



YACIMIENTOS DE BARITINA Y CELESTINA

Milka K. de Brodtkorb¹ y Juan Carlos Danieli²

1. Profesora Consulta - Universidad de Buenos Aires. milkabro@gmail.com 2. Dirección Provincial de Minería, Zapala, Neuquén. jcdanieli@gmail.com

RESUMEN

Se reconocen diferentes orígenes para los depósitos estratoligados de baritina y celestina presentes en la provincia del Neuquén. Los baríticos pueden ser volcánogénicos o de precipitación química, mientras que los de celestina se asocian a procesos evaporíticos y de diagénesis, presentando en todos los casos diverso grado de removilización y metamorfismo. Estrechamente asociados a los ciclos evaporíticos marinos los depósitos se alojan mayormente en las secuencias sedimentarias de las formaciones Tábanos (Calloviano inferior), Auquilco (Oxfordiano) y Huitrín (Barremiano inferior). La región en donde se localizan está comprendida dentro de la faja plegada y corrida del Agrio, siendo común la presencia de intrusiones dacíticas y andesíticas paleógenas. Numerosos yacimientos han aportado durante los últimos 40 años a la producción de baritina y celestina de alta pureza destacándose los de Mallín Quemado, Cuchillo Curá, Bajada del Agrio, La Continental, Loncopué y Cura Mallín, muchos de los cuales continúan en explotación.

Palabras clave: Depósitos estratoligados, baritina, celestina, ciclos evaporíticos

ABSTRACT

Barite and celestite deposits.- The barite and celestite stratabound deposits recognized in the Neuquén province are scattered in different geological environments. The barite deposits can be of volcanogenic source or chemically precipitated, whereas the celestite's ones are related to evaporitic or diagenetic environments both with variable grades of remobilization and metamorphism. They are closely associated to the evaporitic marine cycles, and are mostly interlayered with the Tábanos (Early Callovian), Auquilco (Oxfordian) and Huitrín (Early Barremian) formations. The region in which these ore deposits are located is encompassed along the Agrio folded and thrust belt, which frequently display dacitic and andesitic paleogene intrusions. Many of these deposits have been mined providing barite and celestite of high purity along the last 40 years, standing out those of Mallín Quemado, Cuchillo Curá, Bajada del Agrio, La Continental, Loncopué and Cura Mallín districts, many of them are actually under exploitation.

Key words: Stratabound deposits, barite, celestite, evaporitic cycles

INTRODUCCIÓN

Los yacimientos de baritina y de celestina presentes en la Cuenca Neuquina tienen diferentes orígenes. Los depósitos baríticos pueden ser volcánogénicos o de precipitación química y los celestínicos producto de procesos de evaporación y diagénesis. Asimismo, los procesos tectonometamórficos y la acción de los intrusivos diorítico-andesíticos del Grupo Molle, han modificado con diferente intensidad a los yacimientos minerales generando cuerpos vetiformes y otras removilizaciones.

El relleno sedimentario del Jurásico-Cretácico de la Cuenca Neuquina está caracterizado por una marcada ciclicidad donde alternan secuencias litológicas marinas y continentales. Estrechamente asociados a los tres ciclos evaporíticos marinos se encuentran los depósitos de celestina, yeso, halita y sales de potasio, y algunos de baritina.

Antecedentes generales sobre el origen de yacimientos de celestina en la provincia del Neuquén fueron dados a conocer, entre otros, por Brodtkorb (1978, 1989), Brodtkorb & Barbieri (1990), Brodtkorb & Etcheverry (1994), Brodtkorb *et al.* 1997 y De Barrio (1999).

MARCO GEOLÓGICO

Dado que en el capítulo correspondiente de este Relatorio se describen las características geológicas de la

Cuenca Neuquina, sólo se mencionarán aquí las formaciones a las que se relacionan los yacimientos de baritina y celestina.

A partir del Pliensbachiano la transgresión eojurásica se depositó en áreas afectadas por una mayor subsidencia, desde conglomerados hasta lutitas negras de la Fm. Los Molles; hacia el inicio del Calloviano la cuenca se restringe tornándose hipersalina y se precipitan las evaporitas de la Fm. Tábanos. Con estas unidades se asocian depósitos volcánogénicos y evaporíticos de baritina.

Durante el Calloviano medio un brusco descenso del nivel del mar cambia las condiciones de sedimentación y se depositan las facies clásticas fluviales y eólicas de la Fm. Lotena seguidas por facies margosas y de carbonatos de plataforma de la Fm. La Manga. Una nueva restricción de la cuenca permite en el Oxfordiano importantes acumulaciones de yeso correspondientes a la Fm. Auquilco, a la que se vinculan depósitos evaporíticos de baritina y celestina.

Luego de la máxima expansión marina registrada en la cuenca a partir del Tithoniano inferior y tras las variaciones en su patrón de subsidencia acaecidas en el Valanginiano, se verifica una nueva somerización durante el Cretácico inferior con desarrollo alternante de evaporitas y clásticas de las Formaciones Huitrín y Rayoso. A la primera se relacionan importantes acumulaciones evaporíticas de celestina con baritina subordinada. Esta

