

## TEXTURAS CEBRADAS ASOCIADAS A LAS MINERALIZACIONES DE Ba-Sr ALOJADAS EN LA FORMACIÓN HUITRÍN, ENTRE CHOS MALAL Y BAJADA DEL AGRIO, NEUQUÉN

ESCOBAR, R.I.\* \*\*, SALVIOLI, M.A.\* \*\*, de BARRIO, R.E.\* , LANFRANCHINI, M.E.\* \*\*\* y ETCHEVERRY, R.O.\* \*\*

(\*) Instituto de Recursos Minerales (INREMI) - FCNyM (UNLP) - Calle 64 y 120- La Plata, Buenos Aires, Argentina - e-mail: ignacioescobar84@gmail.com

(\*\*) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

(\*\*\*) Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CICBA)

### ABSTRACT

The Neuquén Basin contains numerous Ba-Sr deposits hosted by the Troncoso superior Member of the Huitrín Formation (Barremian-Albian, Lower Cretaceous). The celestite-barite mineralizations show a strong lithostratigraphic-structural control, mainly related to boundstones with algal laminated textures and evaporitic layers. The zebra textures are composed by the alternance of thin Ba-Sr sulphates and carbonate sheets. Their origin is linked to replacement-filling processes, possibly related to the action of hydrothermal fluids derived from basinal brines and in some sectors from a magmatic source.

*Palabras clave:* Texturas cebradas, Ba-Sr, Reemplazo/Relleno, Cuenca Neuquina.

*Keywords:* Zebra textures, Ba-Sr, filling-replacement processes, Neuquén Basin.

### INTRODUCCIÓN

En la Cuenca Neuquina (Fig. 1a) se presentan numerosos depósitos de Ba y Sr asociados a la Formación Huitrín (Barremiano-Albiano). Los mismos se encuentran vinculados a facies carbonáticas ("algal mats") y a niveles evaporíticos del Miembro Troncoso superior de la mencionada unidad que comúnmente presentan texturas cebradas o rítmicas. El análisis de estas últimas y los relevamientos de campo ayudaron a comprender los procesos genéticos actuantes en la formación de los depósitos.

En algunos depósitos mundiales de dolomita, magnesita, ankerita, siderita y más típicamente en yacimientos estratoligados de Pb-Zn-Ba-F alojados en facies carbonáticas, es frecuente la presencia de texturas cebradas, formadas por la alternancia rítmica de bandas o láminas planas a crenuladas. Dicha alternancia consiste en láminas de coloraciones claras y oscuras, con espesores que varían entre algunos milímetros y unos pocos centímetros, correspondiendo las mismas a diferentes generaciones de carbonatos y otras especies minerales, que se

disponen en oquedades ó fenestras paralelas a la estratificación (Fontboté y Amstutz, 1980; Fontboté, 1993).

En este trabajo se estudian diversos sectores localizados en la parte centro-occidental de la Cuenca, entre las localidades de Bajada del Agrio y Chos Malal (Fig. 1b). Se describen las características geológicas y texturales de los depósitos pertenecientes a las minas 4 de Noviembre, Santa Bárbara, Santa Ana (Bajada del Agrio), Grupo Continental, Colipilli y Taquimilán.

### ANTECEDENTES

Existe una gran diversidad de depósitos que presentan texturas cebradas, asociadas esencialmente a mineralizaciones alojadas en rocas carbonáticas. Entre las principales citas se pueden mencionar a Fontboté (1990), que investigó los depósitos estratoligados de los Alpes y Andes Centrales; más recientemente Trilla *et al.* (2006) y González Sánchez *et al.* (2009), caracterizaron a los depósitos jurásico-cretácicos de celestina y baritina del NE de México. Por otra parte, Martín *et al.* (1984) y Torres Ruiz (2008) consignaron texturas

cebradas en los yacimientos celestínicos de Montevivo y Escúzar, Granada (España).

