

MINERALIZACIONES DE MANGANESO DEL CRETACICO INFERIOR EN LA CORDILLERA DE LA COSTA, CHILE NORTE-CENTRAL

S. MORALES ⁽¹⁾, F.J. CARRILLO ^(1,2) Y D. MORATA ⁽²⁾

⁽¹⁾ Departamento de Mineralogía-Petrología. Facultad de Ciencias. Universidad de Granada. Avda. Fuentenueva s/n. 18002 Granada, España (smorales@ugr.es ; fjcarril@ugr.es)

⁽²⁾ Departamento de Geología. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile. Plaza Ercilla 803, Santiago, Chile (dmorata@cec.uchile.cl)

INTRODUCCION

Los depósitos de manganeso se pueden formar en una variedad de ambientes, tanto supergénicos como hidrotermales, los cuales a su vez se pueden dividir entre terrestres y marinos, con diferentes subtipos entre ellos (Nicholson 1992). Debido a la fuerte capacidad de absorción y adsorción de especies catiónicas por parte de diferentes fases minerales portadoras de manganeso, se han utilizado diversos rasgos mineralógicos y geoquímicos (elementos mayores, trazas y tierras raras) de las menas de manganeso para discriminar entre diferentes ambientes (e.g. Nicholson 1992; Ostwald 1992; Öztürk y Frakes 1995; Jiménez-Millán y Velilla 1997; Fan et al 1999; Mücke et al 1999; Yeh et al 1999; Marescotti y Frezzotti 2000; Dzigbodi-Adjimah 2004).

En este trabajo se aborda el estudio de mineralizaciones de manganeso intercaladas en secuencias volcano-sedimentarias del Cretácico Inferior de la Cordillera de la Costa (Chile Norte-Central). A partir del uso combinado de la mineralogía, geoquímica de muestra total e inclusiones fluidas, se pretende establecer el origen de estas mineralizaciones.

CONTEXTO GEOLOGICO Y MINERALIZACIONES

Los depósitos de manganeso aquí estudiados se ubican en la región de La Serena (29°45'-30° Lat.S.) y aparecen intercalados en formaciones de edad Cretácico Inferior de la Cordillera de la Costa (Chile Norte-Central). Estas intercalaciones aparecen en dos niveles bien definidos: a techo de la *Formación Arqueros* y en la mitad superior de la *Formación Quebrada Marquesa* (Aguirre y Mehech 1964). La *Formación Arqueros* (Aguirre y Egert 1965, 1970) es una secuencia de cerca de 1000 m de espesor, constituida por andesitas porfiríticas (datadas en 114.1 ± 0.5 Ma, Morata et al in prep) intercaladas con carbonatos marinos someros. En esta formación se observan rasgos que indican una evolución desde un ambiente litoral hasta un ambiente de tipo *lagoon*, finalizando en un ambiente continental durante el depósito de la *Formación Quebrada Marquesa* (Aguirre y Egert 1965, 1970). La *Formación Quebrada Marquesa* tiene un espesor de hasta 1500 m de una secuencia también vulcanosedimentaria, constituida mayoritariamente rocas sedimentarias continentales y andesitas, que contienen capas de manganeso a la base de la parte superior.

Para esta formación, Aguirre y Egert (1965, 1970) asignan una edad Cretácico Inferior. Sobre impuesto a las paragénesis ígneas, se observan asociaciones metamórficas de muy bajo grado correspondientes a la facies prehnita-pumpellyita (Morata et al, 2003).

Los niveles ricos en manganeso aparecen, al menos, en un horizonte dentro de la *Formación Arqueros* y en dos dentro de la *Formación Quebrada Marquesa* (Aguirre y Mehech 1964; Boric, 1985; Oyarzun et al, 1998). A partir de las relaciones estratigráficas, se puede asumir que la edad de estas mineralizaciones debería ser de unos 110-105 Ma.

Las mineralizaciones aquí estudiadas son parte de un conjunto de depósitos de manganeso, constituidos mayoritariamente por braunita, pirolusita, haussmanita, psilomelana (Aguirre and Mehech, 1964). Estos depósitos están intercalados en las rocas estratiformes del Cretácico Inferior, que constituyen lo que fue denominado por Biese (1956) la «cuenca del manganeso» de Chile, que se extiende a través de la III y fundamentalmente en la IV Región de Chile. Según el Anuario de la Minería de Chile (2004), las mineralizaciones de manganeso de Chile, debido a su alta producción, sumaron 25.801 toneladas de minerales de manganeso, los cuales se explotaron casi exclusivamente en la IV Región.

