



YACIMIENTOS DE FIERRO TIPO KIRUNA EN MEXICO Y COMPARACION CON YACIMIENTOS CHILENOS

Henríquez, F.¹, Corona Esquivel, R.²

INTRODUCCION

México tiene una producción total de acero de 13 millones de Ton/año, lo cual lo ubica como el segundo productor de latinoamérica después de Brasil. Dado el nivel de industrialización, se consumen en el país 8 millones de Ton/año y se exportan del orden de 5 millones Ton/año. Esta producción de acero proviene en un 36% del tratamiento de menas de hierro de yacimientos mexicanos, mediante el proceso de reducción directa y el 64% se produce en hornos eléctricos a partir de chatarra, la cual, en gran parte, se compra e importa de Estados Unidos. Las reservas de mena de hierro se estiman en 688,7 millones de toneladas (1).

Una invitación de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) le permitió al primer autor visitar los yacimientos de Fe más importantes de México, haciendo observaciones de terreno. En este trabajo se presentan los resultados de estas observaciones en los yacimientos de Cerro de Mercado, en el Estado de Durango; El Encino, en el Estado De Jalisco; Peña Colorada y Cerro Nahuatl, en el Estado de Colima; y Aquila, en el Estado de Michoacán y se comparan con yacimientos chilenos.

MARCO TECTONICO-GEOLOGICO GENERAL

Los yacimientos de Fe en México se presentan en dos provincias metalogénicas, denominadas: "Yacimientos de Fe del Norte", ubicados en la Sierra Madre Occidental (Cerro de Mercado) y Sierra Madre Oriental (La Perla y Hércules) y "Yacimientos de Fe del Sudoeste", localizados en la Sierra Madre del Sur.

Ambas provincias se encuentran en el Cinturón Orogénico Cordillerano, que corresponde a una región tectónicamente activa desde finales del Proterozoico hasta el Mioceno, como resultado de convergencia a lo largo del margen occidental del cratón precámbrico, produciendo acreción durante el Paleozoico y a mediados y finales del Mesozoico (2,3).

Los Yacimientos de Fe del Norte se emplazan dentro de una unidad de rocas volcánicas continentales del Terciario, de composición riolítica e ignimbítica (2,3), la cual ocupa más de un tercio del territorio mexicano. Por su parte, los Yacimientos de Fe del Sudoeste se encuentran asociados a una secuencia principalmente sedimentaria, con predominio de calizas, menor cantidad de rocas volcánicas andesíticas e intrusivos de composición intermedia. Toda esta secuencia es de edad cretácica y se formó en un ambiente de arco de isla (4,5,6).

DESCRIPCION DE LOS YACIMIENTOS

Se describirán los yacimientos de Cerro de Mercado (Estado de Durango) de los "Yacimientos de Fe del Norte" y Peña Colorada (Estado de Colima) de los "Yacimientos de Fe del Sudoeste"

CERRO DE MERCADO

Este yacimiento se comenzó a explotar en 1828 y sus recursos totales, antes de explotación, se estiman en 80 millones de toneladas. La roca huésped corresponde a riolitas que han sido datadas en 30Ma. No se observan fallas mayores ni deformación. El yacimiento se ha descrito como magmático (lavas, diques y tobas de mena) localizado en los márgenes de una caldera y se ha comparado con El Laco, en Chile (7).

1 Departamento de Ingeniería en Minas Universidad de Santiago de Chile.

2 Instituto de Geología Universidad Autónoma de Mexico.

En terreno es posible observar diferentes cuerpos de mena, los que de acuerdo a su posición espacial, forma, estructura y características texturales, se pueden clasificar en brechas, flujos de lava, diques, tobas estratiformes de magnetita, stockworks y cuerpos de rodados semi-consolidados. Los cuerpos de mayor tamaño son brechas, lavas y tobas. Las principales observaciones de terreno que soportan esta clasificación son:

Brechas

De acuerdo a las características observadas en terreno, las brechas se pueden dividir en ígneas e hidrotermales.

Brechas ígneas: Ellas representan los cuerpos de mayor tamaño del yacimiento. Son semi verticales, con decenas de metros de alto y alrededor de 10 m de ancho, contienen grandes fragmentos angulares de riolita (desde 1 decímetro hasta más de 1 m) sin ninguna alteración visible macroscópicamente. La matriz está formada por magnetita la que varía desde maciza hasta llena de cavidades con dendritas en placas y columnares de magnetita y octaedros, en el interior. Existen pequeñas concentraciones de apatita verde fresca. Piroxeno verde (con algo de alteración a clorita?) es abundante y localmente presenta un hábito radial y entrecrecimiento con magnetita columnar alrededor de un "núcleo" de riolita de 8 a 10 cm de diámetro. También se encuentran dendritas en placas de magnetita, con un hábito radial a partir de un núcleo de magnetita en placas y con espacios abiertos entre las placas radiales. Asimismo se observan cristales de piroxeno en un crecimiento alternado con dendritas prismáticas de magnetita, formando bandeamiento. Se encuentra apatita alterada de sección longitudinal cónica. Hay abundante ortoclasa (¿?) la que en su mayor parte rellena espacios abiertos. Abundante sílice coloforme y bien cristalizada se presenta en espacios abiertos o como entrecrecimiento en cristales de magnetita.

