



Clasificación de los yacimientos de manganeso y ejemplos de depósitos mexicanos e internacionales

Augusto Antonio Rodríguez-Díaz^{*a,b}, María Guadalupe Villaseñor-Cabral^c,
Carles Canet^d, Rosa María Prol-Ledesma^d, Antoni Camprubí^e

^aFacultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, 04510, México D.F.

^bServicios Industriales Peñoles S.A. de C.V., Leona Vicario No. 259 Pte. Barrio Coaxustenco, C.P. 52140, Metepec, Estado de México.

^cInstituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, 04510, México D.F.

^dInstituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, 04510, México D.F.

^eCentro de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Juriquilla, Crta. 57 km. 15.5, 76230 Santiago de Querétaro, Qro., México. Apartado Postal 1-742, 76001 Santiago de Querétaro, Qro.

Resumen

Existen diversas clasificaciones de los depósitos de manganeso basadas en criterios diferentes dependiendo de cada autor. Las clasificaciones generales en las que coinciden más autores se basan en 1) las características genéticas del depósito, o 2) en la estructura y la litología encajonante. Recientemente, la clasificación geoquímica de los yacimientos de manganeso se ha utilizado con éxito para determinar el origen de los depósitos de óxidos a partir de la composición en elementos mayores y traza. Las clasificaciones que se presentan en este trabajo pueden aportar criterios válidos para la exploración de manganeso.

Palabras clave: Depósitos de manganeso, yacimientos minerales, clasificación, geoquímica.

* Comunicación con el autor:
E-mail: geaard@hotmail.com (A.A. Rodríguez-Díaz)

1. Introducción

Los yacimientos minerales constituyen la parte integrante más importante de los medios productivos de la sociedad. Los ritmos del mercado en la extracción de minerales y su manufacturación, así como la necesidad de hallar recursos naturales de calidad concentrados en yacimientos, requieren cada vez una mayor ampliación y profundización de las investigaciones geológicas.

La industria siderúrgica, la principal consumidora de manganeso, mantiene un proceso de crecimiento y, a merced de esta tendencia, México muestra un incremento en la producción de acero, que implica una mayor demanda de mineral de hierro y manganeso nacional (Rodríguez-Díaz, 2004).

El presente trabajo recopila información de las características geológicas de los yacimientos de manganeso, con el objeto de ilustrar su origen, distribución e importancia, tanto a nivel mundial como nacional. Las clasificaciones que se presentan en este trabajo pretenden ayudar a responder a las preguntas que se hace el geólogo de exploración y de mina: ¿Qué sustancia mineral puedo encontrar en determinadas condiciones geológicas? y ¿en qué condiciones geológicas puede esperarse descubrirse un mineral determinado?

2. Generalidades del manganeso

Para poder comprender mejor la clasificación de los depósitos de manganeso hay que tener en consideración las características geológicas y geoquímicas del manganeso, en especial las siguientes:

I) El Mn se comporta análogamente al hierro, en su forma primaria está ligado a magmas básicos y de acidez media, y puede ser fraccionado y transportado mediante soluciones

acuosas (hidrotermales). Por intemperismo se logra la separación y posterior migración del elemento hasta su sedimentación química, ya que el Mn es fácilmente soluble en aguas que contengan CO₂ (Roy, 1992).

II) La precipitación de los óxidos e hidróxidos de Mn tiene lugar en forma escalonada, de modo que primero precipitan fases precursoras transitorias que gradualmente dan lugar a especies más estables (Klinkhammer y Bender, 1980; Roy, 1981; Grill, 1982; Dasgupta *et al.*, 1989).

III) El comportamiento de las soluciones acuosas ricas en Mn, presentes en diversos ambientes geológicos fósiles y modernos, está condicionado por las condiciones redox. El Mn es transportado en solución bajo condiciones reductoras y ácidas (Borchert, 1980).

IV) Los depósitos recientes de Mn se localizan predominantemente en los fondos oceánicos (especialmente asociados a dorsales), más que en aguas someras. La contribución hidrotermal de manganeso en los depósitos submarinos puede ser sustancial.

V) Los procesos hidrotermales y sedimentarios que originan depósitos de Mn tienen lugar en diversos regímenes tectónicos y en diferentes ambientes geoquímicos. Los depósitos hidrotermales representan menor volumen que los de tipo sedimentario.

VI) La actividad biológica juega un papel muy importante en la precipitación del Mn (Ehrlich, 1963; Perfilov y Gabe, 1965; Marshall, 1979; Cowen *et al.*, 1986).

3. Clasificaciones generales de los depósitos de manganeso

Existen diversas clasificaciones de los depósitos de manganeso basadas en criterios diferentes dependiendo de cada autor. Este hecho complica el tratar de establecer una sola

división de los distintos yacimientos de manganeso. Esencialmente hay dos clasificaciones globales en que coinciden varios autores: 1) basada en las características genéticas de los depósitos (p.e., Rakhmanov, 1967; Borchert, 1980; Varentsov y Rakhmanov, 1980), y 2) basada en la estructura y la litología encajonante (p.e., Shatsky, 1954; González-Reyna, 1956; Mapes, 1956; Roy, 1969).