En territorio argentino, ejemplos de texturas cebradas han sido descritos por Brodtkorb *et al.* (1975, 1982), Ramos y Brodtkorb (1990) y de Barrio (1999) en depósitos de la Formación Huitrín de la Cuenca Neuquina.

## Marco Geológico

En la región estudiada, la estratigrafía está compuesta por unidades sedimentarias jurásico-cretácicas que comprenden ciclos marinos y continentales alternantes en una rica historia evolutiva. En este contexto regional, el Cretácico inferior representa uno de los períodos con gran desarrollo de ambientes de plataformas carbonáticas y litorales evaporíticos que ha dado como resultado, entre otras secuencias, la depositación de las sedimentitas de la Formación Huitrín con sus Miembros Chorreado, Troncoso inferior, Troncoso superior, La Tosca y Salina. En tiempos terciarios, asume importancia el magmatismo andesítico del Grupo Molle, integrado por facies plutónicas de la Fm Colipilli y volcánicas de la Fm Cayanta (Llambías y Aragón, 2011).

En un perfil litoestratigráfico del área (Fig. 2) se puede observar, de base a techo, la Formación Agrio con sus dos miembros superiores: Agua de La Mula y Chorreado. Este último es considerado por algunos autores (Leanza, 2003) como nivel cuspidal de la Fm Agrio o sector basal de la Fm Huitrín por otros. Está integrado por facies carbonáticas con pelitas y areniscas subordinadas. Estas últimas pasan mediante un contacto erosivo a los depósitos silicoclásticos del Miembro Troncoso inferior. Dicho miembro, está representado por areniscas gruesas a finas, cuarzo-líticas. Hacia el tope del mismo, se disponen niveles limo-arcillosos, gris verdosos, macizos a finamente laminados y de geometría tabular. Por encima, se desarrolla el Miembro Troncoso superior, que se inicia con un nivel estromatolítico de gran extensión areal, el cual presenta una laminación planar a crenulada. Por encima se encuentran los bancos de yeso laminado. En concordancia se pasa al Miembro La Tosca, compuesto por calizas dolomíticas fosilíferas. La sección sedimentaria culmina con las arcillitas yesíferas varicolores del Miembro Salina.

El estilo estructural de la región investigada es el resultado de una tectónica compresiva que afectó esencialmente a la secuencia eocretácica; con la generación de plegamientos y fallas inversas de rumbo predominante NNE-SSO.