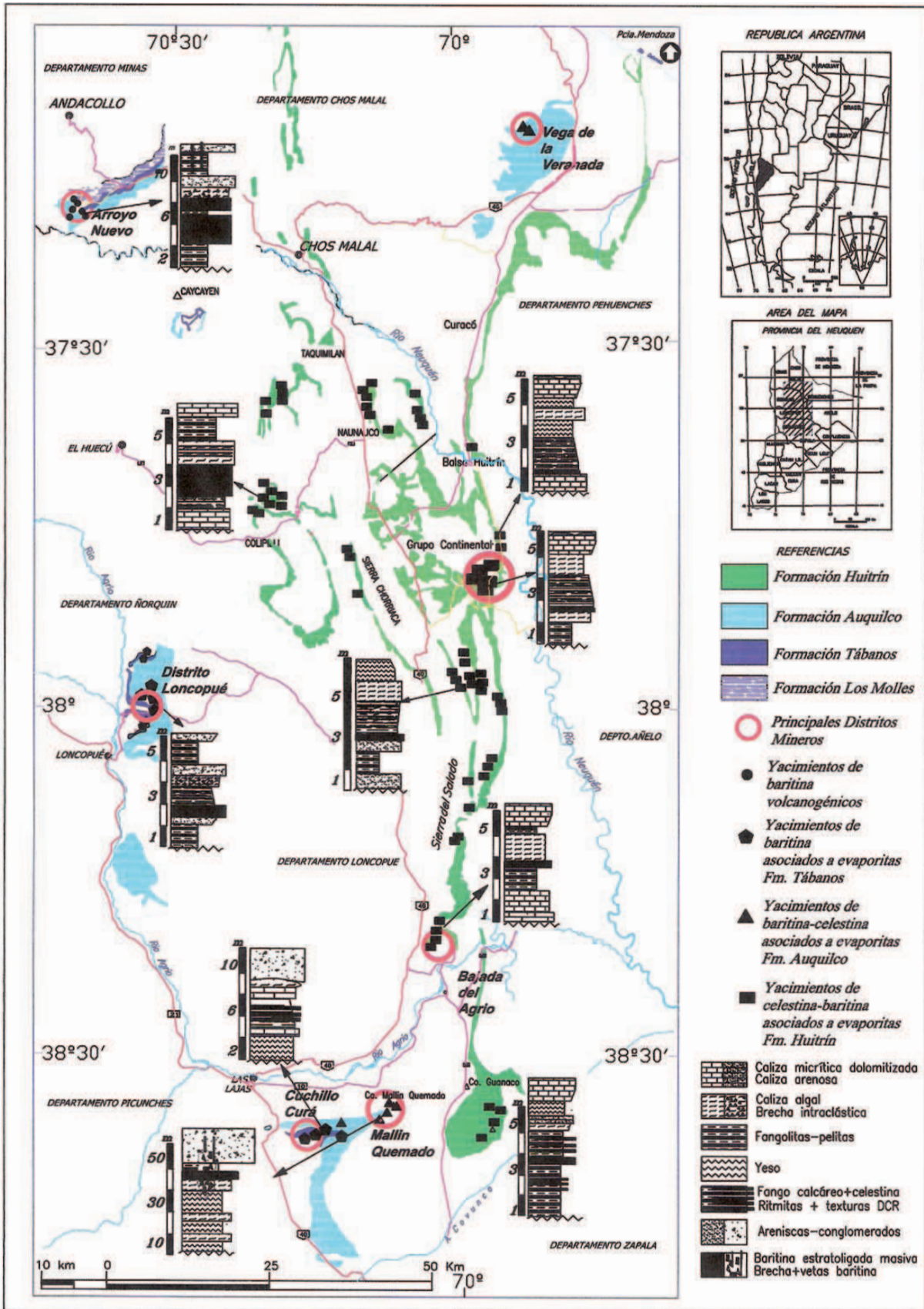


Figura 1: Mineralizaciones estratoligadas de baritina y celestina. Ubicación de los principales distritos y secuencias litológicas tipo.

entidad, aflorante a lo largo de más de 350 km en la cuenca está conformada por los Mbs. Troncoso inferior (areniscas), Troncoso superior (calizas algales, bancos de celesti-

na, yeso, halita y sales de potasio), La Tosca (calizas y dolomitas), y Salina (arcilitas varicolores y yeso) (Leanza et al. 2001, Leanza 2003).



Formación	Distrito	Depósito	Mineral o roca	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$\delta^{34}\text{S}$	Ba ppm	Sr ppm	Ca ppm		
Huitrín	Naunauco	Clementina	yeso	0,70718						
			caliza	0,70746						
		D. Candelario	mto. celestina	0,70668						
			yeso	0,70747						
		2 Hermanos	mto. celestina	0,70740						
			caliza algal	0,70754						
			cel. DCR	0,70748						
			yeso	0,70744						
		Colipilli	San Eduardo	cel. discord.	0,70752					
				caliza algal	0,70737					
mto. baritina	0,70683						1100			
mto. baritina	0,70732			+16,5			970			
bar. DCR	0,70731						330			
Co. del Salado	El Olvido	galena			-17,7					
		mto. celestina	0,70725							
		C. Salado	yeso	0,70783						
		La Continental	yeso	0,70750						
		Bajada del Agrio	S. Bárbara	mto. celestina	0,70754					
				mto. celestina	0,70724					
		Auquílco	Mallín Quemado	yeso	0,70722					
				Achalay	mto. baritina	0,70703	+15,5			
				bar. brechada	0,70782	+15,2				
				anhidrita	0,70706	+15,3				
yeso	0,70688			+16,2						
caliza	0,70702									
c. discordante	0,70789			+15,0						
galena				-7,0						
Río Agrio	c. discordante			0,70788	+21,8					
La Porfía	c. discordante			0,70830	+41,9					
Vega de la Veranada	Llao Llao	mto. celestina	0,70805	+18,0/+33,0						
		cel. DCR	0,70704	+23,0/+35,0						
		yeso	0,70722							
		cal. recr.	0,70704							
		mto. celestina	0,70809							
		yeso	0,70690							
		caliza	0,70690							
		Tábanos	Loncopué	La Rosita	baritina	0,70746	+13,7		12.000	
		Florcita	La Resbalosa	caliza	0,70678					
				c. discordante	0,70709	+20,0		9.200		
mto. baritina	0,70679			+15,7		2.800				
c. discordante	0,70679			+17,8		5.470				
mto. baritina	0,70725									
Cuchillo Curá	San Charbel	celestina DCR	0,70716	+28/+40,0		3007				
		cal. infrayac.	0,70707							
		cal. suprayac.	0,70712							
		mto. celestina	0,70722			7750				
		mto. celestina	0,70717							
Los Molles-Tábanos	Arroyo Nuevo	yeso	0,70716							
		mto. baritina	0,70694	+14,0/+40,0		5.950	670			
		mto. baritina	0,70752			4.505				
		c. discordante	0,70689	+10,0/+14,0		9.700	778			

Tabla 1: Valores de la relación $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $\delta^{34}\text{S}$ y análisis de contenidos de Sr, Ba y Ca en baritinas, celestina, calizas y yeso de las diferentes manifestaciones.

La región en la que se presentan los depósitos estratoligados de baritina y celestina está comprendida en la unidad morfoestructural denominada «Faja plegada y corrida del Agrio», siendo común la presencia de intrusiones diorítico- andesíticas del Grupo Molle (Eoceno inferior a medio).

GEOQUÍMICA, GEOLOGÍA ISOTÓPICA Y MINERALOGÍA

El contenido de Sr en el agua de mar actual es de aproximadamente 8g/t, mientras que el Ba se presenta solo en un porcentaje cercano a 0,06 g/t (Puchelt 1967). El comienzo de la cristalización de la celestina acontece en la zona límite de la precipitación entre carbonatos y sulfatos

de calcio. Cuando la reducción del agua de mar por evaporación alcanza entre 1/3 y 1/5 del volumen inicial se llega a la saturación y precipitación del SO_4Sr , siendo parcialmente superpuesto por la del yeso que se inicia a 1/3,35. Se considera que el 62 % del Sr presente en el agua de mar cristaliza como celestina y el porcentaje restante se incorpora a los otros minerales del ambiente evaporítico, como ser calcita, yeso, anhidrita y también a la baritina precipitada en líneas costeras. Para esta última se ha propuesto que el bario contenido en feldspatos de rocas del área de aporte es liberado durante la meteorización y circula adsorbido en arcillas hasta llegar al mar. Allí las arcillas intercambian Ba por Na y se precipita la baritina en ambientes hipersalinos y de playa de circulación restringida (Puchelt 1967; Hanor & Chan 1977). La diferencia del

origen de estos minerales en ambiente hidrotermal es que el Sr se incorpora en otros minerales de ganga y solo se forma celestina en casos aislados de sobrante de Sr en los fluidos, siendo por otra parte la cantidad de Sr en las baritinas hidrotermales exigua.

Dependiendo del proceso evaporítico los mantos de celestina pueden estar por debajo o por encima de los bancos de yeso, como así también se pueden observar digitaciones laterales entre estos dos minerales.

En los análisis realizados en estos yacimientos se puede observar que los valores de la relación $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ y los $\delta^{34}\text{S}$ de los mantos se corresponden con los del agua de mar de la época geológica en que se originaron, mientras que, en general, los de los cuerpos discordantes son superiores. Esto se debe a la reapertura del sistema con una contribución adicional de Sr radiogénico derivada del Rb contenido en la roca de caja (Barbieri *et al.* 1984).

La baritina se presenta en forma masiva, espática, de colores blanco grisáceos o amarillentos; la celestina, cuando cristalina, de colores celestes.

Se pueden distinguir ritmitas primarias, textura «cebrada» formadas por capas alternantes de calcita y celestina, y ritmitas de cristalización diagenética (DCR de Fontboté & Amstutz 1980). Estas últimas están conformadas por una generación de mosaicos de celestina y calizadolomita, y entre capa y capa una segunda generación de cristales bipolares de celestina, quedando espacios abiertos entre ellos. Durante las removilizaciones pueden formarse geodas dentro de los mantos masivos.

