneira.

MINERALOGÍA

La baritina se presenta en dos generaciones, la primera, más extendida, es de aspecto masivo, integradas por delgados cristales con hábito plumoso y tonalidad blanquecina. La segunda generación presenta hábito netamente bandeado, integrada por láminas milimétricas de tonalidad alternada blanquecina a celeste. Una última variedad, muy escasa, coexiste con la calcita en diente de perro, la cual se origina por la removilización de las generaciones anteriores; es de aspecto plumoso, de coloración muy blanca.

En la manifestación conocida como Mallín Quemado TG la baritina es escasa, de la variedad blanquecina y hábito plumoso. Esta manifestación carece de significación económica.

Entre los minerales supergénicos se encuentran oxidados de cobre (malaquita, brochantita) en cantidades muy exiguas, así como limonitas y óxidos e hidróxidos de manganeso.

La composición de la veta principal de la mina La Porfía es predominantemente carbonática, en dos generaciones, la precoz con mayor contenido de manganeso, de tonalidad blanquecina a grisácea, mientras que la tardía, de tonalidad blanquecina aparece en cristales espáticos bien formados, de algunos cm de diámetro. Por último, aparece tapizando oquedades (drusas y geodas) una variedad de calcita incolora, en cristales de hasta 1 cm de longitud, con desarrollo de formas escalenoédricas, en diente de perro, originada por disolución y recristalización de las generaciones previas. Cabe destacar la presencia de cantidades subordinadas de cuarzo, que se hacen importantes en los niveles superiores del depósito de La Porfía y particularmente en las de Mallín Quemado TG. Muy ocasionalmente se detecta la presencia de sulfuros, galena y calcopirita. Además, Canelle (1950) señala la presencia de pequeñas cantidades de celestina, intercrecida con los carbonatos.

ESTUDIOS ISOTÓPICOS, GEOCRONOLOGÍA, GEOQUÍMICA

Sobre este depósito se han practicado estudios de isótopos estables sobre la baritina, de la relación $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ y de $d^{34}\text{S}$. (Del Blanco *et al.*, 1992, Brodtkorb *et al.*, 1997). La primera de ellas exhibe cifras de 0,70830 a 0,70893, más elevados que los del manto de mina Achalay, posiblemente por efectos de removilización a partir de una mena primaria. El valor de $d^{34}\text{S}$ determinado sobre la barita bandeadada,

es de +41,8‰, muy diferente a cualquier otro obtenido en menas baríticas o celestínicas del distrito, lo cual indicaría un efecto de removilización y/o aporte hidrotermal significativo sobre estas estructuras.

OTRAS MANIFESTACIONES

MINA LUTHEMA-MONTEAGUDO

El depósito se emplaza en el flanco sudoriental del braquianticlinal de la Sierra Azul, 120 km al sur de la ciudad de Malargüe, Mendoza.

Los análisis efectuados por Fernández, *et al.*, (1987) revelan concentraciones de 63 a 72% de SO_4Sr , mientras que el SO_4Ba es de hasta 1,20%. Sarudiansky y Del Carril (1984), por su parte, señalan contenidos de 76, 90% de SO_4Sr , 5,90% de SO_4Ba y una densidad media de 4,12 kg/dm³, con reservas de unas 33.150 toneladas.

Esta mina ha sido explotada, con interrupciones, a cielo abierto o por vía subterránea, desde la década del 50 hasta los 80 (Brodtkorb *et al.*, 1994). Según indican Sarudiansky y Del Carril (1984) y Brodtkorb *et al.* (1985) la explotación ha sido en los últimos años a cielo abierto, con un corte principal de 85 m de longitud en sentido noreste-suroeste, de un ancho comprendido entre 10-15 m y hasta 12 m de altura.

El depósito, de disposición mantiforme o brechosa y aspecto bolsoneiro, se emplaza entre bancos calcáreos margosos asignables a la Formación La Manga, de textura sacaroide, observándose sectores con recristalización a esparita. Por encima se encuentran relictos, a veces intensamente replegados, de la Formación Auquilco. En el extremo sur el banco mineralizado se presenta intruido por andesitas asignables a la Formación Molle (filón capa) de una textura hipidiomorfa, con fenos de plagioclasa (andesina) y clinopiroxenos (augita-clinoenstatita), y minerales de alteración, entre los que se citan anatasa, natrojarosita, ópalo y caolinita (Bengochea *et al.*, 1984).