RESULTADOS

Mineralogía

El estudio de las fases minerales ha puesto de manifiesto que braunita, piemontita, pirolusita y hematites son las fases metálicas dominantes (Tabla 1 y Figura 1), siendo barita, albita y ocasionalmente mica las fases constituyentes de la ganga. La braunita, que suele ser la fase mayoritaria, varía entre los términos extremos braunita I - $Mn^{2+}Mn^{3+}_6SiO_{12}$ - y nelterita - $CaMn_6^{3+}SiO_{12}$ - (Carrillo et al 2003).

Geoquímica de muestra total

La geoquímica de muestra total pone de manifiesto, como rasgos más significativos, que Fe y Mn son los metales predominantes, siendo $Mn > Fe$. SiO_2 varía entre 12,22 y 24,52% y Al_2O_3 entre 1,32 y 7,03. El resto de elementos presenta valores bajos (\bar{X}_{MgO} : 0,75%, \bar{X}_{Na_2O} : 0,68%, K_2O : 0,05%, TiO_2 : 0,19%, P_2O_5 : 0,04%). La concentración de los elementos traza es baja en general, con la ex-

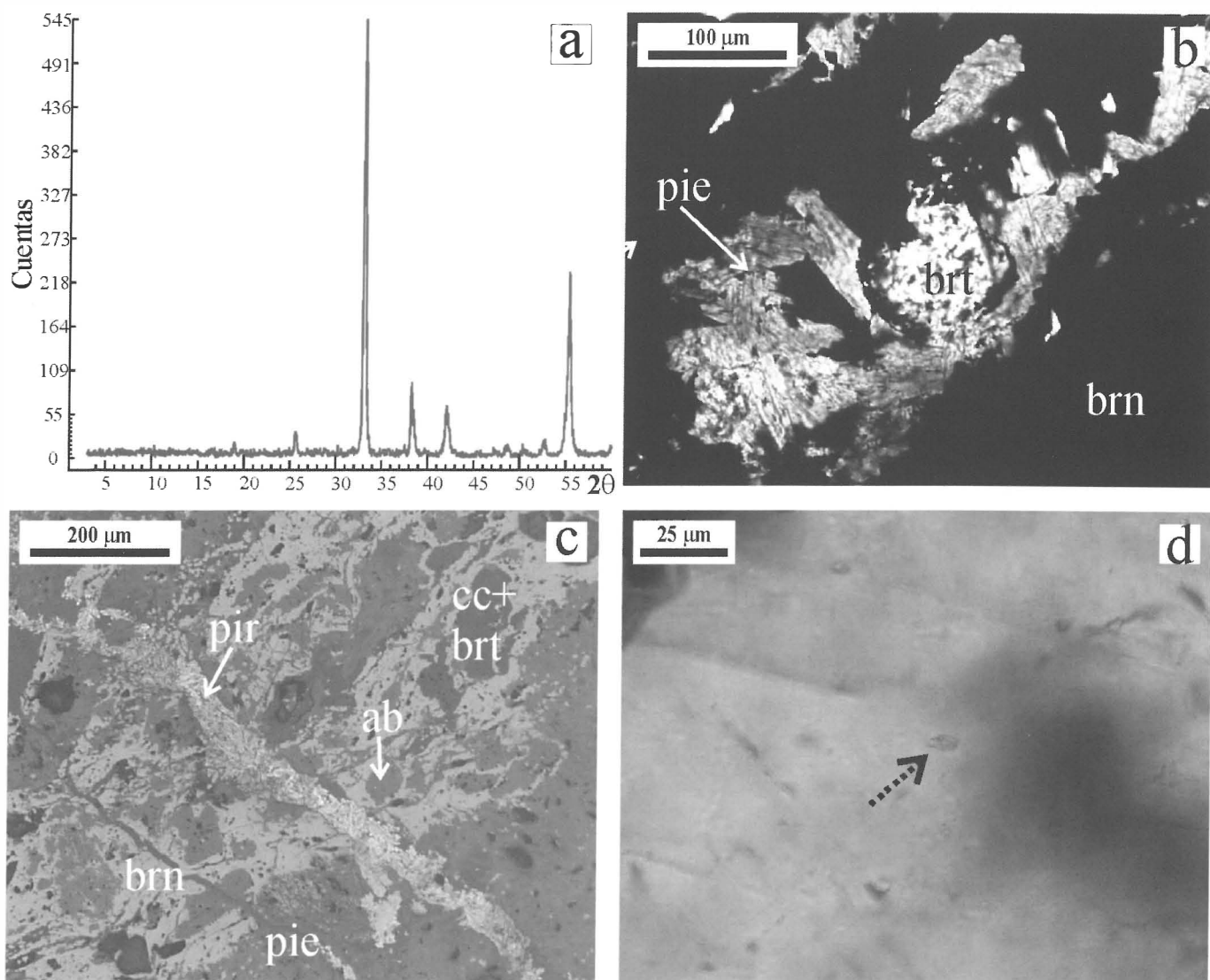


Figura 1: (A) Difractograma de rayos X en el que se observa la mineralogía característica. Obsérvese que, debido al fuerte poder de difracción de la braunita, otras fases de manganeso presentes (por ejemplo, piemontita) quedan enmascaradas a pesar de su abundancia en lámina delgada. (B) Imagen mediante microscopía de luz transmitida en la que se observa un aspecto característico de las relaciones texturales de estas mineralizaciones (brn: braunita, brt: barita, pie: piemontita) (C) Imagen mediante microscopía de luz reflejada en la que se observa braunita masiva junto con piemontita atravesada por una vena de pirolusita tardía con ganga de albita, barita y calcita (ab: albita, brn: braunita, brt: barita, cc: calcita, pie: piemontita, pir: pirolusita). (D) Imagen con microscopía de luz transmitida en la que se observa las inclusiones fluidas bifásicas contenidas en la calcita.

Braunita	% wt.	apfu	Piemontita	% wt.	apfu	Roca total	% wt.	ppm	ppm	ppm
SiO ₂	10,82	Si 1,10	SiO ₂	34,96	Si 2,97	SiO ₂	18,68	As 29	Cu 1326	La 9
Al ₂ O ₃	1,24	Al 0,15	Al ₂ O ₃	17,75	Al 1,78	Al ₂ O ₃	4,55	Cd 0	Zn 105	Ce 8
TiO ₂	0,06	Ti 0,00	TiO ₂	0,04	Ti 0,00	Fe ₂ O _{3t}	4,63	Sb 7	Ga 18	Pr 2
Fe ₂ O ₃	4,62	Fe 0,35	Fe ₂ O ₃	3,31	Fe 0,21	MnO	45,88	Li 8	Y 8	Nd 7
MgO	0,04	Mg 0,01	MgO	2,37	Mg 0,30	MgO	0,79	Rb 11	Nb 0	Sm 2
Mn ₂ O ₃	80,29	Mn 6,20	Mn ₂ O ₃	13,14	Mn 0,85	CaO	7,78	Cs 1	Ta 0	Eu 6
CaO	3,10	Ca 0,34	CaO	20,57	Ca 1,88	Na ₂ O	0,71	Be 1	Zr 20	Gd 1