LOS YACIMIENTOS

A fin de describir los yacimientos se los puede ordenar en: **1)** depósitos volcanogénicos de baritina; **2)** depósitos relacionados con las evaporitas de la Fm. Tábanos; **3)** depósitos relacionados con las evaporitas de la Fm. Auquileo, y **4)** depósitos relacionados con las evaporitas de la Fm. Huitrín.

La Fig. 1 muestra la distribución de los principales yacimientos y perfiles columnares tipo en cada una de las secuencias evaporíticas mencionadas.

Depósitos volcanogénicos de baritina

A esta tipología corresponde el yacimiento Arroyo Nuevo. Se localiza a 40 km al ONO de Chos Malal (ca S 37° 19' - O 70° 39'), en el extremo austral del braquianticlinal de la cordillera del Viento. Sobre una secuencia de más de 1000 m de ignimbritas de la Fm. Choiyoi se depositaron rocas piroclásticas y clásticas tobáceas con fósiles marinos de edad pliensbachiano-toarciana, y filones, mantos y flujos de lavas submarinas que representan el inicio de la depositación marina en la Cuenca Neuquina (Suárez & De la Cruz 1997). En áreas de mayor subsidencia la transgresión eojurásica depositó desde conglomerados hasta lutitas negras correspondiendo a la Fm. Los Molles. En el área del depósito se ha reconocido una sucesión estratigráfica que conforma una estructura homoclinal con una inclinación de 12° a 25° al SSE, y que comienza con lutitas negras con intercalaciones de tobas dacíticas de hasta 2 m de espesor y de un manto de baritina que aflora en la ladera de una quebrada. En el interior de la mina se pue-

den observar diques andesíticos de direcciones N-S y O-E en posiciones verticales a subverticales, de potencias de 0,10 a 3 metros. El manto está sobrecorrido por dos fallas inversas con rechazos de 15 a 30 m y otras fracturas asociadas que produjeron movimientos diferenciales en el cuerpo mineralizado.

Este tiene una longitud de 420 m en el sentido del rumbo, 280 m en el de su buzamiento con potencias de 2 hasta 8 m reconocidos durante la explotación.

La mina, hoy inactiva, tiene más de 12.000 m de labores subterráneas desarrolladas en cámaras y pilares, en diversos sectores de explotación, denominados La Vieja, Bellotti y Frentes 1, 3 y 5.

En la parte más profunda del laboreo minero el manto se presenta brechado y en su proyección a superficie se observan vetas y venas de baritina, producto de deformaciones tectónicas y removilización (Fig. 2).

La baritina es de color blanco a grisáceo, de grano fino a grueso, espático, conformado por cristales de hasta 5 cm, de hábito paralelo a radial. Presenta bandas verdigrisáceas conformadas por cloritas y se observaron escasos bochones de galena y granos dispersos de esfalerita, calcopirita y pirita.

Los resultados de análisis isotópicos de Sr y S y contenidos de Sr y Ca realizados en las baritinas se pueden observar en el Tabla 1.

En base a la posición estratigráfica y a los estudios isotópicos se considera que la baritina derivó de fuentes volcanogénicas en un ambiente de plataforma distal.

Yacimientos relacionados con las evaporitas de la Formación Tábanos

a) Yacimientos de baritina del distrito Loncopué

El distrito se halla ubicado unos 7 km al este e la localidad de Loncopué, a ambos lados del arroyo Mulichinco (ca S 37° 59' - O 70° 32'). Está conformado por los depósitos La Rosita, Finocha, La Florcita, Araucana I y Araucana II, y las manifestaciones La Resbalosa, Dos Guanacos y Manzano Silvestre. Un perfil a la altura de La Rosita muestra a la Fm. Tábanos con 36 m de espesor entre la Fm. Lajas y la Fm. Lotena que le sobreyace (Leanza *et al.* 1990) (Fig. 3a). Comienza con limolitas calcáreas alternando con pelitas grises seguidas por bancos de calizas algales y esparíticas, areniscas y limolitas y un banco de aproximadamente 1 m de espesor de calizas con lentes de yeso que contienen los niveles de baritina. La morfología primaria es la de mantos, que por removilizaciones posteriores debidas a plegamientos, se han formado *cuerpos discordantes*. Así en La Rosita y La Resbalosa se localizan mantos y pequeños cuerpos discordantes. En Dos Guanacos y Araucana I se conoce solamente un banco y en La Florcita y Manzano Silvestre cuerpos discordantes ubicados en secuencias superiores.

La baritina es de color blanco, de grano fino a espática. Los mantos de las minas La Rosita y Araucana I presentan espesores entre 0,40 a 1 m, son subhorizontales y fueron explotados por el método de cámaras y pilares. La estructura mineralizada correspondiente a la mina La Florcita fue explotada a través de laboreos a lo largo de 300 metros. Al presente, todos estos yacimientos se encuentran sin actividad extractiva. El distrito registró una producción histórica del orden de las 40.000 toneladas.

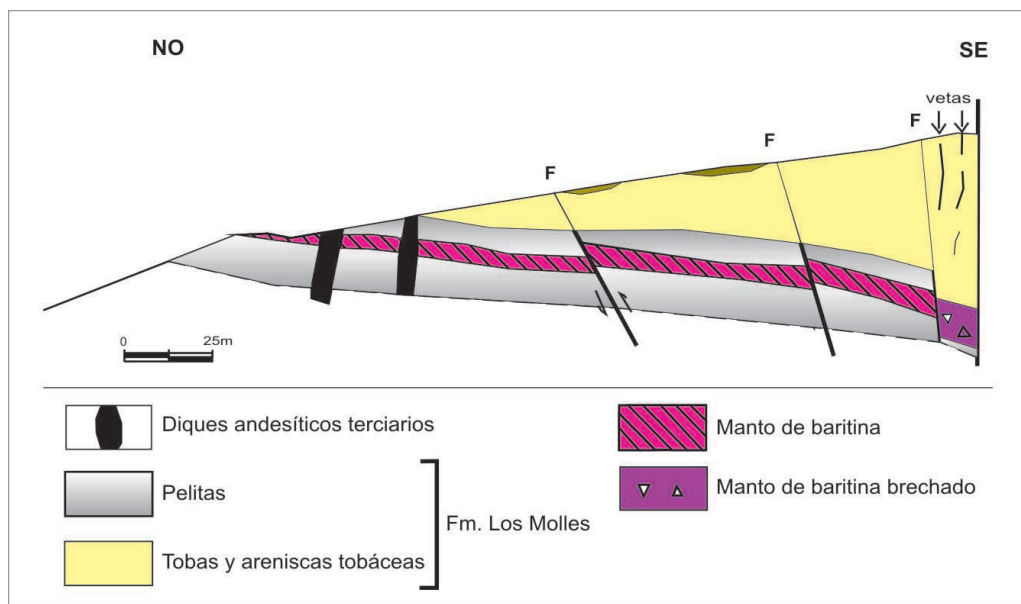


Figura 2: Perfil transversal esquemático de la mina Arroyo Nuevo (tomado de Brodtkorb & Danieli 1999)

b) Yacimientos de celestina del distrito Cuchillo Curú.

Se ubican en la sierra homónima, 50 km al norte de Zapala (ca S 38° 35' - O 70° 14'). Comprende de oeste a este a lo largo de unos 7 km, los yacimientos San Charbel, María Cristina, La Sorpresa, Graciela y La Lía (Brodtkorb *et al.* 1989).