El manto está compuesto principalmente por celestina, como agregados en roseta de hasta 30 cm de diámetro (Fernández *et al.*, 1987), también se reconoce como generación tardía capas de aspecto bandeado, tapizando a las grandes rosetas de celestina. En algunos niveles se observan intercalaciones de margas, dispuestas a la manera de finas láminas, con celestina de grano fino. La mineralización fue reconocida en unos 200 m de extensión en sentido noreste-suroeste con alrededor de 10 m de ancho. Su extremo sur se presenta intruido por andesitas asignables a la Formación Molle, donde se observa una conspicua estructura brechosa, donde la celestina aparece a menudo teñida por hidróxidos de hierro (limonitas), encontrándose los cristales sumamente fracturados. En el sector noreste del yacimiento, menos perturbado por procesos tectónicos, se observa la celestina como pequeños granos intercalados en niveles arcillo margosos.

Se han realizado sobre este depósito estudios de relación isotópica $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (Brodtkorb *et al.*, 1985) y de $\delta^{34}\text{S}$ (Del Blanco *et al.*, 1992). Respecto a la primera de ellas, los análisis se efectuaron tanto sobre la mena como sobre las rocas de caja del manto de celestina (yeso de la Formación Auquilco y calcáreos de la Formación La Manga) así como de la andesita de la Formación Molle. Los guarismos arrojados por la celestina (0,70722) yeso (0,707203) y calcáreos (0,707208) se corresponden muy bien entre sí, así como con la relación $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ indicada para el agua de mar de tiempos jurásicos (Burke *et al.*, 1982) mientras que en el dique andesítico la relación fue de 0,704723, indicando un aporte a partir de una fuente profunda (fusión de manto superior), por lo cual se descarta que el Sr de la celestina de mina Luthema fuera aportado por los intrusivos terciarios.

Los valores de $\delta^{34}\text{S}$ (Del Blanco *et al.*, 1992) determinados para el yeso de Formación Auquilco son de 16,8‰ comparables con aquellos correspondientes a los sulfatos precipitados a partir del agua de mar durante el jurásico alto. Para la celestina, se determinó una cifra de 22,8‰; atribuyéndose la diferencia a procesos de removilización-recristalización.

MINA EL COMPADRITO

Este depósito barítico se emplaza inmediatamente al sur del puente de la Ruta Nacional 40 sobre el río Grande, cerca de la localidad de Bardas Blancas, a unos 60 km al suroeste de Malargüe, Mendoza, en el extremo norte del anticlinal de la Sierra Azul.

Sarudiansky y Del Carril (1984) indican para la mena un 83,25% de SO_4Ba , 1,80% de SO_4Sr y una densidad de 4,12 kg por decímetro cúbico. Schalamuk *et al.*, (1987), indican que los contenidos de OBa son de un 60%, mientras que los de OSr son menores al 2%, con una concentración de CaO algo superior al 5% y la de SiO_2 de 1,80%. Es uno de los depósitos de baritina más explotados de la provincia de Mendoza, desde la década del 50 hasta 1980 (Schalamuk *et al.*, 1987) registrándose un descenso gradual en los volúmenes extraídos en los últimos años de actividad. Este yacimiento barítico presenta laboreos subterráneos que totalizan unos 350 m entre galerías y piques, y un rajo de 100 de longitud a cielo abierto. El depósito mineral consiste en un manto barítico, de 3 a 7 m de potencia y 200 m largo, de rumbo N15°-20°O e inclinación de 35-40° al este. Se apoya sobre los calcáreos coralígenos de la Formación La Manga o Formación Caliza del Calabozo (Dessanti, 1973), y está cubierto por un delgado banco de areniscas de la Formación Tordillo, ocupando una zona de falla.

La mena presenta una textura bandeada, de tipo DCR integrada por baritina de grano fino, con delgadas intercalaciones de material limo arcilloso y carbonatos (calcita y escasa siderita) con algo de cuarzo, a los que se agregan hidróxidos de hierro.