La clasificación de los yacimientos de manganeso con la aplicación de criterios geoquímicos se ha venido utilizando recientemente, y se basa en evidencias mineralógicas y geoquímicas para discriminar tipos genéticos de depósito. Estas evidencias

proviene de la caracterización de distintos yacimientos de todo el mundo, de la agrupación estadística de depósitos similares y de la experimentación.

A continuación se presentan, de manera resumida, los dos tipos de clasificaciones generales de los depósitos de manganeso.

3.1. Clasificación genética

I. Depósitos sedimentarios (acumulaciones de manganeso en cuencas sedimentarias): Los depósitos sedimentarios propiamente dichos se caracterizan por su carácter exógeno, por presentar cortezas de intemperismo, y por estar

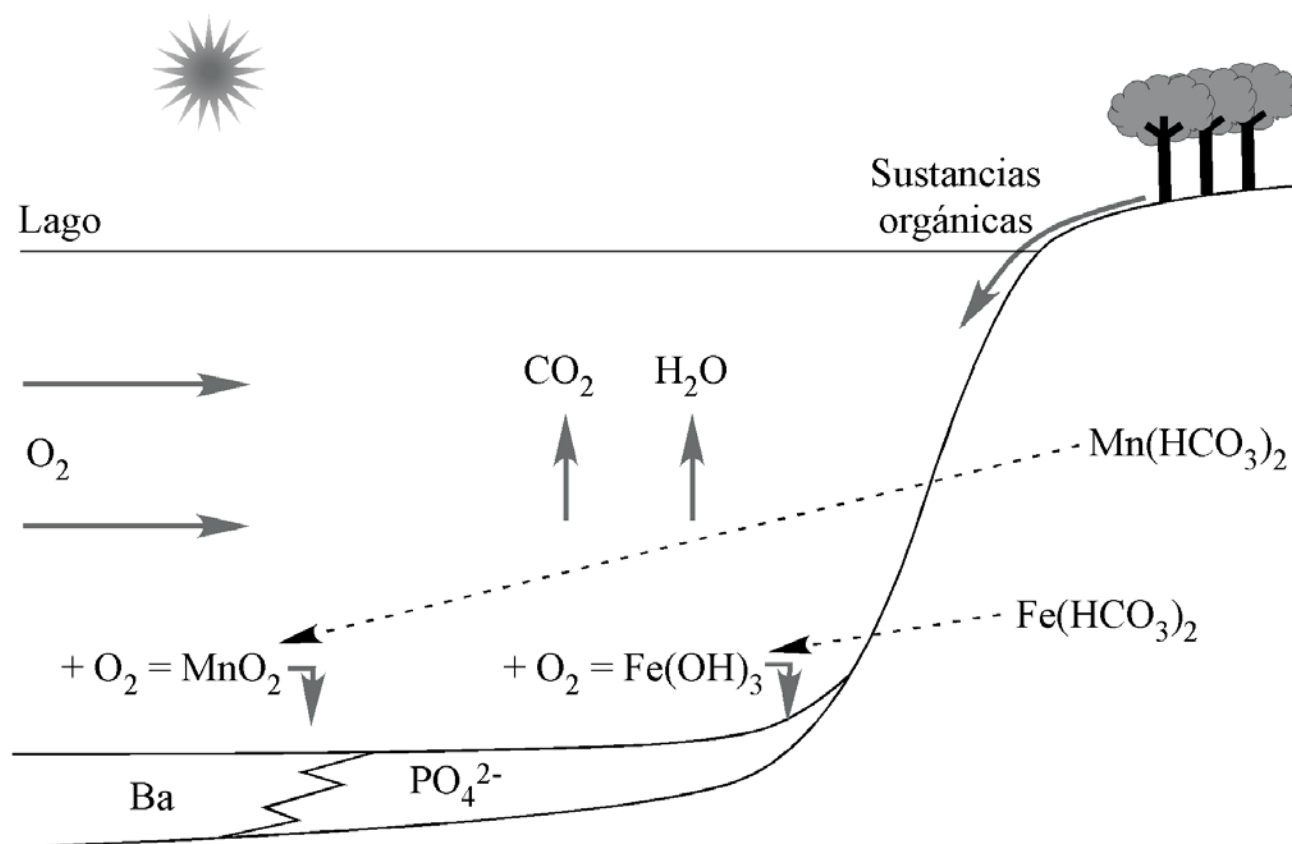


Figura 1. Modelo de un depósito sedimentario de Mn en un lago de agua dulce de ambiente de tundra (Borchert, 1980).

relacionados con procesos de erosión y diagénesis de rocas (Figura 1). En ocasiones, se incluyen en este grupo los depósitos volcanogénicos, formados a partir de exhalaciones de manantiales termales en el fondo marino (Park, 1956; Rakhmanov, 1967) (Figura 2). Como ejemplos de yacimientos sedimentarios podemos mencionar los depósitos de Mn de Nikopol en Ucrania, de Chiatura en Georgia, y de la Península Mangyshlak en Bulgaria, así como algunos depósitos menores en Hungría y Eslovaquia (Varentsov, 2002). Los depósitos sedimentarios contienen cerca del 30% de las reservas de manganeso fanerozoico y más del 70% en rocas cenozoicas a nivel mundial (Boström, 1988). La producción anual de 1995 a 1999 varió entre 3,200 y 1,986 mil toneladas métricas, con leyes de 30-32% de Mn (Varentsov, 2002).