La columna estratigráfica del área comienza con areniscas micáceas de ambiente litoral pertenecientes a la Fm. Lajas. Le sigue la Fm. Tábanos, un sistema calcáreo evaporítico de interior de cuenca. Por encima se hallan lutitas y fangolitas de la Fm. Lotena, calcáreos fosilíferos de la Fm. La Manga, potentes niveles de yeso de la Fm. Auquilco, y conglomerados y areniscas de la Fm. Tordillo (Fig. 3b). Localmente la Fm. Tábanos, de 15 a 30 m de espesor, está integrada de piso a techo por: 0,30 a 0,60 cm de calizas oolíticas con gradación a calizas arenosas; 5 a 10 m de calizas macizas sin estratificación, calizas estromatolíticas y brechas intraformacionales; 5 a 10 m de yeso blanco macizo, de grano muy fino, a veces pulverulento, con cuerpos lentiformes de celestina interdigitados; 5 a 10 m de calizas color castaño claro, en parte dolomitizadas. Estas constituyen un nivel continuo sobre el cual se presenta la Discordancia Intracalloviana que separa la Fm. Tábanos de las areniscas y pelitas de la Fm. Lotena.

En San Charbel la potencia de la Fm. Tábanos es de 20 m con buzamientos de 35° a 40° al N; hacia el este el manto mineralizado se adelgaza hasta alcanzar solo 5 m en La Lía, aumentando su inclinación en el núcleo de un anticlinal. Los depósitos de celestina son lentiformes con espesores a 1 a 3 metros. Presentan texturas sinsedimentarias típicas de facies evaporíticas de aguas someras (textura cebrada), modificadas en parte por diagénesis (textura DCR) y removilizaciones epigenéticas (Fig. 4A). La removilización ha formado geodas de celestina o calcita, precipitaciones coliformes y venillas epigenéticas (Casé *et al.* 1987). La celestina es de color blanco mate a celeste transparente en los cristales rómbicos bien formados. Fueron realizados análisis isotópicos de Sr y S cuyos valores se pueden apreciar en el Tabla 1 confirmándose el origen evaporítico de la celestina.

Depósitos relacionados con las evaporitas de la Formación Auquilco

Corresponden a este grupo: a) los distritos Mallín Quemado y mina Llao Llao y b) el distrito Vega de la Veranada.

a) Los yacimientos del distrito Mallín Quemado y mina Llao Llao

Los primeros se ubican en el flanco sudeste del anticlinal de la sierra de la Vaca Muerta. Localmente la unidad más antigua es la Fm. La Manga con diferentes tipos de calizas de plataforma. Por encima y en parte sincrónica se dispone el yeso de la Fm. Auquilco, aquí con unos 400 m de potencia, con intercalaciones de limos arcillosos y calcáreos.

El distrito Mallín Quemado comprende las minas Achalay y el grupo del Río Agrío (I a VII) a lo largo de unos 4 km en sentido N-S, hasta la mina La Porfía en el extremo norte de la corrida. La mina Achalay, la más importante del grupo, consiste en un manto con potencias de 1 a 4 m que se intercala entre el banco carbonático del tope de la Fm. Auquilco y las areniscas de la Fm. Tordillo.

El manto de baritina tiene unos 580 m de largo (en sentido N-S) por 250 m de ancho (en sentido E-O) encontrándose truncado en la quebrada que separa Achalay del cerro Mallín Quemado. Vinculados al manto se localizan cuerpos discordantes vetiformes y brechas de rumbo submeridional con potencias de hasta 2 metros. El cuarzo es escaso en el manto y raramente se visualizan pecas de galena pero su presencia aumenta en la zona de transición entre manto y vetas, como asimismo en éstas.

A 1,8 km al norte, sobre el cerro Mallín Quemado, se ubican las minas de baritina Río Agrío constituidas por un sistema de vetas subparalelas de rumbo general NNE-SSO emplazadas en la Fm. Tordillo, cubriendo un área de aproximadamente 1,5 km². La veta principal tiene una longitud de unos 1000 m con potencias de 4-5 m y posición subvertical. El cuarzo coexiste con la baritina y suele predominar

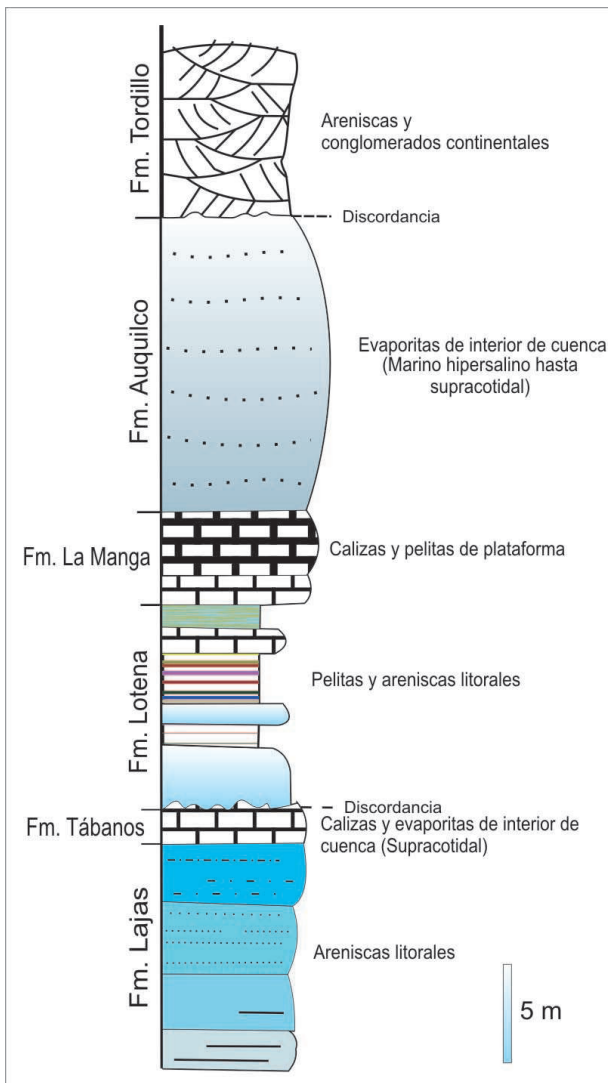


Figura 3: Columna estratigráfica esquemática del distrito Cuchillo Curá (tomado de Brodtkorb *et al.*, 1999)

en los niveles superiores de las vetas del sector central y oriental, mientras que en las del oeste lo hace la calcita. En las zonas más profundas se halla galena con calcopirita, pirita, tetraedrita y esfalerita subordinadas, habiéndose determinado en superficie una gran variedad de minerales secundarios (Gay & Domínguez 1984, del Blanco 2000)

En dirección a la mina Llao Llao (Casé *et al.*, 1988, Brodtkorb *et al.*, 1999) sobre el flanco noroeste del anticlinal de la Vaca Muerta y también asociados a este ciclo evaporítico, se reconocen aisladas manifestaciones de baritina tanto en superficie como en trincheras de exploración.

La mina Llao Llao se encuentra 6,7 km al oeste de la mina Achalay, a los S 38° 35' – O 70° 12'. El depósito ocupa una posición estratigráfica similar a la de mina Achalay, es decir relacionada a calizas fértidas en el techo del yeso de la Fm. Auquilco. Un manto de celestina aflora en el sector oeste del depósito; interdigitado con yeso y abultamientos algales tiene potencias de 1 a 1,5 m presentando sectores con ritmitas sindiagenéticas. Por removilización se han formado masas de celestina con especímenes de hasta 10 cm de largo, a veces en drusas; en parte han sido afectados por fluidos hidrotermales dejando impregnaciones de Fe y Mn. En el sector centro oriental del depósito la baritina se torna

dominante constituyendo un manto de hábito lenticular con potencias de 2 a 4 m y buzamientos de 25° a 30° al norte (Fig. 4B). También se presenta en vetas subverticales de 0,50 a 0,80 m de potencia como relleno de fracturas subparalelas de extensión, a lo largo del flanco del anticlinal. El mineral es de hábito macizo, a veces espático, más raramente cristalino, de color blanco a gris verdoso en las partes más profundas del yacimiento.