		O 12,61	Na ₂ O	0,02	Na 0,00	K ₂ O	0,08	Sr 633	Hf 1	Tb 0
Total	100,18		O		12,40	TiO ₂	0,19	Ba 11306	Mo 4	Dy 1
			Total	92,16		P ₂ O ₅	0,06	Sc 5	Sn 0	Ho 0
								V 5	Tl 0	Er 1
								Cr 1	Pb 2	Tm 0
								Co 15	U 1	Yb 1
								Ni 12	Th 1	Lu 0

Tabla 1: Análisis representativos de fases minerales portadoras de manganeso: braunita -ajustado a 12 cationes-, piemontita -ajustado a 8 cationes- (microsonda electrónica) y de roca total (fluorescencia de rayos X, ICP-MS).

cepción de Ba (hasta 1,12%), Cu (hasta 1428 ppm) o Sr (hasta 644). La sumatoria de elementos de las tierras raras no supera 60 ppm (Tabla 1).

Inclusiones fluidas

El estudio se ha realizado sobre inclusiones fluidas contenidas en cristales de calcita de la asociación mineral portadora del manganeso. Las inclusiones estudiadas (Figura 1) son bifásicas (líquido y vapor) a temperatura ambiente y presentan rasgos típicos de un carácter primario (inclusiones aisladas, a veces en clusters sin orientaciones cristalográficas definidas, ocasionalmente paralelas a las caras de los cristales encajantes). El estudio microtermométrico pone de manifiesta la existencia de una única población de inclusiones, con características propias de un sistema H₂O- CaCl₂-NaCl (Carrillo-Rosúa et al. 2004), de salinidad moderada (10,8 y 20,0% eq. peso NaCl) y temperaturas de homogenización entre 105 y 142°C.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

De acuerdo con diferentes parámetros geoquímicos propuestos por diversos autores a partir del comportamiento de elementos significativos, como sería el caso de determinados metales -Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Pb, V, As,...- (e.g., Toth, 1980; Nicholson, 1992), la génesis de los depósitos estudiados podría estar relacionada, al menos en los estadios iniciales, con procesos hidrotermales. Hay otros parámetros, como podría ser la relación Si/Al propuesta por Crerar et al. (1982), que sugieren un aporte detrítico-hidrogénico a partir de los valores obtenidos. En efecto, estas discrepancias en la relación Si/Al puede estar en relación con la mayor o menor formación de piemontita durante los procesos de metamorfismo de muy bajo grado que sufrieron estas secuencias mesozoicas. Estas interpretaciones son congruente con los datos obtenidos a partir del estudio microtermométrico de inclusiones fluidas.