II. Depósitos hidrotermales: Se caracterizan por su disposición en vetas, stockworks y brechas mineralizadas, y porque la mineralización se forma a partir de soluciones hidrotermales ricas en manganeso. Este tipo de yacimientos incluye los depósitos fósiles y actuales formados a partir de manantiales termales (o “*hot springs*”), tanto en los continentes como en el piso oceánico (volcanogénicos y sedimentario-exhalativos); en dorsales oceánicas, en arcos de islas y en relación a vulcanismo de intraplaca oceánica (Smirnov, 1982) (Figura 2). Los óxidos de manganeso pueden estar asociados a fluorita, calcita, barita y aragonito y, más raramente, a minerales de talio (Roy, 1992).

Como ejemplo fósil se puede mencionar el yacimiento “Mina Quinto”, en Cuba, un depósito de reemplazamiento hidrotermal en tobas depositadas en ambiente marino somero durante el Eoceno (Fernández del Olmo, 1980). Otro ejemplo lo proporciona la mina de “El Gavilán”, en la Península de Concepción, Baja California Sur, México, el cual consiste en una serie de vetas, stockworks y brechas

mineralizadas alojadas en rocas volcánicas del Mioceno-Plioceno del Grupo Comondú (Fig. 3). La mena consiste en una asociación de pirolusita, coronadita y romanechita, y está acompañada de una ganga de cuarzo, dolomita y barita (Rodríguez-Díaz, 2004; Camprubí *et al.*, 2005). Entre los ejemplos actuales destacan los depósitos de óxidos de Mn y oxihidróxidos de Fe formados en las surgencias hidrotermales costeras de Bahía Concepción, Baja California Sur, México (Canet *et al.*, 2005), y los depósitos de los manantiales termales de Hokkaido, Japón, compuestos de pirolusita y todorokita-birnessita (Miura y Hariya, 1997).

III. Depósitos metamorfozados: Son el resultado del metamorfismo, regional o de contacto, de secuencias sedimentarias con mineralizaciones de Mn ya existentes, por lo que no pueden considerarse como un producto del metamorfismo en sí (Roy, 1981). Es el caso del distrito minero de Postmasbury, en Sudáfrica, cuyos depósitos de Mn se encuentran en pizarras y cuarcitas, y están constituidos por pirolusita, psilomelana, polianita, braunita, barita, bixbyíta y jacobsita. Estos dos últimos minerales son producto del metamorfismo de la criptomelana, la pirolusita y la birnessita (Roy, 1981).

IV. Depósitos de Intemperismo: Se trata de acumulaciones residuales o formadas por infiltración (lateritas, productos de lixiviación intensa, etc.) (Shatsky, 1954). Se originan en climas tropicales, a partir de rocas con altos contenidos en Mn. Como ejemplo se pueden mencionar a los nódulos y películas de Fe-Mn, que se producen en suelos que presentan periodos alternantes de humedad y sequía (Aguilar *et al.*, 2004).

En el Simposio Internacional sobre Geología y Geoquímica del Manganeso que tuvo lugar en Australia, en 1980, se expuso y discutió una nueva clasificación de los depósitos de Mn basada en sus características genéticas y

litológicas (Borchert, 1980), y fue anexada a una edición especial de la UNESCO:

Tipo I: Enriquecimiento de manganeso de Gonditas en conexión con lateritas

Se forman en condiciones subtropicales, debido al intemperismo que afecta a esquistos de escudos precámbricos, descomponiendo los silicatos de origen endógeno. La formación de óxidos de manganeso en tales condiciones se debe, esencialmente, al levantamiento de escudos precámbricos, en combinación con periodos de lluvia y sequía a través de miles a millones de años (Borchert, 1970). Tal es el caso de las lateritas ricas en Mn de Minas Gerais, Brasil (Borchert, 1980).

Tipo II: Enriquecimiento de manganeso en lateritas por intemperismo de rocas ultrabásicas

Se trata de depósitos de escasas dimensiones, en comparación con el tipo de enriquecimiento de manganeso de Gonditas.