Genéticamente se interpreta que después de la precipitación de baritina con contenidos variables de Sr, (en el este mina Achalay) y celestinas con contenidos importantes de Ba (en el oeste mina Llao Llao) en ambiente de costa, se produjo la removilización de estas sustancias debido al plegamiento que afectó la zona y a las intrusiones andesíticas del Grupo Molle. Este diastrofismo contribuyó a la formación de diversas estructuras discordantes, entre ellas vetas, brechas de fricción, brechas de colapso y brechas hidrotermales.

En el área de mina Achalay la karstificación del yeso de la Fm. Auquilco (con desarrollo discontinuo desde la Cueva del León 7 km al sud hasta la quebrada del cerro Mallín Quemado) ha producido una gran brecha de colapso. En ella se observan bloques y clastos del manto de baritina mezclados caóticamente con fragmentos de areniscas de la Fm. Tordillo y restos de calizas y yeso de las unidades infrastantes, quedando solo un fragmento del manto barítico original en el sector oeste y otro más pequeño al este (Fig. 5). Estas estructuras posteriormente cementadas con baritina y sílice removilizadas por circulación de fluidos facilitaron el desarrollo de una potente brecha hidrotermal la que durante la última etapa de explotación intensiva de mina Achalay, en la década de 1980, fue denominada «tubo».

Cabe mencionar que durante los relevamientos de sísmica que YPF realizó en el área se detectó mediante geofísica la existencia de un probable cuerpo intrusivo en profundidad, que pudo haber movilizado baritina con el agregado de fluidos ricos en cuarzo y sulfuros.

Por su parte en mina Llao Llao aflora un dique andesítico en el sector SO de la explotación de celestina a cielo abierto, mientras que en interior mina (explotación de baritina mediante cámaras y pilares) se presenta a modo de filón capa en el nivel -60 metros.

Complementariamente en La Porfia el análisis del $\delta^{34}\text{S}$ ha arrojado valores de +41,8 ‰ los cuales pueden deberse al aporte hidrotermal en estas estructuras (Del Blanco *et al.*, 1996).

Producción del distrito y reservas remanentes

La explotación de Mina Achalay se inició a través de rajos superficiales pasando más tarde a extracción subterránea en varios niveles. Continuó con una modesta producción hasta la década de 1980, ocasión en que Minera TEA se hizo cargo del yacimiento, quien continuó con la explotación subterránea finalizando a cielo abierto, en la zona del «tubo». Hasta principios de la década del 70, se habían extraído unas 250.000 t de mineral (Leveratto 1982). Por su parte, Navarro (1983) indica para el período subsiguiente la producción de unas 50 t diarias de baritina para uso petrolero.

Las reservas remanentes dentro de los laboreos existentes estarían circunscriptas a las brechas y manto del

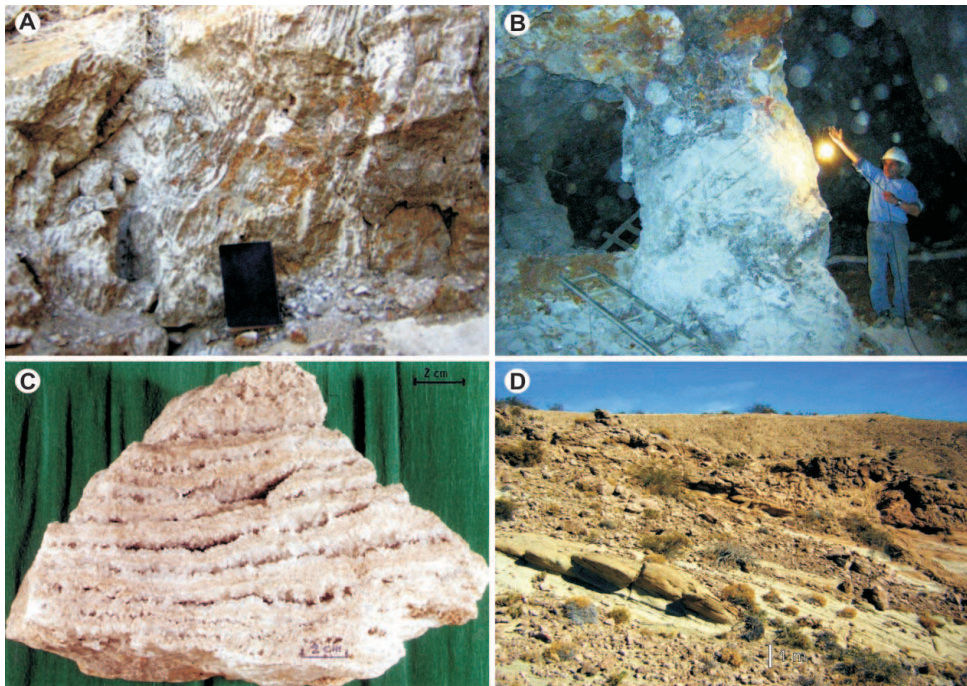


Figura 4: Aspectos de celestinas y baritinas del Neuquén. A) Mina Lia. Ritmitas (celestina+calcita) texturas DCR (Fm. Tábanos). B) Mina Llao Llao. Nivel -50. Manto de baritina masiva (Fm. Auquilco). C) Distrito Bajada del Agrio. Ritmita de cristalización diagenética de celestina. D) Celestina en abultamiento algal (trazo celeste) sobrepuesta por yeso. Mina Dios Alado.

sector oeste aunque su elevado contenido en cuarzo limita las posibilidades de explotación.

En la mina Río Agrio se trabajó a lo largo de trincheras y luego subterráneamente en varios niveles hasta 1975, habiéndose producido unas 150.000 t de baritina (Leverato 1982). Se estima que quedan reservas por debajo de los niveles inferiores de la veta, pero ello no ha sido aún confirmado.

Durante los últimos 5 años la reactivación de mina Llao Llao permitió el desarrollo de nuevas reservas de mineral habiéndose alcanzado una producción de 50.000 t de baritina de calidad petrolera y unas 45.000 t de celestina de alta pureza. Las reservas remanentes de baritina para este yacimiento han sido estimadas en 48.000 t, en tanto que las de celestina rondarían las 15.000 t (Danieli 2006).

b) Yacimientos de Vega de la Veranada

En la Vega de la Veranada, a unos 80 km al norte de Chos Malal, se localizan otras manifestaciones de baritina con altos contenidos de Sr. Son estratoligados y se relacionan a calizas fértidas intercaladas en la parte media del yeso de la Fm. Auquilco (Brodtkorb *et al.* 1995b). Los depósitos mantiformes (mina La Gisela) se presentan por encima de los horizontes carbonáticos, como dos bancos de 1,50 y 1,20 m separados por un nivel calcáreo fuertemente silicificado. Se reconocen también cuerpos irregulares discordantes de hasta 30 m de corrida y potencias de 0,40 metros. Los datos de la relación Sr^{87}/Sr^{86} arrojan valores comparables con el agua de mar del jurásico alto (yeso y calizas cuyas cifras varían entre 0,70690 a 0,70734) mientras que en el caso de las celestinas primarias sindiagenéticas y calcáreos recristalizados dichos guarismos se elevan hasta 0,70810 y 0,70822 (Del Blanco *et al.* 1992). Más hacia el norte, en la provincia de Mendoza y en la misma posición estratigráfica se conocen los yacimientos Luthema, Monteagudo y La Isidora.

Depósitos relacionados con las evaporitas de la Formación Huitrín

A ambos lados del meridiano 70°, entre Zapala y Curacó se localizan numerosas manifestaciones de celestina-baritina relacionadas a los eventos evaporíticos presentes en el Mb. Troncoso superior de la Fm. Huitrín. Los yacimientos se disponen a lo largo de más de 100 km y los vaivenes de la sedimentación litoral cercana a la costa durante la continentalización de la Fm. Agrio produjeron variaciones estratigráficas en los distintos depósitos.

