

SOBRE EL ORIGEN VOLCANICO-SEDIMENTARIO DE LOS MANTOS FERRUGINOSOS BANDURRIAS Y MANOLETE, AL SUR DE COPIAPO

SERGIO ESPINOZA R.

Universidad del Norte, Depto. de Geociencias,
Casilla 1280, Antofagasta, Chile.

RESUMEN

Los yacimientos Bandurrias y Manolete, ubicados al sur de Copiapó, están formados por mantos de magnetita intercalados en formaciones calcáreas del Cretácico Inferior (Nantoco y Totoralillo).

En Bandurrias, el metamorfismo de contacto, que recristalizó las calizas encajadoras provocando la generación de granate, habría causado la reducción de óxidos e hidróxidos férricos a magnetita. Los efectos de este metamorfismo ocultan, en parte, las evidencias de un origen sedimentario del hierro. En cambio, en los mantos ferríferos del yacimiento Manolete, incluidos en una secuencia cíclica y repetitiva de lutitas, pedernal y jaspe, con un bajo grado de metamorfismo, se puede observar, tanto en el terreno como al microscopio, el paso gradual de sedimentos clásticos a sedimentos químicos ferruginosos.

Los contenidos de elementos de transición en las menas de hierro, especialmente aquéllas de V y Mn, de ambos depósitos, apoyan la hipótesis de un origen sedimentario. La variación de la razón V/Mn podría ser usada como discriminante entre yacimientos de hierro de origen sedimentario y de origen magmático.

ABSTRACT

The Bandurrias and Manolete iron deposits, located south of Copiapó, consist of magnetite beds interbedded between the calcareous Nantoco and Totoralillo Formations (Lower Cretaceous).

At Bandurrias, the contact metamorphism which caused recrystallization of the limestone, and formation of garnet would have produced the reduction of ferric oxides to magnetite; this metamorphism hampers the observation of a sedimentary origin for iron. Nevertheless, the ferriferous beds of the Manolete deposit, which occur within a cyclic and repeated sequence of shales, chert and jasper, exhibit a lower degree of metamorphism, which allows the observation, both in the field and under the microscope, of a gradual change from clastic sediment to iron-rich chemical sediment.

The hypothesis of a sedimentary origin for iron, in both deposits, is supported by the transition elements content in the iron ore, specially V and Mn. The variation of the V/Mn ratio could be used to discriminate between sedimentary and magmatic iron deposits.

INTRODUCCION

El yacimiento de hierro Bandurrias ha sido considerado, por algunos autores, como de origen metamórfico de contacto (Cisternas, 1982) y por otros, como de origen volcánico sedimentario (Espinoza, 1979; Pichon, 1981).

Aun cuando el valor económico actual de estos depósitos es menguado, la solución de esta discrepancia es significativa para la evaluación total de recursos y el mejor conocimiento de la metalogé-

nesis del Cinturón Ferrífero de Atacama-Coquimbo.

Sobre la base de una comparación de elementos de transición en las menas y el estudio de los mantos ferruginosos de Manolete, que afloran al norte de Bandurrias, se entregan, en esta nota, argumentos geológicos y geoquímicos que, a nuestro juicio, son prueba del origen volcánico-sedimentario de estos depósitos.