Tipo III: Nikopol (Chiatura)

En los alrededores del Mar Negro existen muchos depósitos de manganeso de grandes dimensiones encajonados en areniscas, calizas y lutitas bituminosas con piritita, p.e., Nikopol en Ucrania, Chiatura en Georgia, y Thrakia en Turquía (Shatsky, 1954; Varentsov y Rakhmanov, 1980). Durante el Oligoceno el Mar Negro tenía una mayor extensión y formaba cuencas restringidas con condiciones

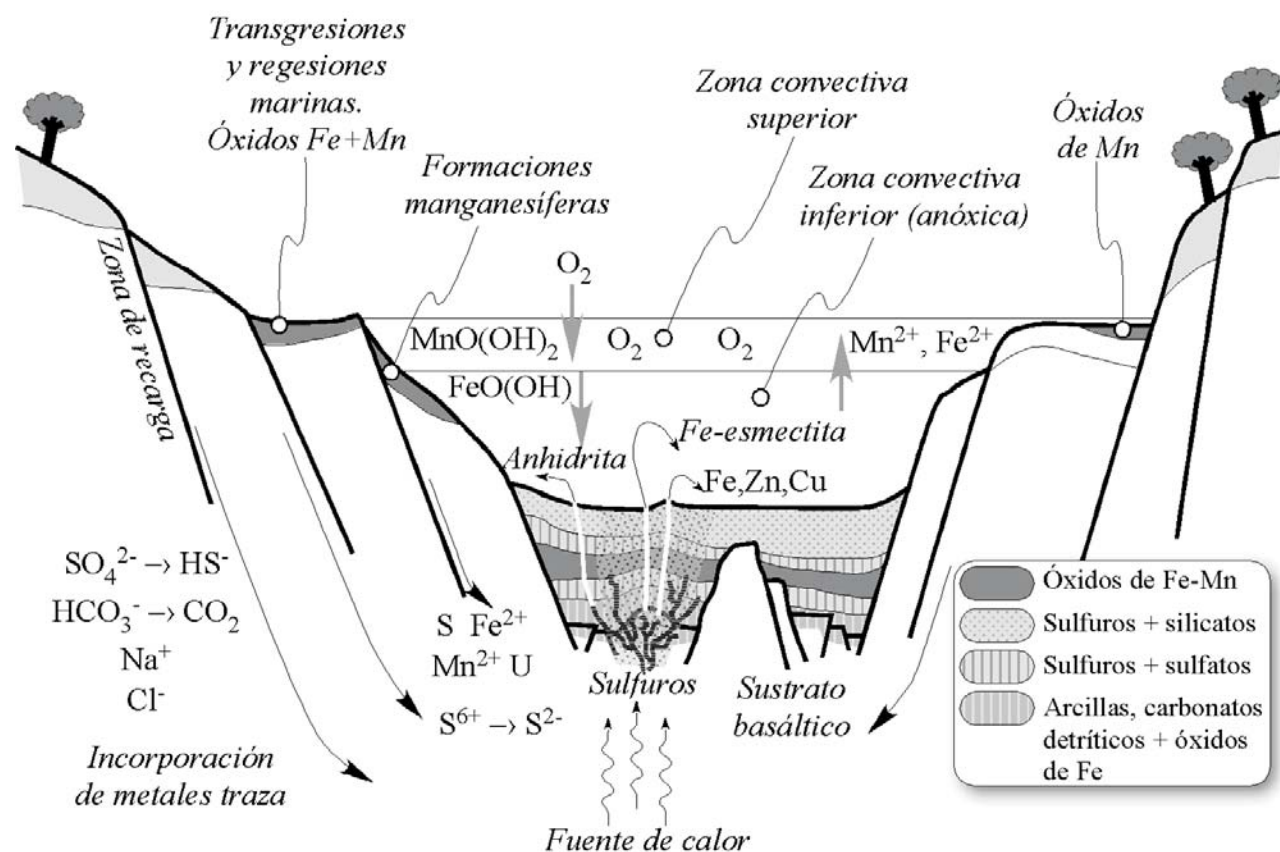


Figura 2. Modelo de un depósito volcánico de Mn (basado en Borchert, 1980).

reductoras, pH neutro y presencia de CO₂, en las que se favorecía la lixiviación de Mn de los sedimentos marinos. Los óxidos de Mn precipitaron en la zona superficial rica en O₂ (Borchert, 1980).

Tipo IV: Nódulos de manganeso

Los nódulos de manganeso son concreciones de óxidos de manganeso y otros metales, de dimensiones promedio de 0.5 a 3 cm de diámetro, los cuales proceden de ambientes oceánicos de hasta más de 6,000 m de profundidad (Morgan, 2000). Estos nódulos han sido estudiados desde la década de 1960, especialmente en la Zona de Clarion-Clipperton, en el noreste del Océano Pacífico. Los minerales que componen los nódulos son, entre otros: vanadita, birnessita, manganita, todorokita, nsutita, pirolusita, criptomelana, psilomelana, rancieita, ferrihidrita, goethita, akaganeita, lepidocrocita, ferroxihita, hematites, maghemita y magnetita, además de cuarzo, feldespatos, barita y arcillas (Borchert, 1980; Morgan, 2000). Estas concreciones son particularmente interesantes por su alto contenido en metales básicos, Ni y Co (Schweisfurth, 1971).