Se efectuaron (Brodtkorb *et al.*, 1985) análisis de la relación isotópica de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, sobre la mena barítica y el yeso de la caja que arrojan valores comparables con el agua

de mar del jurásico superior para este último (0,707205), mientras los del manto de baritina fluctúan entre 0,708383 y 0,708314. La pequeña disparidad entre ambos puede atribuirse a procesos de removilización, hecho indudable en este depósito, dados los rasgos texturales y la yacencia en una zona de falla del manto barítico.

MINA LA ISIDORA

Este depósito de baritina se emplaza sobre la margen izquierda del arroyo de las Minas, unos 60 km al oeste de la localidad de Malargüe, en el sector suroeste de la provincia de Mendoza. Los análisis expuestos por Sarudiansky y Del Carril (1984) indican un 79,75% de SO_4Ba , 1,80% de SO_4Sr y una densidad real de 4,23kg/dm³, sin precisar si se trata de material seleccionado o común de mena. Este depósito sólo ha sido objeto de laboreo superficial muy rudimentario (pirquino).

El depósito barítico, de carácter estratoligado, se encuentra en los niveles calcáreos más altos de la Formación Puchenque, próximos al contacto con la Formación Auquilco. Posee una disposición lenticular, con rumbo N65°E e inclinación de 20°N. Presenta 140 m de longitud, con potencias máximas de 5 metros. El piso del nivel mineralizado (Brodtkorb *et al.*, 1985) lo constituye una caliza bandeada, de tonalidades grises oscuras. Por encima del banco barítico se presenta una caliza oscura, también bandeada, que lateralmente pasa a facies evaporíticas, y hacia arriba aparece cubierto por unos 25 m de yeso de la Formación Auquilco, presentándose por encima dioritas terciarias.

El manto aparece en sus términos más bajos con un marcado bandeamiento, integrado por capas de 1-2 cm de baritina y carbonatos (textura tipo DCR), mientras que en sus términos superiores la baritina aparece como grandes cristales tabulares de hasta 5 cm de longitud, a menudo conformando agregados en rosetas.

Brodtkorb *et al.* (1985) han efectuado determinaciones de la relación $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, tanto sobre la roca de caja calcárea como en las facies evaporíticas asociadas y la mena barítica. Cabe indicar la gran similitud de la baritina (0,706624-0,706647) como los de yeso (0,706647-0,706622) indicando una fuente de aporte común. Los valores de los calcáreos en un caso similar a los anteriores (0,706671) o levemente más elevados (0,707548-0,707591) hecho que los autores citados atribuyen a efecto de fenómenos de disolución-recristalización que han acontecido sobre los carbonatos.

VEGA DE LA VERANADA (MINA LA GISELA)

Se emplaza en el paraje conocido como Vega de la Veranada o de la Totorá, a los 37°13' de latitud sur y 69°53' de longitud. oeste, distante unos 80 km de Chos Malal, en el departamento homónimo.

Los depósitos baritoceléstínicos de interés se presentan relacionados a intercalaciones de calizas fétidas grisáceas, de pocos metros de potencia, intercalados en la parte

media de la secuencia de yeso-anhidrita de 300 m de potencia de la Formación Auquilco (Brodtkorb *et al.*, 1995b).

Los niveles calcáreos, de hasta 10 m de potencia ligados al depósito corresponden a agregados micríticos, calcíticos a dolomíticos, los que por recristalización pasan a mosaicos esparíticos. Por sectores se presenta silicificado (Brodtkorb *et al.*, 1995b). Como generación tardía aparece calcita recristalizada que es acompañada por baritocelestina (celestina con alto contenido de Ba). Son también de destacar cristales de cuarzo, de hasta 1-2 cm de longitud, con perfecto desarrollo de sus caras cristalinas, que tapizan oquedades. Medidas microgeotermométricas efectuadas en ellos (de Barrio *et al.*, 1994) revelan muy bajas temperaturas de formación, típicos de ambiente sedimentario.