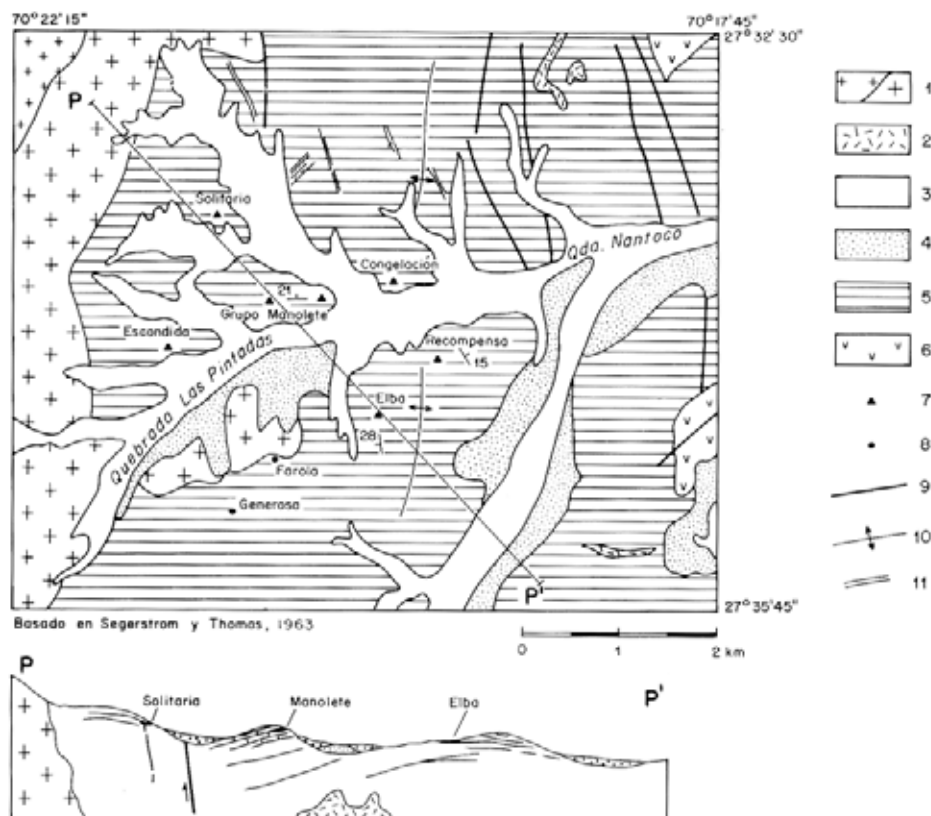


FIG. 1. Mapa geológico de los mantos de hierro en el distrito Manolete. 1. Batolito Cretácico, granodiorita, diorita; 2. Diques y apófisis del Batolito Cretácico; 3. Aluvio cuaternario; 4. Terrazas terciarias; 5. Formaciones calcáreas Nantoco y Totoralillo; 6. Formación Punta del Cobre; 7. Yacimiento de hierro; 8. Yacimiento de cobre; 9. Falla; 10. Anticlinal; 11. Veta.

MANTOS DE BANDURRIAS

("Chilenita" en el Cuadrángulo Chañarcillo, Segerstrom y Moraga 1964).

En el cerro Bandurrias ($27^{\circ}51'S - 70^{\circ}35'W$), 55 km al sur de la ciudad de Copiapó, afloran mantos ferruginosos que se disponen, concordantemente, sobre rocas sedimentarias de la parte superior de la Formación Nantoco (Biese, 1942). Estos mantos tienen un espesor total promedio de 10 m, se disponen homoclinamente, con rumbo $N15^{\circ}E - N30^{\circ}E$ y manto de $25-45^{\circ}$ al oeste, e infrayacen a calizas de color gris pálido, pedernal y brechas volcánicas, que corresponderían a la base de la Formación Totoralillo. Esta serie está intruida por dos stocks dioríticos, situados uno al este y el otro al oeste del yacimiento, los que han metamorfozando las rocas provocando la recrystalización de las calizas y for-

mación de granate (andradita), escapolita y, probablemente, la reducción de hematita e hidróxidos de hierro a magnetita (Pichon, 1981).

La mineralización ferrífera consiste en magnetita parcialmente martitizada, que suele estar acompañada de cuarzo anhedral intersticial, calcita y yeso. En algunos niveles de las capas ferruginosas, es posible ver lineamientos estratiformes de pirita o de yeso. En lentes calcáreo-arcillosos aparece abundante granate. Esta asociación mineralógica es marcadamente distinta de la de otros tipos de yacimientos de hierro del "Cinturón Ferrífero" (Espinoza, 1979), ya que no aparecen acá ni actinolita ni apatita, tan abundantes en los otros yacimientos, siendo, en cambio, muy importante la sílice, el granate y la calcita.

Los contactos (con las capas del piso y del techo) son nítidos y la mineralización no penetra en los

estratos encajadores.

Pequeñas capas de óxido de hierro alternan con capas calcáreo-arcillosas granatizadas, tanto en la base como en el techo de los mantos de hierro.

Se puede suponer que los óxidos de hierro fueron precipitados, al igual que la sílice, en una cuenca de sedimentación y recristalizados luego, como magnetita, por efecto del metamorfismo de contacto. La absoluta concordancia de la capa ferruginosa con los estratos encajantes y la falta de mineralización diseminada en venillas, brechas y relleno de fracturas apoya esta suposición.

La situación estratigráfica y paleogeográfica de estos mantos, así como la sucesión de base o techo, brecha clásica, lutitas calcáreas, sedimentos ferruginosos y pedernal, tal como se cumple en Bandurrias, es característica de depósitos ferruginosos formados en un ambiente volcánico.