La geoquímica de oxidación-reducción del manganeso en los sistemas acuosos rige la acumulación de estos depósitos. Se han propuesto diversas teorías para explicar la formación de los distintos tipos de nódulos; las dos más aceptadas son las siguientes (Autoridad Internacional de los Fondos Marinos, 2005): 1) Teoría hidrogenética, los nódulos se forman mediante un proceso lento de precipitación de los componentes metálicos a partir de agua de mar, y 2) teoría diagenética, el Mn precipita en la interfase agua-sedimento.

Tipo V: Depósitos submarinos de manganeso en lutitas-pedernal-lavas espiliticas

Estos depósitos están estrechamente asociados a flujos de lavas espiliticas y tobas. Son similares a los depósitos volcanogénicos,

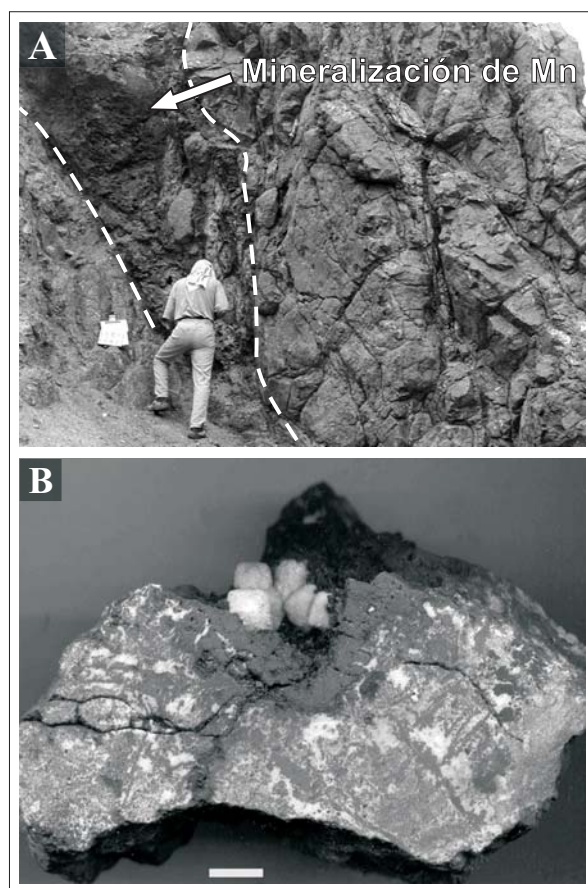


Figura 3. Diversos aspectos de la mineralización hidrotermal de Mn de El Gavilán, en la Península de Concepción, Baja California Sur. (A) Veta masiva de óxidos de Mn (delimitada con línea discontinua blanca), encajonada en lavas andesíticas del Grupo Comondú (Mioceno-Plioceno). (B) Muestra de mano procedente de una veta de óxidos de Mn, constituida por pirolusita (negro) y dolomita (blanco). La parte superior presenta una geoda tapizada por cristales idiomórficos de pirolusita y fantasmas de cristales de dolomita recubiertos por cuarzo.

puesto que se forman por la emisión submarina de fluidos mineralizados relacionados con magmas basálticos (tholeiíticos). Los fluidos mineralizantes pueden migrar grandes distancias a través del océano y precipitar el Mn en cuencas profundas, en asociación con pedernal, espilitas, lavas y tobas (Borchert,

1980). Un ejemplo de estos depósitos se encuentra en la provincia de Huelva, al suroeste de España (Strauss, 1970).

Tipo VI: Depósitos de intraplaca continental en conexión con magmatismo inicial basáltico

Incluye depósitos hidrotermales de diversa naturaleza en relleno de fracturas: 1) Vetas de siderita manganesífera, con más de 7% de Mn, (p.e., Siegerland, Alemania), 2) vetas casi superficiales, con minerales de mena derivados del MnO₂, especialmente manganita y hausmannita, y 3) vetas asociadas a andesitas, de óxidos de Mn con barita (Borchert, 1970).

Estos depósitos, además de Mn, pueden contener Cu, Zn y Pb. El proceso primario causante del enriquecimiento en Mn es la cristalización fraccionada de magmas basálticos (Borchert, 1970 y 1980).

Tipo VII: Enriquecimiento de Mn en conexión con magmatismo ácido

Incluye depósitos en pegmatitas, con fosfatos de Fe-Mn como la litiofilita LiMnPO₄ y la trifilita LiFePO₄, los cuales son producto de una cristalización tardía del fundido pegmatítico (Borchert, 1970). Además, incluye algunos depósitos magmáticos de mayor profundidad, en los que se deposita wolframita (Fe,Mn)WO₄ (Gundlach y Thormann, 1960).

Tipo VIII: Reemplazamiento metasomático

Incluye numerosos depósitos de poco tonelaje de Fe-Mn, por ejemplo los del Macizo de Renania, en Alemania. Se forman a partir de soluciones hidrotermales mediante procesos de reemplazamiento metasomático de rocas carbonatadas (Borchert, 1970).