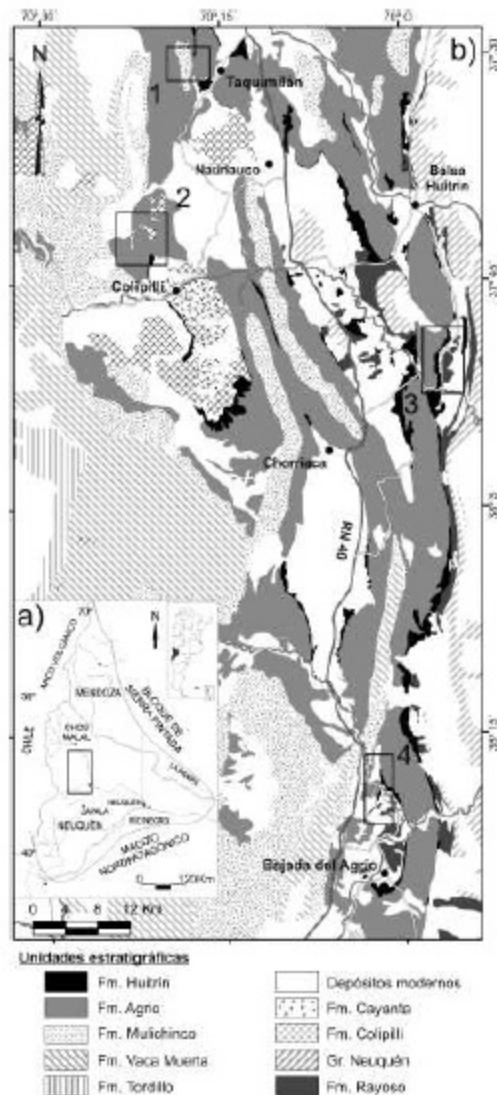


Fig. 1. a. Ubicación de la Cuenca Neuquina y la zona de estudio. b. Mapa geológico regional y localización de las áreas de estudio: 1-Taquimilán. 2-Colipilli. 3-Grupo Continental. 4-Bajada del Agrio.

## LAS MINERALIZACIONES DE Sr-Ba 1-Taquimilán

Se sitúa al SO de la localidad de Chos Malal (Fig.1). El depósito está espacial e íntimamente asociado a la Formación Huitrín, emplazándose en los horizontes carbonáticos y evaporíticos del Miembro Troncoso superior. Se presenta como mantos o lentes celestínicos que reemplazan a las facies de boundstones, hasta incluso de grainstones. Un análisis mesoscópico permite observar la alternancia rítmica de bandas claras y oscuras de espesor milimétrico variable y con algunas vetillas sub-verticales aisladas rellenas de celestina. Las bandas claras están compuestas por celestina, presentan oquedades similares a geodas mientras que las oscuras están formadas por material carbonático. Se observan discontinuidades marcadas por la formación de estilolitas, de contactos cóncavos y convexos (Fig. 3a) cuya amplitud promedio es de 0,2 cm. Se puede distinguir la presencia de cristales de pirita lixiviados, dispuestos al azar, en dichas estilolitas.

Al microscopio las láminas claras están compuestas por cristales euhedrales de celestina plumosa, con un tamaño promedio de 2 mm. También se distinguieron microfracturas rellenas de celestina de 100 micrones de longitud en promedio, afectando a las bandas carbonáticas. El pasaje de lámina clara a oscura es mayormente gradacional. Las oscuras se presentan como un fino mosaico micrítico, en partes con coloraciones rojizas por la tinción de materiales limoníticos.

### 2-Colipilli

En esta zona, las principales mineralizaciones mantiformes están representadas por las minas San Eduardo y La Bienvenida. En muestra de mano, se observa una alternancia rítmica de bandas blanquecinas y otras castaño oscuras, cuyos espesores son milimétricos. Dicho bandeo se ve interrumpido por pequeños desplazamientos de 0,3 cm de longitud (Fig. 3b). Este tipo de microestructuras fueron observadas por Nielsen *et al.* (1998, en Vanderginste *et al.*, 2005) en dolomías del sur del macizo de Brabant-Gales, Bélgica. Según estos autores estos rasgos son típicos de las texturas cebradas. Asimismo; Vanderginste *et al.* (2005) reconocen texturas similares en las rocas carbonáticas de la faja plegada y corrida de las Montañas Rocallosas, Canadá y las

vinculan a esfuerzos tectónicos actuantes en la región.

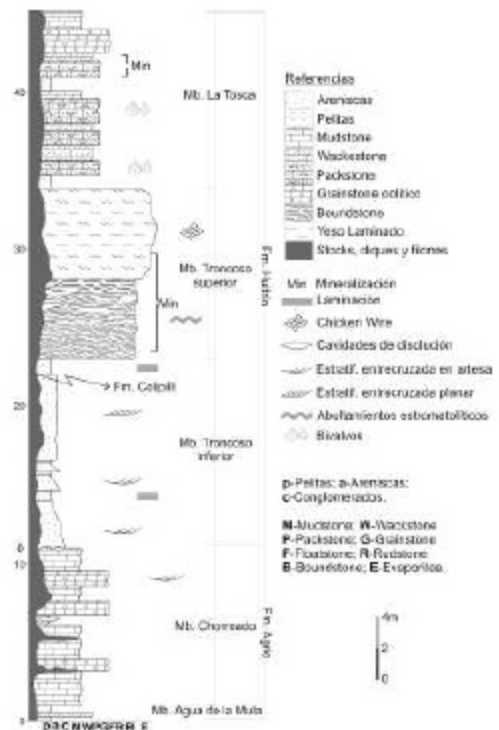


Fig. 2. Perfil litoestratigráfico integrado de las áreas de estudio, abarcando las Formaciones Agrio, Huitrín y Colipilli.