Este esquema, un tanto obliterado por el metamorfismo en Bandurrias, se presenta en forma más evidente en los mantos de Manolete, como veremos a continuación.

MANTOS DE MANOLETE

Intercalados entre lutitas de la Formación Nantoco, 20 km al sur de Copiapó, afloran mantos ferruginosos, constituidos por magnetita, hematita y cuarzo. El verdadero potencial de estos mantos no es bien conocido y, al parecer, no existen estudios geológicos anteriores sobre este yacimiento. La explotación ha sido leve, probablemente debido al alto contenido de sílice en la mena. En algunos rajes hay laboreos que siguen fracturas en busca de minerales oxidados de cobre o en busca de oro.

Sobre la ladera occidental de la quebrada Pintada pueden verse cinco rajes que, aparentemente, interceptan los mismos niveles mineralizados (Congelación, Grupo Manolete y Escondida) (Fig. 1). La correlación nivel por nivel se hace difícil debido a la existencia de pliegues suaves y variaciones laterales de litología y espesor. En la zona de Mina Congelación (Fig. 2) se pueden contar cinco mantos distintos, con espesores entre 2 y 5 m. El efecto del metamorfismo de contacto en estos yacimientos es menor, en relación a Bandurrias; los plutones más próximos afloran a más de 1 km de distancia.

Las rocas encajantes forman una serie sedimentaria marina, constituida por lutitas arenosas y pedernal que, hacia el sur, gradan a rocas calcáreas.

La situación paleogeográfica, en el contexto de

una cuenca marina marginal apoyada sobre arcos volcánicos, es similar a la de los mantos de Bandurrias.

En mina Congelación, donde los mantos están bien expuestos, se advierte una cierta ritmicidad en la estratificación. Los mantos de hierro alternan con lutitas arenosas, que se enriquecen gradualmente en sílice hacia la parte alta, hasta transformarse en un pedernal ferruginoso (Fotos 1, 2, 3). Luego, el hierro empieza a ser más abundante hasta llegar a un 50% de Fe. Sobre este manto de Fe se depositó, nuevamente, lutita arenosa, repitiéndose cinco veces el mismo ciclo. El estudio en detalle de un manto en particular da la sucesión siguiente, de base a techo (Fig. 2):

1. Lutita arenosa, metamorfizada, de color gris-verdoso. Al microscopio, muestra pequeños clastos angulosos de feldespato y cuarzo, en una matriz ligeramente recristalizada.
2. Lutita fina, que gradúa a lutita con abundante sílice.
3. Pedernal blanco-grisáceo.
4. Chert rojo o jaspe, con nódulos de hematita y venillas de cuarzo y magnetita.
5. Capa ferruginosa de magnetita y cuarzo, con delgadas capas de jaspe. Al microscopio, muestra un mosaico de magnetita, cuarzo, biotita y prehnita.
6. Capa delgada y compacta de jaspe.
7. Lutita arenosa.

Este conjunto puede interpretarse como el producto de la precipitación química esporádica de sílice y óxidos de hierro, en un ambiente no muy profundo, en el cual se estaban depositando arcillas arenosas.

La sílice y óxidos de hierro pudieron haber sido aportados por actividad volcánica submarina o subárea cercana.

EVIDENCIAS GEOQUÍMICAS

En estudios geoquímicos, realizados sobre menas de hierro de yacimientos chilenos (Espinoza, 1984, 1985), se ha encontrado una extraordinaria correlación entre los contenidos de algunos elementos en traza y el supuesto ambiente de formación de estos yacimientos.

Así, al representar muestras de 22 yacimientos de hierro chilenos, en diagramas como V/Mn, Co/Ni

Las tres fotografías siguientes muestran el paso gradual de sedimento a jaspe ferruginoso, a través de un corte transparente orientado perpendicularmente a la estratificación. Las fotografías corresponden a tres puntos separados por 0,5 cm, en la zona de contacto entre arenisca arcillosa y jaspe ferruginoso. De piso a techo:

Foto 1. Aumento 10x4P, Nícoles cruzados. Se observa un sedimento arcilloso, con clastos de feldespatos angulosos. Matriz arcillosa con algo de sílice.