Por otro lado, y de acuerdo con las solubilidades relativas del hierro y del manganeso, y en función de la anoxia de la cuenca, los mayores depósitos de manganeso se deberían formar hacia los bordes de las mismas, en zonas marinas someras. Cabe destacar, que en el caso de la «cuenca del manganeso» de la IV Región de Chile los niveles con manganeso corresponden justamente a secuencias transgresivas (Maksaev, 2006).

En conclusión, y según se deduce de lo anterior, en la génesis de los depósitos de manganeso de La Serena han debido participar, en diferente medida, tanto procesos hidrotermales, como procesos tardíos (probablemente de carácter metamórfico de bajo grado) asociados al relleno/subsidencia/exhumación de la cuenca.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado con fondos procedentes del proyecto BTE-2003-06265 (MEC/FEDER), una Acción Especial del Plan Propio de la Universidad de Granada, el del Grupo de Investigación RNM 0131 de la Junta de Andalucía y el Proyecto Fondecyt 1031000 (Chile). F.J. Carrillo agradece al MEC su beca postdoctoral.

REFERENCIAS

- Aguirre, L. y Mehech, S. (1964). *Econ. Geol.*, 59, 428-442.
- Aguirre, L. y Egert, E. (1965). Instituto de Investigaciones Geológicas (Chile), escala 1:50.000, 92 pp.
- Aguirre, L. y Egert, E. (1970). Instituto de Investigaciones Geológicas (Chile), escala 1:50.000, 28 pp.
- Anuario de la minería de Chile (2004) http://www.sernageomin.cl/sitio_web/descarga/anuario_mineria_2004.pdf
- Biese, W. (1956). *XX Congreso Geológico Internacional*, 3, 337-416.
- Boric, R. (1985). *Rev. Geol. Chile*, 25-26, 57-75.
- Carrillo-Rosúa, F.J., Morales-Ruano, S. y Morata-Céspedes, D. (2003). En: «Mineral exploration and sustainable development». D.G. Eliopoulos et al., eds. Millpress, Rotterdam, 953-956.
- Carrillo-Rosúa, F.J., Morales-Ruano, S., Morata-Céspedes, D., Belmar, M. y Fenoll Hach-Alí P. (2004) *Macla*, 2, 89-90.
- Crerar, D., Namson, J., Chyi, MS., Williams, L., Feigenson, MD. (1982). *Econ. Geol.*, 77-3, 519-540.
- Dzibodi-Adjimah, K. (2004). *J. Afr. Earth Sc.*, 38, 293-315.
- Fan, D., Yang, P., Wang, R. (1999). *Ore Geol. Rev.*, 15, 15-29.
- Jiménez-Millán, J. y Velilla, N. (1997). *Min. Mag.*, 61, 898-902.
- Marescotti, P. y Frezzotti, ML. (2000). *Eur. J. Mineral.*, 12, 341-356.
- Maksaev, V. (2006). <http://www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/Dep%F3sitios%20autoctonos%20BIF.pdf>
- Morata, D. y Aguirre, L. (2003). *J. South Amer. Earth Sci.*, 16, 459-476.
- Morata, D., Aguirre, L., Belmar, M. y Morales, S. (2003). 10º Congreso Geológico Chileno, Concepción (Chile).
- Mücke, A., Dzibodi-Adjimah, K. y Annor, A. (1999). *Mineral. Deposita*, 34, 297-311.
- Nicholson, K. (1992). *Econ. Geol.*, 87, 1253-1264.
- Ostwald, J. (1992). *Mineral. Deposita* 27: 326-335.
- Oyarzun, R., Ortega, L., Sierra, J., Lunar, R. y Oyarzun, J. (1998) *Mineral. Deposita*, 33, 547-559.
- Öztürk, H. y Frakes, LA. (1995). *Ore Geol. Rev.*, 10, 117-132.
- Puebles, F. y Ruiz, C. (1990). *Comunicaciones*, 41, 25-36.
- Toth, JR. (1980). *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 91, 44-54.
- Yeh, H-W., Hein, JR., Ye, J., Fan, D. (1999). *Ore Geol. Rev.*, 15, 55-69.