Los principales distritos se encuentran de sur a norte en: **a)** una faja oriental (Cerro Partido, Bajada del Agrio, sierra del Salado, grupo La Continental, Balsa Huitrín, Curacó) y **b)** una franja occidental (sierra de Chorriaca, Colipilli y Naunaucu-Taquimilán).

El contenido de bario es muy variable de un lugar a otro y la presencia de baritina se manifiesta mayormente en Colipilli y en la sierra de Chorriaca. Cabe destacar que la posición estructural variable de los depósitos hace que las características particulares de cada distrito varíen.

a) Depósitos de la faja oriental

Si bien se conocen depósitos y manifestaciones de celestina-baritina inmediatamente al norte de Zapala y en la zona del cerro Partido, los de mayor desarrollo comienzan en la comarca de Bajada del Agrio. Allí el arroyo Salado divide en dos sectores al manto de celestina; al NE los yacimientos Santa Ana y Santa Teresita se hallan en posición subhorizontal (Danieli *et al.* 1989). Sobre calizas oolíticas con cemento de celestina se localiza un manto de 0,80 cm de celestina con textura DCR (Fig. 4C), mientras que al sudoeste, en las minas Santa Bárbara, 4 de noviembre y 5 de noviembre, la sección estratigráfica comienza con calizas algales con intercalaciones arcillosas y pátinas de óxidos de hierro. Gradan lateralmente a calizas de

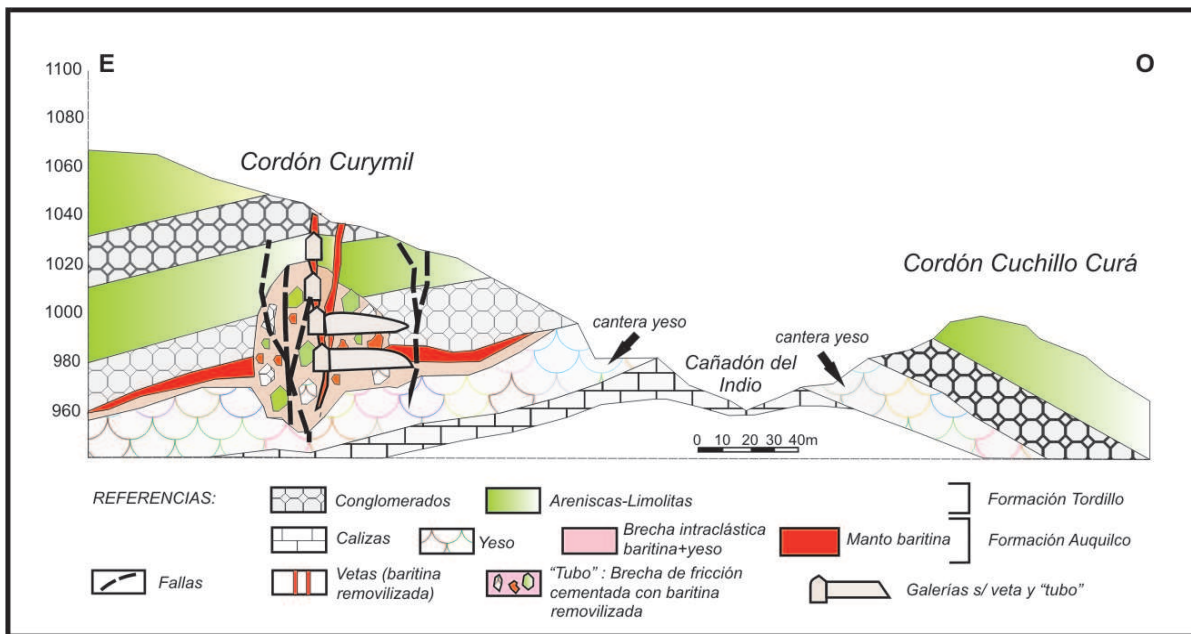


Figura 5: Perfil esquemático de la mina Achalay

estratificación irregular, a veces con textura brechosa, conteniendo intraclastos de caliza y nódulos de yeso que por disolución dan al conjunto un aspecto cavernoso; hacia los costados pasan a yesos nodulares impuros. Por encima se halla el manto de celestina, y suprayaciendo, calizas algales del Mb. La Tosca.

Hacia el norte siguen los yacimientos que forman parte de una misma unidad, presentando condiciones geológicas, mineralógicas y estructurales similares. Con pequeñas discontinuidades están situados sobre la misma corrida mineralizada en el ala oriental de un largo anticlinal cuyo eje tiene en la zona un rumbo NNE.

Los afloramientos con celestina-baritina se intercalan entre sedimentitas de las Fms. Agrio y Huitrín. La mineralización sobreyace a areniscas del Mb. Troncoso Inferior e interdigita lateralmente con niveles yesíferos del Troncoso Superior, constituyendo bandas que alternan con delgados tabiques irregulares de carbonato, y relleno pulvulento de yeso (Fig. 4D).

Los depósitos son lentiformes, con potencias que varían entre los 0,80 a 1,20 m, longitud de corrida de 250 a 300 m e inclinaciones de 40°-50° E. La ley de SO_4Sr se sitúa entre 75%-80 % y se ha estimado para este distrito una reserva del orden de las 32.000 t de mineral (Giusiano & Danieli, 1988).

Con respecto al contenido de baritina las reservas son importantes pero la limitación de estos yacimientos estaría dada por la baja calidad del mineral. Para el área del Cordón del Salado se mencionan las minas El Padrino 1, La Corrida, Los Robertos y Dios Alado y el grupo de El Endemoniado.

La mineralización se presenta con textura bandeada y color pardo claro, compuesta por estroncianita y baritina con calcita, manganocalcita y siderita subordinadas. La corrida correspondiente a las minas El Endemoniado 1, 2, 3 y 4 ha sido explotada hasta tiempos recientes en forma mecanizada y con selección manual del mineral, mediante labores a cielo abierto siguiendo el rumbo de los mantos.

Al igual que los anteriores los yacimientos son mantiformes lenticulares, con potencias medias de 0,50 a 1 m, longitud de afloramiento entre 50 y 100 m, subhorizontales a buzantes 60° O y con leyes de SO_4Sr de 75%-82 %. Las reservas estimadas para este grupo ascienden a las 15.000 toneladas.

En el distrito La Continental (Brodtkorb *et al.* 1975) sobre pelitas verdes con intercalaciones de yeso, se observa un primer nivel de celestina de 0,30 a 0,50 centímetros. Lateralmente este nivel presenta interdigitaciones con pelitas y calizas arenosas fértidas. Los niveles de celestina suprayacentes, de 2-3 m de potencia, presentan textura cebrada y en la parte superior removilizaciones. Lateralmente son remplazados por yeso y anhidrita con intercalaciones de niveles carbonáticos y pelíticos. Fallas compresionales inversas cortan las secuencias clástico-evaporíticas y a ambos lados de ellas se observan estructuras de disolución con formación de drusas y estalactitas conformadas por celestina y baritina.

Las minas de mayor producción histórica en el distrito son: Cecilia, Graciela, Alondra y Santa Elena. En toda la corrida los depósitos mantiformes son de hábito lenticular, con potencias medias del orden de los 2 m, corridas de 1 a 1,5 km, subhorizontales, con encape de 2-3 m de calizas, y leyes de SO_4Sr de 65-70 %. Las reservas estimadas para las minas de esta comarca ascienden a 238.000 t, constituyendo el grupo de mayor importancia por su volumen y condiciones de yacencia (relación estéril / mena: 1,3/1).