Los depósitos mantiformes concordantes (mina la Gisela) se presentan por encima de los horizontes carbonáticos, como dos bancos de 1,50 y 1,20 m (inferior y superior), separados por un nivel calcáreo fuertemente silicificado de 0,25 m de potencia. (Brodtkorb *et al.*, 1995b).

Se reconocen también cuerpos irregulares, discordantes, de 30 m de corrida y potencia de 0,40 metros. Los mismos se presentan alojados, sin excepción, en los niveles calcáreos intercalados en la secuencia de yeso-anhidrita de la Formación Auquilco. Los niveles estratiformes tienen contenidos de SO_4Sr de un 60%, mientras que las variedades removilizadas son más puras en SO_4Sr .

Los datos de la relación $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ arrojan valores comparables con el agua de mar del jurásico alto, para la roca de caja (yeso y calizas, cuyas cifras varían entre 0,70690 a 0,70734) mientras que en el caso de la mena de celestina primaria y los calcáreos recristalizados, dichos guarismos se elevan hasta 0,70810 y 0,70822. Por último, la relación $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en la mena recristalizada de 0,71524, revela incorporación de Sr radiogénico, a partir de la circulación de fluidos durante los procesos de removilización acontecidos.

MODELO GENÉTICO

Por un lado, cabe indicar el carácter estratoligado que poseen la mayoría de estos depósitos, que aparecen vinculados a los cuerpos calcáreos o calcáreo-dolomíticos interestratificados en la potente secuencia evaporítica de yeso-anhidrita que constituye la Formación Auquilco, como los casos de Achalay, Llao llao y La Gisela (Vega de la Veranada) o en la transición entre las evaporitas y los niveles calcáreos subyacentes (Formación La Manga o equivalentes), válido para el resto de los depósitos. Este hecho fue interpretado por varios investigadores para apoyar la idea del origen síngénico, o diagenético temprano, mientras que otros lo han asimilado a un mero reemplazo del calcáreo por soluciones hidrotermales epitermales y/o a relleno de fracturas tensionales, vinculados genéticamente a la presencia de cuerpos intrusivos relacionados al volcanismo de la Formación Molle, o unidades plutónico-volcánicas de edad semejante (Eoceno-Oligoceno).

Los rasgos texturales observados en varios de estos depósitos, como la presencia de texturas cebradas, o DCR (ritmitas de cristalización diagénica, en el sentido de Amstutz y Fontboté, (1982), presentes en los depósitos mantiformes de baritina y celestina, así como rasgos geopetales, determinado en mina Llao llao (Casé *et al.*, 1990) apuntarían a apoyar la primera de las hipótesis genéticas expuestas.

Se han realizado numerosos estudios de isótopos estables, entre los que pueden indicarse la relación isotópica $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (Barbieri *et al.*, 1984; Brodtkorb y Barbieri, 1993; Brodtkorb *et al.*, 1985; 1989, 1995 y 1997 y Del Blanco *et al.*, 1992) isótopos de azufre (Del Blanco *et al.*, 1992; Brodtkorb *et al.*, 1995b y 1997), a los que se agregan estudios de isótopos de C y O (Brodtkorb *et al.*, 1997) y plomo (Del Blanco *et al.*, 1996).

La relación $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ determinadas en las rocas encajantes (calcáreos, yeso-anhidrita) indican valores semejantes a aquellos depósitos de yacencia mantiforme, tanto sea de baritina como de celestina, y el conjunto exhibe valores semejantes a las relaciones correspondientes al agua de mar de tiempos jurásicos altos, con pequeñas variaciones. Los cuerpos discordantes (vetiformes) y aquellos mantiforme sujetos a brechamiento, tienen relaciones más altas, lo cual indicaría una cantidad adicional de Sr radiogénico aportado al sistema, durante procesos de diagénesis tardía y removilización. Este fenómeno es muy evidente en el caso de la manifestación de celestina y celestobaritina de Vega de la Veranada, donde los valores varían desde 0,70809 a 0,715, respectivamente. La circulación de fluidos, ya sea juveniles o derivados de la misma cuenca durante el proceso de enterramiento y diagénesis podría ser la causa de esta modificación de las relaciones isotópicas.