Tipo IX: Series transgresivas tipo Postmasburg (Sudáfrica)

En el distrito de Postmasburg, en un ambiente geológico de escudo, la sedimentación de secuencias transgresivas con potentes niveles de plataforma generó una zona enriquecida en Mn (Borchert, 1980).

Tipo X: Yacimientos en lagos y pantanos de la tundra

El intemperismo de rocas en ambientes de tundra, especialmente en el norte de Rusia, provoca la movilización del Mn y del Fe hacia lagos y pantanos, donde estos elementos se separan debido a la oxidación de materia orgánica, precipitando en forma de geles (Borchert, 1970). Los depósitos de geles pueden generar óxidos de Mn (Rakhmanov, 1967) (Figura 1).

3.2. Clasificación litológica de los yacimientos de manganeso

Esta clasificación se basa en las características generales de la mineralización y de la roca encajonante (Routhier, 1963; Fernández del Olmo, 1980). Incluye las siguientes categorías:

I. Depósitos de óxidos y carbonatos de Mn en la base de series transgresivas con sílice dominante. Por ejemplo, el Distrito Molango en Hidalgo (Alexandri *et al.*, 1985; Alexandri y Martínez, 1986; Okita, 1992).

II. Depósitos de óxidos de Mn asociados a cambios de facies verticales en series transgresivas. Por ejemplo, Imini, en Marruecos (Routhier, 1963).

III. Depósitos en formaciones carbonatadas. Por ejemplo, región de Dinamita en Durango, Buenavista en Guerrero, Guadalcázar en San Luis Potosí, y El Milagro en Coahuila (Rodríguez y Task, 1948).

IV. Depósitos en lutitas y en argilitas. Por ejemplo, región de La Colorada en Zacatecas (González-Reyna, 1956), y La Patrona en Guanajuato (Rodríguez y Task, 1948).

V. Tipo volcanosedimentario. Por ejemplo, Nsuta en Ghana (Mücke *et al.*, 1999), y Autlán en Jalisco y Lucifer en Baja California Sur, México (Freiberg, 1983)

VI. Filones con ganga dolomítica en rocas volcánicas. Por ejemplo, Los Borregos, Casa

de Janos, Casas Grandes, Satevó, Los Órganos y 7 Tinajas en Chihuahua, y San Miguel el Alto y Mezcala en Jalisco (González-Reyna, 1956; Mapes, 1956).

VII. Filones de ganga barítica en rocas volcánicas. Por ejemplo, Talamantes en Chihuahua (Rodríguez y Task, 1948).

VIII. Filones intraplutónicos en granitos. Por ejemplo, Butte en Montana (E.U.A.), del Cretácico-Eoceno (Hewett *et al.*, 1956 ; Park, 1956).

IX. Cuerpos lenticulares pirometasomáticos en granitos. Por ejemplo, Hei Jun Lin y Tsa lo Chiatu'n en China, del Precámbrico (Borchert, 1980).

X. Cuerpos lenticulares periplutónicos en granitos. Por ejemplo, Grenfell en Nueva Gales del Sur (Australia), del Paleozoico (Hewett *et al.*, 1956; Routhier, 1963).

XI. Depósitos de silicatos manganésíferos en terrenos metamórficos (ricos en cuarzo). Ejemplos: Madhya Pradesh, Orissa y Bihar en India, Laiiote y Minas Gerais en Brasil, y Jacobeni Sarul Domei en Rumanía (Hewett *et al.*, 1956; Park, 1956).

XII. Depósitos de silicatos manganésíferos en terrenos metamórficos (pobres en cuarzo). Ejemplos: Kisenge Kamata en la R.D. del Congo, y Amada (Serra Do Navio) en Brasil (Routhier, 1963).

4. Clasificación de los depósitos de manganeso por sus características mineralógicas y geoquímicas

La clasificación de los yacimientos de manganeso aplicando criterios geoquímicos fue inicialmente propuesta por Nicholson (1992) para depósitos de óxidos. Esta clasificación se basa en datos mineralógicos y geoquímicos de numerosos depósitos de óxidos de Mn de todo el mundo, en la agrupación estadística de depósitos similares y en la experimentación.

Las categorías de depósitos de óxidos de Mn corresponden a los diferentes procesos genéticos de mineralización y, en segundo lugar, a los ambientes deposicionales. Los depósitos de óxidos de Mn formados por procesos supergénicos e hidrotermales se subdividen, por ambiente de formación, en continentales y marinos (Tabla 1). En esta clasificación no se incluyen los depósitos metamorfoseados, ya que existe una alteración de la firma mineralógica y/o geoquímica primaria, lo que no permite su empleo para discriminar yacimientos. Para el resto de yacimientos, la mineralogía y la geoquímica de los óxidos permiten diferenciar los diferentes depósitos de manganeso.