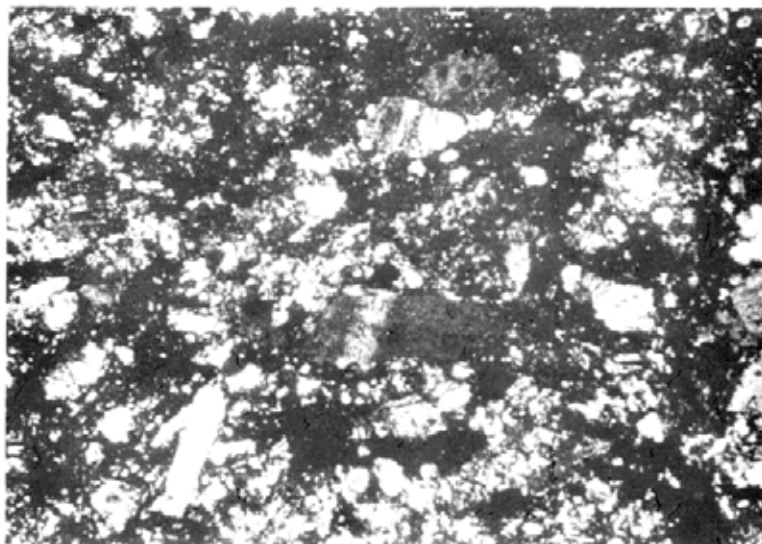


Foto 2. Aumento 10x4P, Nícoles cruzados. El sedimento contiene más sílice y magnetita. Se hace difícil la identificación de clastos típicos.

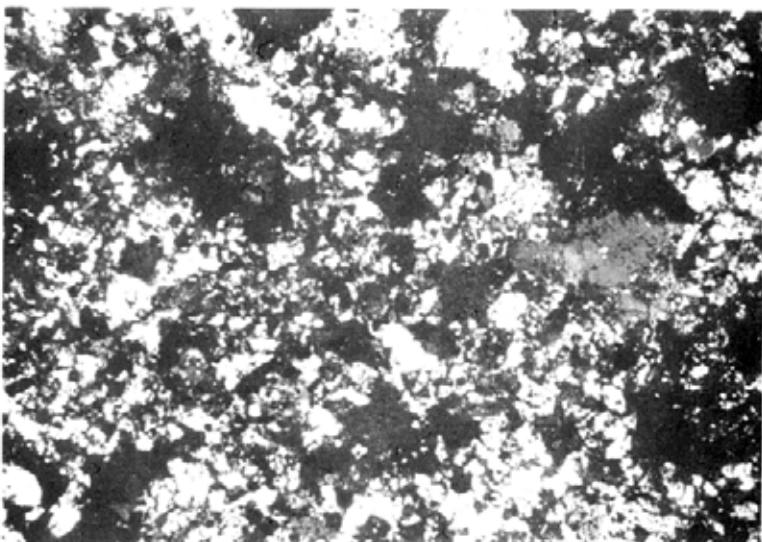
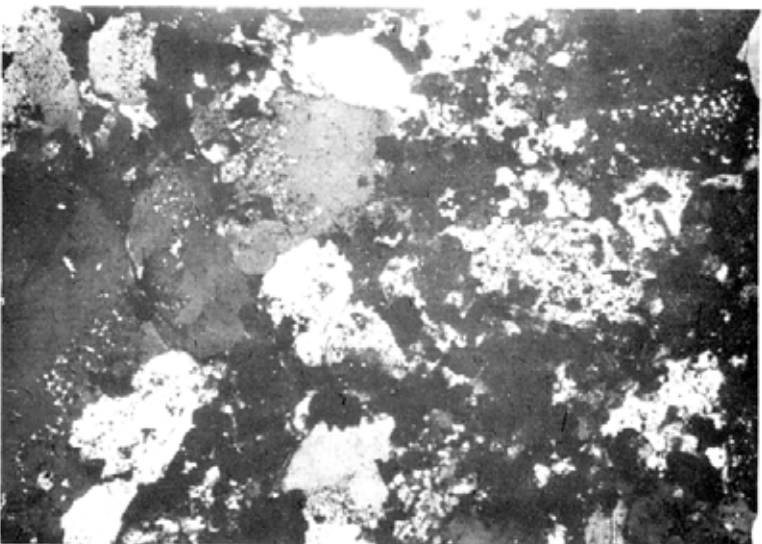


Foto 3. El sedimento clástico ha dado paso a un mosaico de cuarzo, con magnetita y algo de clorita.