Pocos kilómetros al norte, en el flanco oriental del cerro Salado, las minas La Maruca, Danielito y Rayoso constituyen los depósitos más característicos del sector. Son lenticulares, brechados con potencia media de 0,50 a 0,80 m, longitud de corrida 20 a 50 m, subhorizontales, y leyes de SO_4Sr de 90-92 %. Las reservas estimadas alcanzarían las 2000 t. Por último, en Balsa Huitrín en la mina Barda Klein, la celestina se presenta en un banco de 6 a 7 m de espesor y más de 1000 m de extensión, con textura DCR, que lateralmente pasa a bancos de yeso.

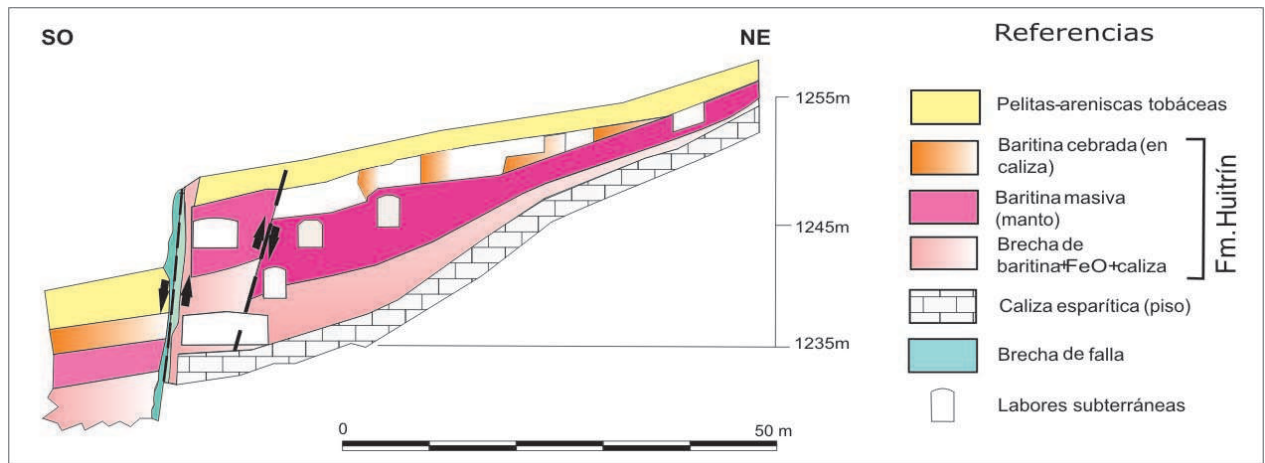


Figura 6: Laboreo subterráneo en la mina San Eduardo

b) Depósitos de la faja occidental

El distrito Naunauco - Taquimilán (Etcheverry *et al.*, 1990) situado en la zona de transición entre el sector interno y externo de la Faja Plegada se caracteriza por una intensa deformación con plegamientos de rumbo meridional asociados a fallas compresivas. Las minas Clementina y Don Candelario se encuentran emplazadas en una estructura sinclinal. En un perfil se pueden distinguir las pelitas de la parte cuspidal de la Fm. Agrio, limolitas arenosas y calizas del Mb. Chorreado, areniscas del Mb. Troncoso inferior y calizas algales, yeso y celestina del Mb. Troncoso superior. El manto de celestina tiene aproximadamente 4 m de espesor, en donde se alternan lentes de celestina con finas intercalaciones pelíticas gris verdosas. En la manifestación Los Dos Hermanos el manto de celestina se emplaza sobre el flanco rebatido de una estructura sinclinal. En la zona de la sierra de Chorriaca las minas Don Felipe y Rucaco son las que presentan mayor laboreo y desarrollo. La potencia media sólo es de 0,20 m en estas acumulaciones, con longitudes que se limitan a los 20 – 40 m e inclinaciones de 50° oeste. La ley de SO_4Sr es de 70 % y las reservas, también exiguas sólo arriban a 200 o 300 toneladas.

En el distrito Colipilli, la mina San Eduardo, ha sido por su desarrollo y producción la de mayor importancia. Baritina y celestina presentan textura DCR estando afectadas por las intrusiones andesíticas de la Fm. Colipilli (Grupo Molle) con abundantes óxidos de hierro y manganeso. La mineralización más importante dentro de las pertenencias de la mina San Eduardo la constituye un potente manto de baritina alojado en las calizas de la Fm. Huitrín. El horizonte mineralizado está limitado en el piso por un nivel de calizas brechadas con abundantes óxidos de hierro e inyección de baritina y calcita en guías y venillas, y en el techo por calizas con baritina en bandas (baritina cebrada) y textura DCR. El manto, reconocido en superficie por varios destapes y trincheras fue parcialmente explotado a cielo abierto quedando bien expuesto en una cava de 70 m de longitud, 45 de ancho y 9 a 10 m de profundidad. Sobre el mismo nivel se desarrolló la explotación subterránea mediante el sistema de cámaras y pilares, con mayor intensidad en las labores situadas al sur de la cava. El manto presenta espesores variables que van desde un mínimo de 0.80 m a más de 7 m y su potencia tiende a aumentar hacia el sudoeste,

encontrándose allí seccionado por una falla de desplazamiento diagonal (Fig. 6).

El mineral seleccionado de cancha mina presentó altas concentraciones de sulfato de bario variando entre 86,4 % y 82,3 % de SO_4Ba con un Pe de 4,32 y 4,20 gr/cm³ respectivamente (Lyons 1975).

La producción de baritina de este yacimiento, en actividad hasta la década de 1990, ascendió a las 30.000 t, estimándose en 32.800 t las reservas remanentes de mineral.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Barbieri, M., Brodtkorb, M.K. de & Brodtkorb, A. 1984: Nuevos datos isotópicos de $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ de yacimientos de baritina de la prov. del Neuquén. 9° Congreso Geológico Argentino, Actas 5: 59-65. Bariloche
- Brodtkorb, M.K. de 1989. Celestite: worldwide classical ore fields. En: Non Metalliferous Stratabound Ore Fields: 17-39. Evolution Of Ore Fields Series. Wilfred Walker, Series Editor. Van Nostrand Reinhold. New York.
- Brodtkorb, M.K. de 1978. Génesis de yacimientos de la provincia del Neuquén. Relatorio Geología y recursos naturales de la provincia del Neuquén. 7° Congreso Geológico Argentino, 251-263. Buenos Aires.
- Brodtkorb, M.K. de & Barbieri, M. 1990. Jurassic barite and celestite deposits of Neuquén province, Argentina. Proceedings of 8th IAGOD Symposium: 243-254. Canadá.
- Brodtkorb, M.K. de & R. Etcheverry, R. 1994. Diferentes modelos de depósitos de baritina y celestina de la Cuenca Neuquina, Argentina. 7^o Congreso Geológico Chileno, Actas 2: 794-798. Chile.
- Brodtkorb, K. de & Danieli, J.C. 1999. El depósito de baritina Arroyo Nuevo, Neuquén. En: Zappettini, E. (Ed.): Recursos minerales de la República Argentina. SEGEMAR, Anales 35: 1047-1049. Buenos Aires.
- Brodtkorb, M.K. de, Ramos, V.A. & Ametrano, S. 1975. Los yacimientos estratoligados de celestina-baritina de la Formación Huitrín y su origen evaporítico, provincia del Neuquén. 2^o Congreso Iberoamericano de Geología Económica, Actas 2: 143-168. Buenos Aires
- Brodtkorb, M. K. de, Schalamuk, I.B. & Ametrano, S. 1989. Barite and celestite stratabound ore fields in Argentina. En: Non Metalliferous Stratabound Ore Fields: 41-70. Evolution Of Ore Fileds Series. Wilfred Walker, Series Editor. Van Nostrand Reinhold. New York.