Tabla 1. Categorías establecidas en la clasificación geoquímica de los depósitos de óxidos de Mn de Nicholson (1992).

| Supergénico | | Hidrotermal | |
|-------------------|---------------|-------------|-------------------------|
| Continental | Marino | Continental | Marino |
| Pantanos y suelos | Cortezas | Hot spring | Sedimentario exhalativo |
| Agua dulce | Estratificado | Vetas | |
| Intemperismo | Nódulos | | |
| Dubhitas | Sedimentos | | |

5. Conclusión

El manganeso tiene mucha importancia en el desarrollo de la industria siderúrgica, en especial del acero y, por lo tanto, constituye un recurso potencial para el crecimiento de países en vías de industrialización. Además, por sus diversos usos, el manganeso presenta grandes posibilidades en el mercado internacional. El crecimiento sostenido de la industria nacional requiere de un abastecimiento oportuno de metales y minerales. Por tal motivo, es necesario dejar de contar con una sola fuente primaria de Mn en el país (p.e. Molango) y comenzar a explorar y reactivar prospectos. Para ello es conveniente clasificar acertadamente con base en evidencias geológicas y geoquímicas los depósitos, considerando los aspectos discutidos en el presente trabajo: Génesis, estructuras mineralizadas, roca encajonante y evidencias mineralógicas y geoquímicas que nos faciliten la discriminación y caracterización del depósito con el fin de determinar su potencial científico y/o económico.

Agradecimientos

Este trabajo se realizó en el marco del proyecto de PAPIIT IN-107003 y PAPIIT IN-122604. Agradecemos a Enrique González Torres sus comentarios y la detallada revisión del manuscrito.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, J., Fernández, J., Dorronsoro, C., Stoops, G., Dorronsoro, B. (2004): Hidromorfía en Suelos. <http://www.mineranet.com.ar/hidro.asp>
- Alexandri, R. Jr., Force, E.R., Cannon, W.F., Spiker, E.C., Zantop, H. (1985): The sedimentary manganese carbonate deposits of the Molango district, Mexico [abs]. *Geol. Soc. America, Program with Abstracts*, 17: 511p.
- Alexandri, R.R., Martínez, V.A. (1986): Geología del distrito manganesífero de Molango, Hidalgo. En: Salas, G.P. (Ed.), *Geología Económica de México*. Fondo de Cultura Económica. México, 401-408.
- Autoridad Internacional de los Fondos Marinos (2005): Folletos Técnicos de la Autoridad Internacional de los Fondos Marinos. <http://www.isa.org.jm/sp/seabedarea/default.asp>
- Borchert, H. (1970): On the ore deposition and geochemistry of manganese. *Mineralium Deposita*, 7: 300-314.
- Borchert, H. (1980): *Geology and Geochemistry of Manganese*. En Varentsov, I. M., y Grasselly G.Y. (Eds), 2° Simposio Internacional sobre Geología y Geoquímica del Manganeso, Australia. UNESCO. Hungría, 45-60.
- Boström, K., Ingri, J., Pontér, C. (1988): Origin of iron-manganese-rich suspended matter in the Landsort Dep., NW Baltic Sea. *Marine Chemistry*, 24: 93-98.
- Camprubí, A., Canet, C., Rodríguez-Díaz, A.A., Prol-Ledesma, R.M., Villanueva-Estrada, R.E, López-Sánchez, A. (2005): Geología, depósitos minerales e hidrotermalismo actual en Bahía Concepción, Baja California Sur: revisión e integración. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* (en revisión).
- Canet, C., Prol-Ledesma, R.M., Proenza, J., Rubio-Ramos, M.A., Forrest, J., Torres-Vera, M.A., Rodríguez-Díaz, A.A. (2005): Mn-Ba-Hg Mineralization at shallow submarine hydrothermal vents in Bahía Concepción, Baja California, México. *Chemical Geology* (aceptado).