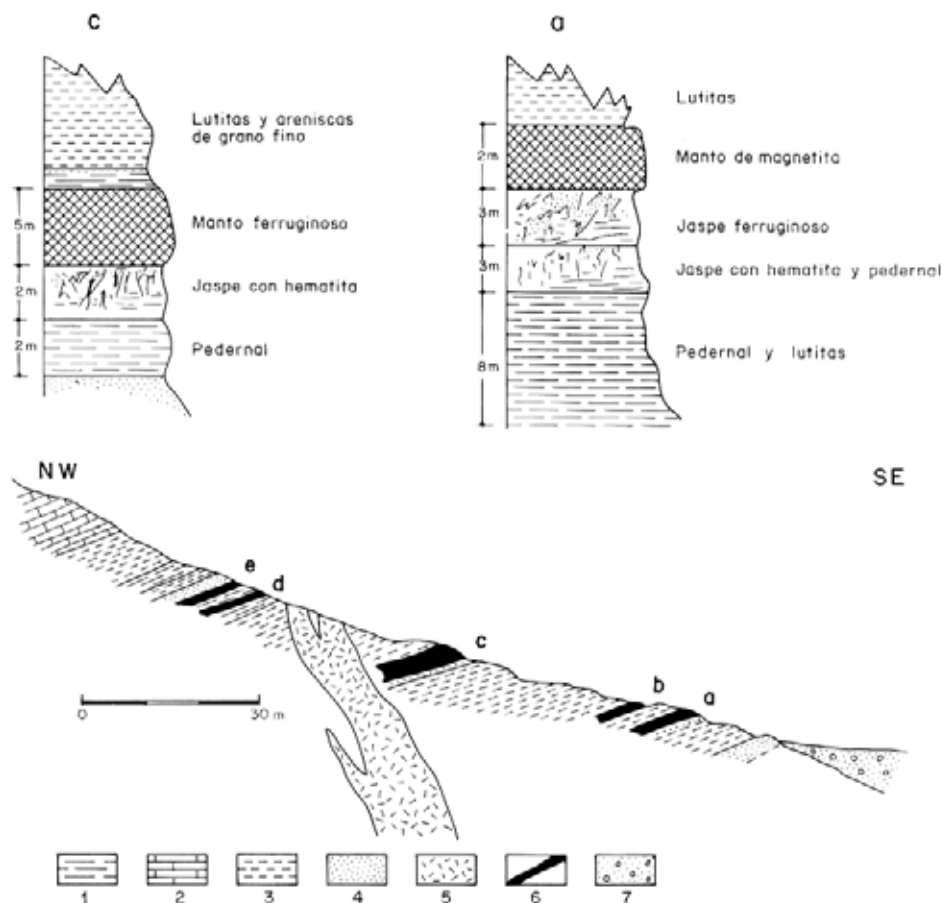


FIG. 2. Perfil y detalle de los mantos de hierro en Mina Congelación, Distrito Manolete. 1. Pedernal; 2. Calizas; 3. Lutitas; 4. Areniscas; 5. Dique dacítico; 6. Magnetita y hematita; 7. Gravas cuaternarias.

y Ni/V, clasificados de acuerdo a un estudio tipológico previo (Espinoza, 1979), se observa que los valores se distribuyen en campos bien determinados y característicos para cada tipo (Figs. 3, 4, 5).

Si el origen sedimentario atribuido a Bandurrias y Manolete es correcto, podemos deducir, de la simple observación del gráfico V/Mn, que el V se concentra en yacimientos más ligados a fenómenos magmáticos, en tanto que el Mn puede ser más abundante en depósitos de origen sedimentario. Esta relación podría servir, entonces, para discriminar entre magnetitas magmáticas y sedimentarias.

Observaciones similares pueden hacerse en los diagramas Co/Ni y V/Ni, donde los valores correspondientes a los yacimientos supuestamente sedimentarios tienden a ocupar un campo separado del resto.

CONDICIONES DE DEPOSITACION

Las condiciones de depositación del hierro en estos mantos plantea un problema difícil para la hipótesis singenética. Las condiciones de Eh y pH para la precipitación de magnetita suponen, de acuerdo a los diagramas clásicos (Krauskopf, 1967), un ambiente básico (pH 7-14) y altamente reductor (-0,3 a 0,7 v). Este ambiente es difícil de imaginar en la cuenca en que se habrían depositado los sedimentos ferruginosos de Manolete y Bandurrias, ya que la serie sedimentaria, en la que están intercaladas, corresponde a un ambiente litoral más bien oxidante.