- Brodtkorb, M.K. de, Casé, A.M., Giusiano, A., Barbieri, M. & Danieli, J.C. 1989. Los yacimientos de celestina de Cuchillo Curá, provincia del Neuquén. En: Schalamuk, I.B., Brodtkorb, M.K. de & Leanza, H.A. (Eds.): Procesos Metalogénicos. Serie Correlación Geológica 3: 123-132. San Miguel de Tucumán.
- Brodtkorb, M.K. de, Danieli, J.C., de Barrio, R., del Blanco, M., Etcheverry, R. & Schalamuk, I.B. 1994. Características geológicas y perspectivas económicas de los depósitos de baritina y celestina de la Cuenca Neuquina, República Argentina. Encuentro Minero, Secretaría de Minería, Actas: 100-105. Buenos Aires.
- Brodtkorb, M.K. de, del Blanco, M., de Barrio, R.E. & Etcheverry, R.O. 1995a. Depósitos barito-celestínicos jurásicos en Vega de la Veranada, Neuquén, Argentina. 5° Congreso Nacional de Geología Económica, Actas: 234-241.
- Brodtkorb, M.K. de, Hladikova, J. & Zak, K. 1995b. Sulfur isotopes of Mesozoic barite and celestite deposits, Neuquen province, Argentina. En: Papunen, H. (Ed.): Mineral Deposits. Research and exploration. Balkema.
- Brodtkorb, M.K. de, Barbieri, M., Zak, K., Hladikova, J., Ametrano, S., Etcheverry, R., de Barrio, R.E., del Blanco, M. & Danieli, J.C. 1997. Isotope data on barite and celestite deposits related to three Mesozoic evaporitic sequences of the Neuquén Basin, Argentina. *International Geology Review* 39: 307-316.
- Brodtkorb, M.K. de, de Barrio, R., del Blanco, M. & Etcheverry, R. 1999. Geología de los depósitos de baritina, celestina, yeso y halita de la Cuenca Neuquina, Neuquén y Mendoza. En: Zappettini, E. (Ed.): Recursos minerales de la República Argentina. SEGEMAR. Anales 35: 1041-1046. Buenos Aires.
- Brodtkorb, M.K. de, Danieli, J.C. & Casé, A.M. 1999. Depósitos de baritina y de celestina vinculados a la Formación Tábanos. En: Zappettini, E. (Ed.): Recursos minerales de la República Argentina. SEGEMAR. Anales 35: 1051-1055. Buenos Aires.
- Casé, A.M., Giusiano, A., Barbieri, M., & Brodtkorb, M.K. de 1987. Los yacimientos de Celestina del Cuchillo Curá, provincia del Neuquén. 10° Congreso Geológico Argentino, Actas 5: 4 Tucumán
- Casé, A.M., Giusiano, A., Danieli, J.C., Barbieri, M., Brodtkorb, M.K. de & Brodtkorb, A. 1990. El yacimiento de celestina Llao Llao, provincia del Neuquén. 3° Congreso Nacional de Geología Económica, Actas 3: A 73 83.
- Danieli, J.C., Giusiano, A., Barbieri, M. & Brodtkorb, M.K. de 1989. Las celestinas - baritinas de la Formación Huitrín en el flanco oriental de la Cordillera del Salado, prov. del Neuquén, Argentina. En: M. K. de Brodtkorb & Schalamuk I.B. (Eds.): Depósitos Minerales del Cretácico de America Latina, pp. 73 84. Buenos Aires.
- Danieli, J.C. 2006. Relevamiento geológico de superficie y subterráneo de la mina Llao Llao. Dirección Provincial de Minería de Neuquén (Informe inédito). Zapala, Neuquén.
- De Barrio, R.E. 1999. Los Depósitos de celestina (baritina) relacionados a la Formación Huitrín, Neuquén y Mendoza. En: E.O. Zappettini (Ed.): Recursos Minerales de la República Argentina, Instituto de Geología y Recursos Minerales-SEGEMAR, Anales 35: 1095-1102. Buenos Aires.
- Del Blanco, M.A. 2000. Paragénesis mineral de mina Río Agrío, departamento Picunches, provincia del Neuquén. 5° Congreso de Mineralogía y Metalogía. Instituto de Recursos Minerales, UNLP, Publicación 6: 109-115.
- Del Blanco, M., Brodtkorb, M.K. de, Hladikova, J., Zak, K. & Barbieri, M. 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 de Sedimentología, 2: 183-190. La Plata.
- Etcheverry, R., de Barrio, R., Barbieri, M. & Brodtkorb, M.K. de. 1990. Depósitos celestínicos asociados a la Formación Huitrín, Distrito Naunauco- Taquimilán, provincia del Neuquén. 3° Reunión Argentina de Sedimentología, Actas: 119 124.
- Fontboté, L. & Amstutz, G.C. 1980. New observations on diagenetic crystallization rhythmites in the carbonate facies of the Triassic of the Alpujárrides (Betic Cordillera, Southern Spain). Comparison with other diagenetic rhythmites. 1st Symposium on Diagenesis, Inst. Inv. Geol. Barcelona, Rev. 34:293-310. Barcelona.
- Gay, H.D. & Domínguez, E. de M. 1984. Hallazgo de cornubianita, connelita, olivenita y rosasita en la mina Río Agrío, departamento de Picunches, provincia del Neuquén. 9° Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 355-367.
- Giusiano, A. & Danieli, J.C. 1988. Depósitos de celestina-baritina asociados a la Formación Huitrín, Provincia del Neuquén. Dirección Provincial de Minería del Neuquén. (Informe inédito). Zapala.
- Hanor, J.S. & Chan, L.H. 1977. Non- conservative behavior of barium during mixing of Mississippi River and Gulf of Mexico waters. *Earth and Planetary Science Letters* 37: 242-250.
- Leanza, H.A. 2003. Las sedimentitas huitrinianas y rayosianas (Cretácico inferior) en el ámbito central y meridional de la Cuenca Neuquina, Argentina. SEGEMAR, Serie Contribuciones Técnicas, Geología 2: 1-31. Buenos Aires.
- Leanza, H.A., Brodtkorb, M.K. de & Barbieri, M. 1990. Yacimientos baríticos vinculados a la Formación Tábanos (Jurásico) en el área de Loncopué, provincia del Neuquén. 3° Reunión Argentina de Sedimentología, Actas: 163 168.
- Leanza, H.A., Hugo, C.A. & Repol, D. 2001. Hoja Geológica 3969-I, Zapala, provincia del Neuquén. Instituto de Geología y Recursos Naturales. SEGEMAR, Boletín 275: 1-128, 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).
- Lyons, W. 1975. Planta o plantas regionales de tratamiento y beneficio de minerales de Barrio, provincia del Neuquén. Consejo Federal de Inversiones. Contrato 5754. (Informe inédito). Buenos Aires.
- Navarro H. 1983. Geología estructural y económica de Mina Achalay Norte, Departamento Picunches, provincia del Neuquén, 2° Congreso Nacional de Geología Económica. Actas 1: 285-296. Universidad Nacional de San Juan.
- Puchelt, H. 1967. Zur Geochemie des Bariums in exogenen Zyklus. *Sitzungsberg, Akad. Wiss. Math. Nat. Kl.* 4: 85-205. Heidelberg.
- Suárez, M. & De La Cruz, R. 1997. Volcanismo pliniano del Lías durante los inicios de la cuenca de Neuquén. Cordillera del Viento, Neuquén, Argentina. 7° Congreso Geológico Chileno, Actas 1. 266-270.