- Cowen, J.P., Massot, G. J., Baker, E. T. (1986): Bacterial scavenging of Mn and Fe in a mid-to far-field hydrothermal particle plume. *Nature*, 322: 169-171.
- Dasgupta, S., Sengupta, P., Bhattacharya, P.A., Mukherjee, M., Fukuoka, M., Banerjee, H., Roy, S. (1989): Mineral reactions in manganese oxide rocks: P-T-X phase relations. *Econ. Geol.*, 84: 434-443.
- Ehrlich, H.L. (1963): Bacteriology of manganese nodules. *Appl. Microbiology*, 11: 15-19.
- Fernández del Olmo, S. (1980): Yacimientos de manganeso en México. Tesis Profesional para Licenciatura. UNAM, Facultad de Ingeniería. México, pp. 13-90.
- Freiberg, D.A. (1983): Geologic setting and origin of the Lucifer manganese deposit, Baja California Sur, Mexico. *Economic Geology*, 78: 931-943.
- González-Reyna, J. (1956): Riqueza Minera y Yacimientos Minerales de México. 3ª ed. Banco de México S.A. Departamento de Investigaciones Industriales. México, 215-227.
- Grill, E.V. (1982): Kinetic and thermodynamic factors controlling manganese concentration in anoxic waters. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 46: 233-240.
- Gundlach, H., Thormann, W. (1960): Versuch einer Deutung der Entstehung von Wolfram und die Zinnlagerstätten. *Z. Deutsch. Geol. Ges.*, 112, H. 1: 1-35.
- Hewett, D.F., Crittenden, M.D., Pavlides, L., De Huff, G.L. Jr. (1956): Manganese deposits of the United States. *Symposium del Manganeso XX Congreso Geológico Internacional*. México, 169-207.
- Klinkhammer, G.P., Bender, H.L. (1980): The distribution of manganese in the Pacific Ocean. *Earth Planet. Sci. Letters.*, 46: 361-384.
- Mapes, E. (1956): El manganeso en México. *Symposium del Manganeso XX Congreso Geológico Internacional*. México, 35-75.
- Marshall, K.C. (1979): Biogeochemistry of manganese minerals. En: Trudinger, P.A., Swaine, D.J. (Eds.), *Biogeochemical cycling of mineral-forming elements*. New York, Elsevier, 253-282.
- Miura, H., Hariya, Y. (1997): Recent manganese oxide deposits in Hokkaido, Japan. En: Nicholson, K., Hein, J.R., Bühn, B., Dasgupta, S. (Eds.), *Manganese Mineralization: Geochemistry and Mineralogy of Terrestrial and Marine Deposits*. Geol. Soc. London. Special Publication. No. 119: 281-298.
- Morgan, L.C. (2000): Resource estimates of the Clarion-Clipperton manganese nodule deposits. *Handbook of Marine Mineral Deposits*. Editado por Cronan, David S. C.R.C. Science Series. E.U.A., 145-148.
- Mücke, A., Dzigbodi-Adjimah, K., Annor, A. (1999): The mineralogy, petrography, geochemistry and genesis of the manganese deposits of Proterozoic Birimian rocks of Nsuta, Ghana. *Mineralium Deposita*, 34: 297-311.
- Nicholson, K. (1992): Contrasting Mineralogical-Geochemical signatures of manganese Oxides: Guides to Metallogenesis. *Economic Geology*. A Special Issue Devoted to Advances in Manganese Metallogenesis., 87: 1207-1216.
- Okita, P.M. (1992): Manganese Carbonate Mineralization in the Molango District, Mexico. *Econ. Geol.*, 87: 1345-1364.
- Park, C.F. Jr. (1956): On the origin of manganese. *20th International Geol. Congress Sympos. Manganese, México*, I: 75-98.

- Perfilev, B.V., Gabe, D.R., (1965): The use of microbial-landscape method to investigate bacteria which concentrate manganese and iron in bottom deposits: Applied capillary microscopy: The role of microorganisms in the formation of iron-manganese deposits. New York, Consultants Bur., 9-44.
- Rakhmanov, V.P. (1967): Manganese ores. En: Progress in the study of most valuable mineral resources of sedimentary origin. Moscow, Nauka, 80-100.
- Rodríguez-Díaz, A.A. (2004): Caracterización geológica y geoquímica del área mineralizada de manganeso en Bahía Concepción, Baja California. Tesis de licenciatura. U.N.A.M., México. 102p.
- Rodríguez C.J., Trask, P. Jr. (1948): Los Yacimientos de Manganeso de la República Mexicana. Comité Directivo para la Investigación de los Recursos Minerales de México, en colaboración con el Geological Survey U.S. Department of the Interior. México, 14-41 y 118-121.
- Routhier, P. (1963): Les gisements Metallifères Géologie et Principes de Recherches. Tom I y II, Masson et Cie, 24-68.
- Roy, S. (1969): Classification of manganese deposits. *Acta Mineralogica-Petrographica, Acta Universitatis Szegediensis*, Tom. XIX, Fasc. 1, Szeged, Hungría, 67-83.
- Roy, S. (1981): *Manganese Deposits*. London, Academic Press, 458 p.
- Roy, S. (1992): Environments and processes of manganese deposition. *Econ. Geol.*, 87: 1218-1236.
- Schweisfurth, R.. (1971): Manganknollen im Meer. *Naturwiss.*, 58: 163-167.
- Shatsky, N.S. (1954): On manganiferous formations and manganese metallogeny. *Trans. USSR Acad. Sci., Ser. Geol.*, 4: 3-37
- Smirnov, V.I. (1982): *Geología de los yacimientos minerales*. Ed. Mir. Moscú, 105-110, 512-517 y 563-565.
- Strauss, G. (1970): Sobre la geología de la provincia piritífera del Suroeste de la Península Ibérica y de sus yacimientos, en especial sobre la mina de piritita de Lousal (Portugal). *Memoria del Inst. Geol. y Minero de España*, Madrid, 226p.
- Varentsov, I.M., Rakhmanov, V.P. (1980): Manganese deposits of the USSR (A review. *Geology and Geochemistry of Manganese*. En Varentsov I. M., y Grassely G.Y. 2° Simposio Internacional sobre Geología y Geoquímica del Manganeso Australia. UNESCO, Hungría, 2: pp. 56-65.
- Varentsov, I.M. (2002): Genesis of the Eastern Paratethys manganese ore giants: impact old events at the Eocene/Oligocene boundary. *Ore Geol. Rev.*, 20: 65-80.