En el caso de las Formaciones de Hierro Bandedo (BIF) del Precámbrico, se ha supuesto que las condiciones atmosféricas de entonces, pobres

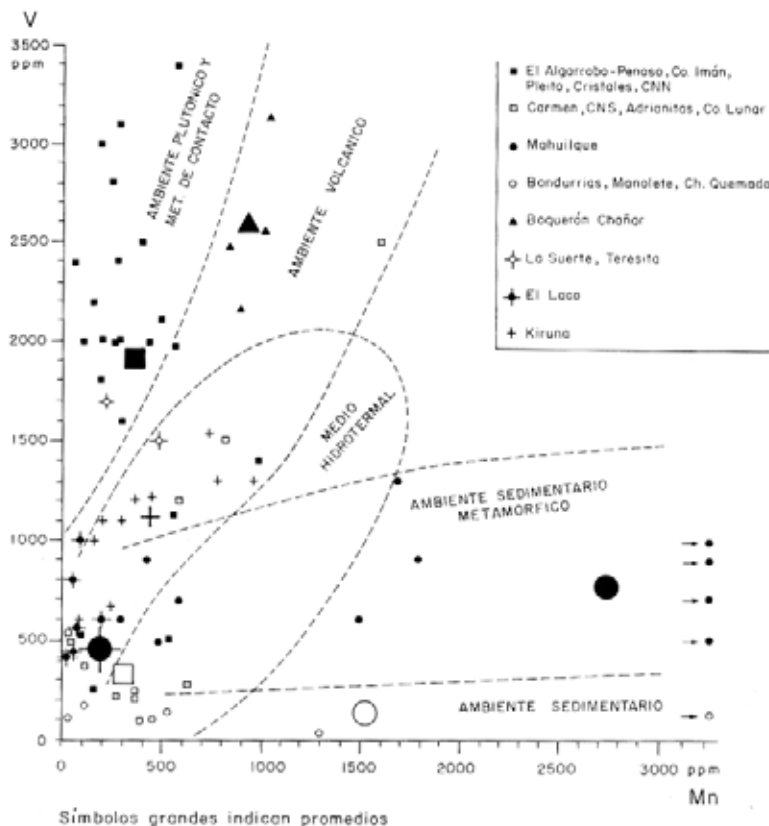
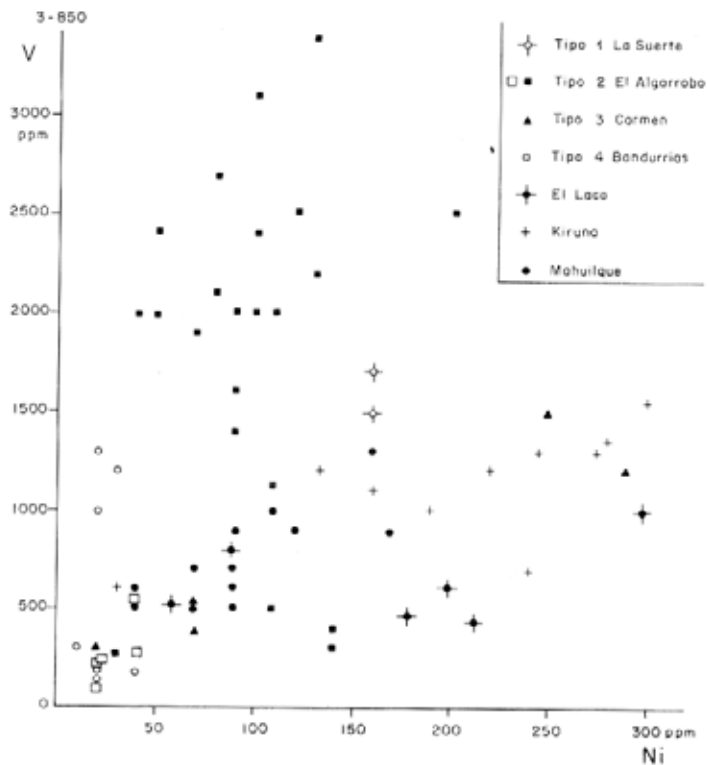


FIG. 3. Comparación entre los contenidos de vanadio y manganeso, en magnetitas de yacimientos de hierro (Espinoza, 1985). Los valores se distribuyen en campos bien definidos, según el tipo de yacimiento. Los yacimientos supuestamente formados en ambiente sedimentario (Bandurrias, Manolete y Chañar Quemado) se agrupan en una zona de bajo vanadio.