Las bandas claras están compuestas por baritina recristalizada, cuyos espesores son de 0,3 cm en promedio. Al microscopio, la baritina se presenta con hábito fibroso-prismático-radial, con 2 mm de longitud. En estas bandas, se presentan estilolitas con piritas dispersas de tamaño milimétrico. Los niveles castaño oscuros, de composición carbonática, se encuentran en algunos casos delimitados por estilolitas, en las cuales también se observan piritas lixiviadas. Al microscopio los cristales de carbonatos son de tamaños del orden de micrones; en algunos sectores se ven como dichas bandas son cortadas por vetillas de celestina.

A las texturas cebradas carbonático-baríticas, reconocidas en las minas La Bienvenida y San Eduardo, se sobreimpone una mineralización sulfurosa compuesta principalmente por granos de galena bien desarrollados y acompañados, en forma

subordinada, por individuos de esfalerita, calcopirita y pirita (mina San Eduardo). Los granos de galena muestran combinaciones de cubo con octaedro y sus tamaños en promedio son de 2,5 mm, estando sus bordes alterados a anglesita. Cabe destacar que la mineralización de la mina La Bienvenida está alojada en areniscas finas del Miembro Troncoso inferior de la Formación Huitrín.

### 3-Grupo Continental

La mineralización identificada se aloja en el Mb. Troncoso superior y se presenta básicamente en tres formas: (I) mantos o lentes, reemplazando a las facies carbonáticas y yesíferas; (II) relleno de cavidades kársticas, drusas o geodas y/o fracturas, con generación de estalactitas en un ambiente kárstico; y (III) cementando brechas, ya sean de colapso kárstico o tectónicas.

Es de destacar que esta mineralización presenta un fuerte control litoestratigráfico constituido por las facies carbonáticas algales y evaporíticas, ambas con conspicuas estructuras laminadas. Dentro de estos bancos es común encontrar relictos de la roca original, que a su vez muestran internamente incipientes rasgos de reemplazo. La mena presenta una mineralogía simple de celestobaritina y/o baritocelstina (Fig. 3c).

Al microscopio se observan láminas castaño oscuras y claras alternantes. Las primeras están constituidas por cristales romboédricos de calcita y probablemente dolomita, intercrecidos con individuos anhedrales de celestina de 30 a 40  $\mu\text{m}$  de diámetro, constituyendo un mosaico idiotópico. Se reconocen además estructuras estilolíticas que afectan a las bandas carbonáticas. Las claras se encuentran constituidas por cristales de celestina fibrosa radial de unos 600  $\mu\text{m}$  de longitud, de contactos ondulados, con crecimiento bipolar perpendicular a las bandas ricas en carbonatos.

### 4-Bajada del Agrio

La mineralización se aloja tanto en el Mb. Troncoso superior como en el Mb. La Tosca. Se presenta como mantos o lentes reemplazando a las facies estromatolíticas (Fig. 3d) y yesíferas, siendo estratoligada y principalmente concordante con la estratificación. En menor medida se encuentra como relleno de cavidades kársticas y/o fracturas, que presentan bandeamientos de

baritocelstina. Los procesos de disolución en este sector son de menor intensidad a los sucedidos en el Grupo Continental.