La circulación de fluidos tardíos fue determinada en el depósito citado anteriormente, y que diera lugar a la formación de cuarzos autigénicos (de Barrio *et al.*, 1994) cuya temperatura no excedió los 160°C (mesogénesis), ligada a la formación de hidrocarburos.

La presencia de rocas intrusivas porfiricas, de composición andesítica, de edad terciaria (eoceno-oligoceno) asimilables a la Formación Molle, fue verificada en varios depósitos (Llao llao, Luthema, El Compadrito, La Isidora), que eventualmente podrían provocar, por efecto calórico, los procesos de removilización de las menas de Ba-Sr. Sin embargo, las relaciones isotópicas Sr/Sr de estas rocas son marcadamente distintas a las observadas en los yacimientos indicados (relaciones más bajas, correspondientes a rocas originadas en la corteza inferior o manto superior), siendo por lo tanto poco probable un aporte de Sr de esta fuente para la formación de estos depósitos. Además, en este sentido pueden indicarse que el depósito de mina Omega, en el cerro Serrucho, al sureste de La Isidora, (sur de Mendoza) de características vetiformes, cuya roca de caja es las andesitas de la Formación Molle presenta valores de la relación $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ mucho más próximos al de las volcanitas terciarias.

Los valores isotópicos de $\delta^{34}\text{S}$, determinados en niveles calcáreos y evaporíticos ligados a la mineralización, así como la baritina y celestina estratiforme arrojan valores similares a los sulfatos marinos mesozoicos (Claypool *et al.*, 1980) con guarismos de alrededor de 15-16‰ reforzando la idea de una depositación directa o sindiagenética. Los cuerpos discordantes de mina Achalay coinciden también con aquellos del manto de baritina, mientras que los de Río Agrio, y en particular, los de mina La Porfia, tienen valores que van desde 21,8‰ a 41,9‰. Esta evolución hacia valores más elevados en cuerpos discordantes, ya fue señalado por Dejonghe *et al.* (1989) entre otros.

Un comportamiento similar presenta el $\delta^{34}\text{S}$ de los depósitos de celestina; aquellos de depositación primaria o diagenética temprana, exhiben cifras comparables con las del agua de mar en tiempo jurásicos; por otro lado aquellos con signos de removilización poseen valores de hasta 40‰. Valores tan elevados podrían explicarse (Brodtkorb *et al.*, 1997) porque los sulfatos residuales que quedan en solución se van enriqueciendo en el isótopo pesado, debido a una reducción preferencial por acción bacteriana de $^{32}\text{SO}_4^-$.

Los isótopos de Pb, ejecutados sobre galena que aparecen en los depósitos de Achalay y Río Agrio, presentan valores muy altos (elevada contribución de Pb radigénico) lo que sugiere una alta relación U/Pb de la fuente de aporte, tal como acontece en los niveles altos de la corteza (Puig, 1988). La variabilidad de los datos indica además la posibilidad de más de una fuente de aporte o procesos de removilización que hayan afectado las concentraciones primarias de baritina en los cuales la galena es el mineral de ganga.

Por lo indicado precedentemente, se concluye que una hipótesis singenética, evaporítica para los depósitos de Sr y por precipitación química los de Ba, que implica una relación espacial y temporal de los yacimientos y manifestaciones de bario y estroncio a las formaciones La Manga-Auquillo y equivalentes, con posteriores procesos de removilización y consecuente formación de depósitos vetiformes discordantes, aparece como la más plausible.