FIG. 4. Comparación entre los contenidos de cobalto y níquel, en magnetitas de yacimientos de hierro (Espinoza, 1985). Mientras el cobalto es relativamente variable, el níquel parece discriminar entre los yacimientos sedimentarios y los magmáticos, concentrándose, de preferencia, en los supuestamente volcánicos.



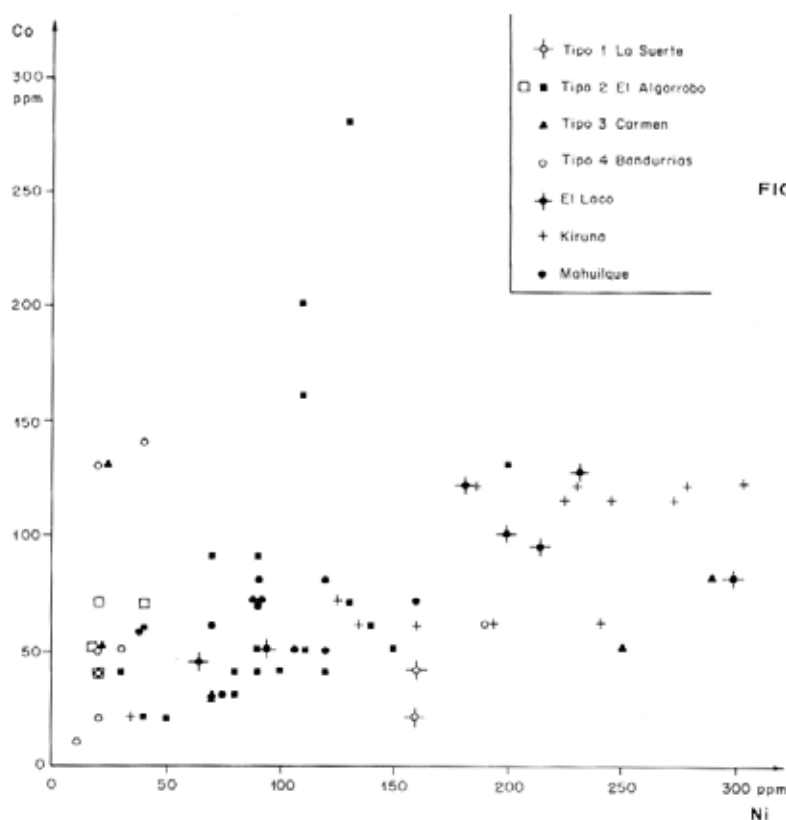


FIG. 5. Comparación entre los contenidos de vanadio y níquel, en magnetitas del yacimiento de hierro (Espinoza, 1985). Es notable, en este diagrama, la separación entre los valores correspondientes a yacimientos supuestamente volcanogénicos respecto de los relacionados a metamorfismo de contacto.

en oxígeno, habrían proporcionado ambientes tales que permitieron la precipitación directa de magnetita (Mel'nik, 1982). La génesis de la atmósfera e hidrosfera, explicada como la desgasificación del manto y condensación sobre la superficie en enfriamiento, supone una hidrosfera de bajo pH, debido a la solución de HCl, HF y otros ácidos, y una atmósfera prácticamente sin oxígeno libre. Los BIF habrían sido depositados en un ambiente de transición hacia la oxisfera (atmósfera actual).

En cambio, los constituyentes primarios de sedimentos ferruginosos, formados en condiciones más modernas que el Precámbrico temprano, son principalmente hidróxidos amorfos, trivalente y bivalentes, de hierro, sílice amorfa, magnetita cristalina, finamente dispersada, granalita, pirita y pirrotita.

Estos compuestos suelen constituir diferentes facies sedimentarias ferruginosas de óxidos, silicatos, carbonatos y sulfuros, de acuerdo al ambiente de depositación (James, 1954).

Estudios recientes de los campos de estabilidad de sales de hierro, para estos cuatro sistemas (Mel'nik, 1982), indican que la magnetita puede formar-

se (en bajas concentraciones de ácidos silícicos, carbónicos y sulfhídrico) en ambientes reductores y de pH alto relativamente normales ($E_h = 0$ a $-0,7V$ y $pH = 6-14$), pero, de todos modos, improbables para los ambientes sedimentarios en cuestión, donde son más estables los hidróxidos trivalentes.