La mineralización acusa un control litoestratigráfico y estructural representado por un fallamiento de rumbo NNE-SSO. En esta zona el grado de perturbación tectónica es mucho mayor. Así, los niveles de yeso del Mb. Troncoso superior han favorecido la deformación plástica de los estratos más incompetentes, en especial de las calizas del Mb. La Tosca, que presentan fuertes replegamientos. Al microscopio se identifica una marcada alternancia de láminas de coloración castaño oscuro y blanquecinas, de espesores milimétricos. Las primeras están constituidas por un mosaico micrítico a microesparítico de calcita y/o dolomita, mientras que las bandas claras están integradas por cristales de celestina de hábito fibroso radial, de hasta 2 mm de longitud, parcial o totalmente reemplazados por una calcitización posterior. Es común observar oquedades entre las bandas sucesivas, que en ocasiones se encuentran rellenas por un mosaico esparítico de calcita, postmineralización sulfática.

### DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El origen de las texturas cebradas es considerado por algunos autores todavía incierto. Sobre la base de las observaciones realizadas por Fontboté y Amstutz (1983) en los depósitos estratoligados del Triásico alpino, estos autores sostienen que las texturas cebradas o ritmitas se generan por procesos de recristalización diagenética (DCR). Por otra parte, otros autores citados en Vanderginste *et al.* (2005) proponen que su génesis es a partir de reemplazo metasomático a expensas de una roca carbonática, sosteniendo un origen epigenético.

Las características geológicas de los depósitos estudiados permiten reconocer que la generación de las texturas cebradas responde a procesos de relleno en los cuales el marcado bandeamiento se debió a la circulación de fluidos que depositaron el sulfato en planos de debilidad entre láminas carbonáticas algales. A su vez, son reconocibles procesos de reemplazo, donde al microscopio se ven pequeños cristales de sulfatos sustituyendo al material carbonático

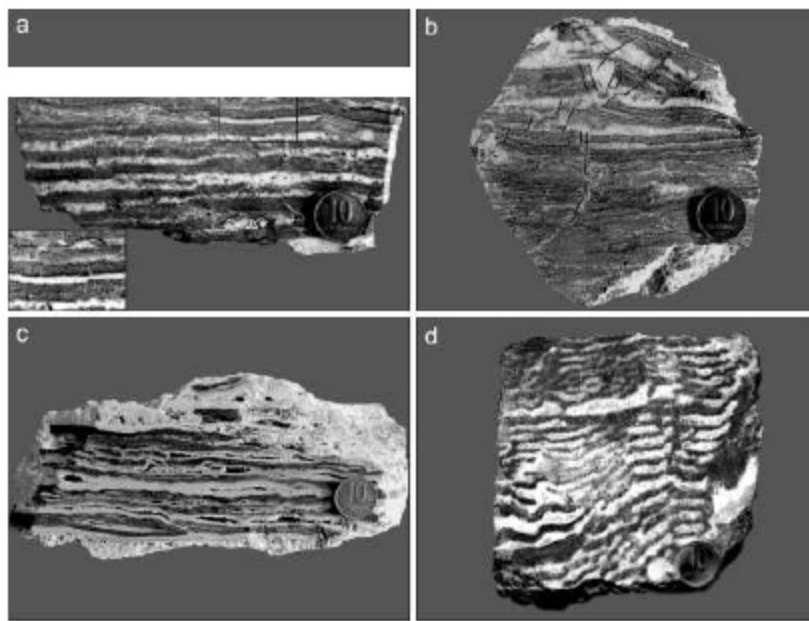


Fig. 3 a- Textura cebrada con la presencia de estilolita (detalle) con óxidos-hidróxidos de Fe, mina Taquimilán. b- Textura bandeada con pequeños desplazamientos, área Colipilli. c- Textura cebrada de la mina Cecilia, Grupo Continental. d- Textura cebrada de la mina Santa Bárbara, Bajada del Agrio.