BIBLIOGRAFÍA

- Amstutz, G. y L. Fontboté, 1982. La posición paragenética de minerales de mena en la secuencia de cristalización diagenética; un método para determinar el tiempo de formación de yacimientos minerales estratoligados. *5° Congreso Latinoamericano de Geología, Actas*, 5:133-148.
- Angelelli, V., I. B. Schalamuk y A. Arrospeide, 1976. Los yacimientos no metalíferos y rocas de aplicación de la región Patagonia-Comahue. *Secretaría de estado de Minería, Anales*, 17. Buenos Aires.
- Barbieri, M., Brodtkorb, M.K. de y Brodtkorb, A., 1984. Nuevos datos isotópicos de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de yacimientos de baritina de la provincia del Neuquén. *9° Congreso Geológico Argentino, Actas*, 5: 59-65.
- Bengochea, A., P. Maiza y G. Mas, 1984. Estudio geológico del yacimiento de celestina "Mina Luthema" departamento Malargüe, provincia de Mendoza. *9° Congreso Geológico Argentino, Actas*, 7: 302-312.
- Brodtkorb, M. K. de y M. Barbieri, 1993. Jurassic barite and celestite deposits of Neuquen Province, Argentina. *8° Quadrennial IAGOD Symposium*, 243-254.
- Brodtkorb, M. K. de, J. Danieli, R. de Barrio, M. Del Blanco, R. Etcheverry e I. Schalamuk, 1994. Características geológicas y perspectivas económicas de los depósitos de baritina y celestina de la Cuenca Neuquina. *1° Encuentro Internacional de Minería, Actas*: 100-105.
- Brodtkorb, M. K. de, J. C. Danieli y A. M. Casé, 1999. Depósitos de baritina y de celestina vinculados a la Formación Tábanos, Neuquén. Este libro.
- Brodtkorb, M. K. de, K. Zák y J. Hladíková, 1995a. Sulfur, carbon and oxygen isotope study of Mesozoic barite and celestite deposits of the Neuquén Province, Argentina. En: J. Pasava, B. Kribek y K. Zák. A.A. (Eds.), *Proceedings of the Third Biennial SGA Meeting, Prague*: 263-266. Balkema, Rotterdam.
- Brodtkorb, M. K. de, M. Del Blanco, R. de Barrio y R. Etcheverry, 1995b. Depósitos barito-celestínicos jurásicos en Vega de la Veranada, Neuquén, Argentina. *5° Congreso Nacional de Geología Económica, Actas*: 234-241.
- Brodtkorb, M. K. de, V. Ramos, M. Barbieri y S. Ametrano, 1982. The evaporitic celestite-barite deposits of Neuquén, Argentina. *Mineralium Deposita*, 17: 423-436.
- Brodtkorb, M. K. de, I. Schalamuk y S. Ametrano, 1989. Barite and celestite stratabound ore fields in Argentina. En: M. K. de Brodtkorb (Ed.), *Non Metalliferous stratabound ore fields*: 41-68.
- Brodtkorb, M. K. de, I. Schalamuk, M. Barbieri, S. Ametrano, R. Fernández, R. Etcheverry y E. Aragón, 1985. Los yacimientos de baritina y celestina del Mesozoico de Mendoza y Neuquén, Argentina. *6° Congreso Geológico Chileno, Actas*, 3: 156-183.
- Burke, W, R. Denison, A. Hetherington, R. Koepnick, H. Nelson y J. Otto, 1982. Variation of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ throughout Phanerozoic Time. *Geology*, (10) 9: 516-519.
- Casé, A., A. Giusiano, J. C. Danieli, M. Barbieri, M. K. de Brodtkorb y A. Brodtkorb, 1990. El yacimiento de celestina Llao llao, prov. del Neuquén. *3° Congreso Nacional de Geología Económica, Actas*, 3: A73-83.
- Canelle, L., 1950. Yacimientos de baritina de la zona del Cerro Mallín Quemado, departamento Picunches, Neuquén. *Dirección Nacional de Geología y Minería*, Carpeta 110, inédito.
- Claypoole, G., W. Holser, Y. Kaplan, H. Sakai e Y. Zak, 1980. The age curves of sulfur and oxygen isotopes in marine sulfate and their mutual interpretation. *Chem. Geology*, 28:199-260.
- de Barrio, R. E. Domínguez y M. K. de Brodtkorb, 1994. Los cuarzos autigénicos de la Formación Auquillo en Vega de la Veranada, Prov. del Neuquén. *2° Reunión de Mineralogía y Metalogenia, Actas*: 31-39.
- Del Blanco, M., M. K. de Brodtkorb, J. Hladíková, K. Zak y M. Barbieri, 1992. Composición isotópica de azufre y estroncio