Los depósitos actuales, descritos en cuencas y zonas de actividad volcánica submarina, están constituidos por limonitas y hematita, en la proximidad de centros volcánicos. Sólo una pequeña cantidad de magnetita diseminada se encuentra en sedimentos formados en condiciones más reductoras. Pero en el caso de depósitos sometidos a un intenso metamorfismo regional, como los depósitos del tipo itabirítico, sedimentos de hidróxidos férricos y sílice amorfa, fueron transformados en magnetita y cuarzo. Del mismo modo, depósitos sometidos a un metamorfismo de contacto transformarían los hidróxidos y óxidos trivalente de Fe en magnetita. Podemos suponer que tal ha sido lo ocurrido en los mantos de Bandurrias y Manolete, ya que hay manifestaciones de metamorfismo de contacto intenso en Bandurrias y algo más leve en Manolete.

CONCLUSION

Si bien el problema de la magnetita, señalado más arriba, es un asunto que seguirá siendo discutido y no queda resuelto en este trabajo, se puede decir que, tanto por la posición paleogeográfica de los yacimientos y la sucesión cíclica y repetitiva de chert y mantos ferruginosos, como también el paso

gradual de sedimento clástico a depósito químico, evidenciado tanto en terreno como al microscopio y, finalmente, la distribución de elementos traza en las menas, son buenas evidencias para suponer que estos yacimientos tienen un origen singenético sedimentario.

REFERENCIAS

- BIESE, W. 1942.** La distribución del Cretácico Inferior al sur de Copiapó. *In* Congr. Panam. Ing. Minas y Geol., No. 1, An., Vol. 2, p. 429-466.
- CISTERNAS, M. E. 1982.** Relaciones texturales entre minerales de la mena y la roca de caja en el yacimiento de hierro de Bandurrias, III Región, Chile. *Rev. Geol. Chile*, No. 15, p. 27-40.
- COLLAO, S.; MONTECINOS, P.; OYARZUN, R.; et al. 1980.** Estudio genético de las mineralizaciones de hierro de Mahuilque. Univ. Concepción, Depto. Geocienc., Contrib., No. 4, 160 p.
- ESPIÑOZA, S. 1979.** Una hipótesis sobre la metalogénesis de la franja ferrífera chilena. *In* Congr. Geol. Chileno, No. 2, Actas, Vol. 2, p. C1-C2. Arica.
- ESPIÑOZA, S. 1984.** Le rôle du volcanisme du Crétacé Inferieur dans la métallogénese de la ceinture Ferrifère d'Atacama-Coquimbo, Chile. Tesis de Doctorado. Univ. Paris VI, Lab. Géol. Appliquée. 152 p. Paris.
- ESPIÑOZA, S. 1985.** Distribución de los elementos de transición en magnetitas de yacimientos de hierro chilenos y su significado en la tipología y génesis probable de los yacimientos. *In* Congr. Geol. Chileno, No. 4, Actas, Vol. 4, p. 836-853. Antofagasta
- JAMES, L. H. 1954.** Sedimentary facies of iron-formation. *Econ. Geol.*, Vol. 49, No. 3, p. 235-293.
- KRAUSKOPF, K. B. 1967.** Introduction to Geochemistry. McGraw-Hill Book Co., 721 p. New York.
- MEL'NIK, Y.P. 1982.** Precambrian banded iron formations physico-chemical conditions of formation. *Developments in Precambrian Geology*. Elsevier, Vol. 5, 310 p.
- PARAK, T. 1975.** Kiruna iron ores are not "intrusive-magmatic ores of the Kiruna type". *Econ. Geol.*, Vol. 70, No. 7, p. 1242-1258.
- PICHON, H. 1981.** Contribution a l'étude de la ceinture du fer du Chili. Les gisements de Bandurrias (Prov. d'Atacama) et de Los Colorados Norte (Prov. de Huasco). Tesis de Doctorado. Univ. Paris-Sud, Centre d'Orsay. 325 p. Paris.
- RUIZ, C.; AGUIRRE, L.; CORVALAN, J.; et al. 1965.** Geología y yacimientos metalíferos de Chile. *Inst. Invest. Geol.*, 385 p. Santiago, Chile.
- SEGERSTROM, K.; THOMAS, H.; TILLING, R. 1963.** Cuadrángulo Pintadas, provincia de Atacama. *Inst. Invest. Geol.*, Carta Geol. Chile, No. 12, 52 p.
- SEGERSTROM, K.; MORAGA, A. 1964.** Cuadrángulo Chañarcillo, provincia de Atacama. *Inst. Invest. Geol.*, Carta Geol. Chile, No. 13, 50 p.

Trabajo recibido: 24-12-84; aceptado: 15-10-86