Estos procesos están acompañados por el desarrollo de estilolitas que son diagnósticas de las condiciones termobarométricas en las cuales se encontraban las rocas. Así, en el área de Colipilli se observan estilolitas que consideramos coetáneas con la textura cebrada. Merino *et al.* (2006) sostienen que a medida que avanza el fluido se puede producir tanto reemplazo como relleno de la roca carbonática, con cristales de sulfatos de mayor desarrollo según la evolución del proceso. Al generarse un aumento de presión, se provoca disolución en los bordes y la formación de estilolitas que dejan en contacto a las bandas carbonáticas con las de sulfato.

Por otra parte, Lugli *et al.* (2000, en Vanderginste *et al.*, 2005) mencionan la presencia de estilolitas previas a la formación de la textura cebrada, las cuales han facilitado la circulación del fluido mineralizante. Tanto en Taquimilán como en el Grupo Continental se observan estas estructuras cuyo origen se explica en condiciones de soterramiento.

Por otra parte, consideramos que el ingreso y circulación de salmueras cuencales en la pila sedimentaria pudo haber producido el lavado de cantidades variables de Sr-Ba (esencialmente de rocas carbonáticas y silicoclásticas) y de sulfato (de secuencias evaporíticas). De acuerdo a de Barrio *et al.*

(2009) y Escobar *et al.* (2013) el nivel propicio para la migración de los fluidos mineralizantes estaría representado por un horizonte poroso y permeable, limitado en su base por una capa impermeable que constituye un control litoestratigráfico y biológico. La capa permeable está representada por los calcáreos laminados de la base de los niveles yesíferos, mientras que el nivel impermeable consistió en el horizonte político cuspidal del Mb. Troncoso inferior, que limitó y controló el desarrollo de la mineralización. Esta situación favoreció la circulación de manera lateral hasta que las condiciones físico-químicas fueron las adecuadas para producir el reemplazo selectivo de los niveles laminados y el relleno de la porosidad primaria o diagenética por celestina y/o baritina. Además, en Bajada del Agrio el fallamiento de rumbo NNE-SSO pudo haber funcionado como canal de alimentación, permitiendo la circulación de los fluidos mineralizantes.

Por otra parte, consideramos que la actividad magmática terciaria aportó en los sectores de Colipilli y Taquimilán fluidos hidrotermales al sistema, de origen magmático y/o meteórico.

En síntesis, las mineralizaciones de Sr-Ba estudiadas presentan un fuerte control litoestratigráfico asociado a las facies

carbonático-evaporíticas del Mb. Troncoso superior de la Fm Huitrín y, por otro lado, un marcado control estructural. Se interpreta que los procesos que generaron las texturas cebradas consistieron en relleno y reemplazo, de variable preponderancia según los sectores considerados.

## BIBLIOGRAFIA

Brodtkorb, M.K., Ramos, V.A. y Ametrano, S., 1975. Los yacimientos estratoligados de celestina-baritina de la Formación Huitrín y su origen evaporítico. Provincia del Neuquén. Argentina. II Congreso Iberoamericano Geología Económica, 2:143-168. Bs As.

Brodtkorb, M.K.; Ramos, V.A.; Barbieri, M. y Ametrano, S., 1982. The Evaporitic Celestite-Barite Deposits of Neuquén, Argentina. *Mineralium Deposita* (17): 423-436.

de Barrio, R.E., 1999. Los depósitos de celestina (baritina) relacionados a la Formación Huitrín, provincia del Neuquén. En Recursos minerales de la República Argentina (Edit. Zappettini, E.). Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR, Anales 35, II: 1095-1102.

de Barrio, R.E., Del Blanco, M., García, M. Martín-Izard, A. 2009. Estructuras estromatolíticas y su relación con las mineralizaciones de Ba-Sr emplazadas en la Formación Huitrín, Cuenca Neuquina. 9° Cong. de Geo. Económica: 45-51.