- de depósitos de baritina y celestina relacionados a las formaciones Tábanos y Auquilco de la cuenca Neuquina y su interpretación. *4° Reunión Argentina de Sedimentología*, 2: 183-190.
- Del Blanco, M., M. K. de Brodtkorb y C. Tassinari, 1996. Datos preliminares de isótopos de plomo en yacimientos de la cuenca Neuquina, República Argentina. *39° Congreso Brasileiro de Geología, IGP proyect 342: Age and isotopes of South American ores*: 270-273.
- Dejonghe, L., D. Bulegue, D. Demaiffe y R. Letolle, 1989. Isotope geochemistry (S, C, O, Sr, Pb) of the Chaudfontaine mineralization (Belgium). *Mineralium Deposita*, 24: 132-140.
- Fernández, R., R. Etcheverry, I. Schalamuk y E. Aragón, 1987. Génesis del yacimiento celestínico "Luthema", provincia de Mendoza, Argentina. *10° Congreso Geológico Argentino, Actas*, 1: 35-38.
- Gay, H. D. y E. Martínez de Dominguez, 1984. Hallazgo de cornubita, olivenita, connellita y rosasita en la Mina Río Agrío, departamento Picunches, Neuquén. *9° Congreso Geológico Argentino, Actas*, 3: 355-367.
- Hayase, K., A. Bengoechea, J. Dristas y C. Labudía, 1979. Estudio del yacimiento de baritina-celestina Mina Achalay, Mallín Quemado, provincia del Neuquén. *6° Congreso Geológico Argentino, Actas*, 3: 61-68.
- Lambert, L., 1956. Descripción geológica de la Hoja 35b Zapala, provincia del Neuquén. *Dirección Nacional de Geología y Minería, Boletín*, 83. Buenos Aires.
- Leveratto, M., 1982. Estudio geológico-minero de los yacimientos de baritina del distrito Mallín Quemado, departamento Picunches, provincia del Neuquén. *Minera TEA*, informe inédito.
- Llambías E. y L. Malvicini, 1978. Geología, petrología y metalogénesis del área de Colipilli, provincia del Neuquén, República Argentina. *Asociación Geológica Argentina, Revista*, 30 (2): 121-132.
- Llambías, E y C. Rapela, 1987. Las volcanitas de Colipilli y sus relaciones con las provincias volcánicas del Terciario inferior de Neuquén-Mendoza y patagonia. *10° Congreso Geológico Argentino, Actas*, 4: 249-251.
- Lyons, W., 1975. Planta o plantas regionales de tratamiento y beneficio de Minerales de bario, provincia de Neuquén. *Consejo Federal de Inversiones, Contrato 5754*. Buenos Aires
- Matheos, S., 1987. Sedimentología y geoquímica de las sedimentitas carbonáticas jurásicas del sector sur de la cuenca Neuquina. *Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, tesis doctoral* 497, 223 pág.
- Navarro, H., 1983. Geología estructural y económica de mina Achalay norte, Dpto. Picunches, prov. de Neuquén. *2° Congreso Nacional de Geología Económica, Actas*, 1: 285-296.
- Oliveri, J., V. Zakalik y M. Juárez, 1964. Estudio geológico económico preliminar de los yacimientos de baritina de la provincia de Neuquén. *Universidad nacional de Cuyo-Instituto Nacional de Geología y Minería*, informe inédito. San Juan.
- Puig, A., 1988. Geologic and metallogenic significance of the isotopic composition of lead in galenas of the Chilean Andes. *Economic Geology*, 83: 843-858.
- Rye, R., D. Shawe y G. Poole, 1978. Stable isotope studies of bedded barite at East Northumberland Canyon in Toquima range, Central Nevada. *Journal Research. U.S. Geological Survey*, 6: 221-229.
- Sarudiansky, R y F. del Carril, 1984. Los yacimientos de baritina y celestina de la provincia de Mendoza. *9° Congreso Geológico Argentino, Actas*, 5: 452-473.
- Schalamuk, I., R. Etcheverry, R. Fernández y E. Aragón, 1987. Geología y génesis del yacimiento de baritina "El Compadrito", Mendoza, Argentina. *10° Congreso Geológico Argentino*, 1: 39-42.