Escobar, R.I.; de Barrio, R.E.; Etcheverry, R.O. y Recio Hernández, C. 2013. Características litoestratigráficas y geoquímicas de los depósitos celesto-baríticos del Grupo Continental, Provincia del Neuquén. Publicación especial de la Asociación Argentina de Geólogos Economistas. En prensa.

Fontboté, L., 1990. A Review and Classification According to Their Geotectonic Setting. *Stratabound Ore Deposits in the Andes*. 79-110.

Fontboté, L., 1993. Self-organization fabrics in carbonate-hosted ore deposits: the example of diagenetic crystallization rhythmites (DCRs). En: Fenoll Hach-Alí, P., Torres-Ruiz, F., Gervilla, F. (eds.): *Current Research in Geology Applied to Ore Deposits*. Universidad de Granada, pp. 11-14.

Fontboté, L. y Amstutz, G.C., 1980. New observation on diagenetic crystallization rhythmites in the carbonate facies of the Triassic of the Alpujarrides (Betic Cordillera, Southern Spain). Comparison with other diagenetic rhythmites. *Rev. Inst. Invest. Geol. Barcelona* (34): 290-310.

Fontboté, L. y Amstutz, G.C. 1983. Facies and sequence analysis of diagenetic crystallization rhythmites in strata-bound Pb±Zn±(Ba±F) deposits in the Triassic of Central and Southern Europe. In: *Mineral Deposits of the Alps and of the Alpine Epoch in Europe* (Ed. by H.G. Schneider), pp. 347-358, Springer, Heidelberg.

González-Sánchez, F., Camprubí, A., González-Partida, E., Puente-Solís, R., Canet, C., Centeno-García, E. y Atudorei, V., 2009. Regional stratigraphy and distribution of epigenetic stratabound celestine, fluorite, barite and Pb-Zn deposits in the MVT province of northeastern Mexico. *Mineralium Deposita*, 44: 343-361.

Leanza, H., 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.

Llambías, E.J. y Aragón, E., 2011. Volcanismo Paleógeno. *Relatorio XVIII Congreso Geológico Argentino*, Neuquén: 265-274.

Martín, J; Ortega-Huertas, M. y Torres Ruiz, J., 1984. Genesis and evolution of Strontium deposits of the Granada Basin (Southeastern Spain): Evidence of diagenetic replacement of a stromatolite belt. *Sed. Geology* (39): 281-298.

Merino, E., Canals, A. y Fletcher, R.C. 2006. Genesis of self-organized zebra textures in burial dolomites: displacive veins, induced stress, and dolomitization. *Geologica acta*. Vol. 4 (3): 383-393.

Ramos, V.A. y Brodtkorb, M.K., 1990. The barite and celestite of the Neuquén Retroarc Basin, Central Argentina. *Stratabound Ore Deposits in the Andes*: 599-613.

Torres Ruiz, J., 2008. Depósitos de celestina de la depresión de Granada (Yacimientos Montevive y Escúzar). Master en Geología y Gestión Ambiental de Recursos Minerales. Universidad Internacional de Andalucía. Inédito.

Tritlla, J.; Levresse, G.; Corona-Esquivel, R.; Banks, D.; Lamadrid, H. y Bourdet, J., 2006. Depósitos de Pb-Zn-Cu-Ba-F-Sr epigenéticos estratoligados en series sedimentarias en relación con salmueras de cuenca: depósitos de tipo "Mississippi Valley" (MVT) y similares en México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, Volumen del Centenario, LVIII-1: 103-139.

Vanderginste, V., Swennen, R., Gleeson, S.A., Ellam, R.M., Osadetz, K., Roure, F., 2005. Zebra dolomitization as a result of focused fluid flow in the Rocky Mountains Fold and Thrust Belt, Canada. *Sedimentology*, 52, 1067-1095.

*Agradecimientos:* Esta investigación fue realizada con subsidios del CONICET (PIP-0285) y de la UNLP (11N-540 y 892). Se agradece al Dr. R. Alonso por la lectura crítica del manuscrito.