Brechas hidrotermales: Corresponden a cuerpos compuestos de fragmentos redondeados de riolita muy alterada (¿arcílica?) los que están cortados por vetas y vetillas de magnetita. Algunos de los fragmentos presentan un halo rojo de alteración (¿adición de hierro férrico?). La matriz de estas brechas está formada por hematita. Algo de apatita muy alterada está presente y existe abundante sílice tardía. No se observó magnetita dendrítica ni piroxeno.

Coladas de lava de magnetita: Se presentan en una posición subhorizontal, con un espesor entre 10 y 20 m y con una extensión más bien corta (del orden de 50 m). Dos de los flujos de lava provienen de la misma dirección y el tercero de una dirección opuesta. Flujos de riolitas se encuentran intercalados entre las lavas de magnetita. Uno de los últimos flujos de magnetita se presenta cortado por un cuerpo subvertical de riolita (posiblemente un alimentador) el cual, hacia arriba, termina en un flujo de riolita que cubre la lava de magnetita. En la base de las lavas de magnetita se presenta una textura maciza con algunos "nidos" de apatita, sin embargo en el techo de estos flujos se encuentran vesículas alineadas. La apatita está prácticamente ausente.

Dique de magnetita: Un cuerpo de magnetita, semi vertical, de alrededor de 5 a 8 m de ancho y decenas de metros de alto, corta riolita no alterada con contactos nítidos. La mena está principalmente compuesta de magnetita maciza con apatita y piroxena alterada. En la parte superior del dique se encuentra un xenolito (¿?) de riolita relativamente fresca. En algunos lugares la magnetita es bastante vesicular. En otros lugares el dique presenta bandeamiento similar al de mena de Sierra Bandera, en la Franja Cretácica Chilena (8). Fracturas concoidales, en algunos lugares, sugiere que el óxido de Fe (magnético) está mezclado con abundante sílice. La mayoría de los espacios abiertos están rellenos con sílice tardía, botroidal y bien cristalizada.

Toba estratiforme de magnetita: Corresponde a un cuerpo estratiforme de mena bandeada de 6 a 8 m de espesor. En algunos lugares la mena consiste de hematita muy disgregable y en otros se encuentra magnetita compacta mezclada con sílice. En espacios abiertos se encuentra una estratificación muy fina con capas milimétricas de magnetita casi no afectada por la oxidación, las que alternan con capas blancas de silicatos y/o apatita. En un lugar se observó estratificación cruzada casi idéntica a la de Laco Sur (9).

Stockwork de magnetita: La riolita es localmente cortada por una red de 3 m de espesor de vetillas centimétricas a milimétricas de magnetita, orientadas en todas direcciones. Algunas de estas vetillas contienen magnetita octaédrica. También se presenta cuarzo en estas vetillas.

Cuerpo de rodados semi-consolidados: Este es un depósito joven, de tipo erosional, compuesto de fragmentos redondeados de mena de magnetita, con las mismas características de Desvío Norte (cerca del distrito Pleito Melón, en la Franja Cretácica) o Rodados Negros (en El Laco), en Chile.

PEÑA COLORADA

Las reservas totales antes de explotación, en este yacimiento, se estiman entre 250 y 300 millones de toneladas, con una ley media de Fe de 50-60 %. La producción en 1997 fue de 3,3 millones de toneladas.

Geología del Distrito

La geología distrital está caracterizada por una secuencia del Cretácico compuesta por calizas marinas, con algunas intercalaciones de flujos de lavas andesíticas y tobas. En la parte superior de la secuencia se encuentran brechas sedimentarias verdes (¿cloritizadas y epidotizadas?), tobas y conglomerados terrígenos. Esta secuencia sedimentaria-volcánica tiene una disposición sub-horizontal excepto por un bloque tectónico, limitado por fallas, donde las calizas mantean con un ángulo casi de 45°. Diques sub-verticales, de composición andesítica a diorítica, cortan toda la secuencia, incluyendo los cuerpos de mena. Una roca intrusiva, en la base de la secuencia (vista en sondajes), ha sido correlacionada, en base a similitud petrográfica, con un cuerpo intrusivo de edad Terciaria, que aflora a alrededor de 7 km del área de la mina.

Mineralización de Fe

Existen varios cuerpos de mena de hierro los que en su mayoría tienen una posición sub-horizontal. Los cuerpos observados en terreno son:

Cuerpo Central de mena: Este cuerpo, que es el de principal interés económico, se presenta con una disposición sub-horizontal concordante con las andesitas y la estratificación de calizas. Tiene un espesor promedio de unos 30m, una longitud mayor a un kilómetro y unos 300m en su parte más ancha. El tipo más común de mena corresponde a magnetita maciza, de grano fino, con algo de sílice secundaria y pirita diseminada y en vetillas de un color blanco anómalo (¿rica en Co?). El cuerpo presenta contactos laterales nítidos y bien definidos, de apariencia intrusivo. No existen evidencias de contactos tectónicos. Las calizas y andesitas (estas últimas llamadas hornfels en la mina) sólo muestran una débil recristalización en los contactos laterales con el cuerpo de mena. No se observan características evidentes de metasomatismo o reemplazo. El contacto superior e inferior del cuerpo está caracterizado por la presencia de magnetita diseminada y en vetillas con abundante pirita y ortoclasa (¿?). La parte más profunda del cuerpo es más angosta, sugiriendo ser un dique alimentador.

Cuerpos laterales: En el bloque inclinado de calizas (manteando 45°) se presentan tres cuerpos de mena de hierro (cada uno de ellos tiene 3-5 m de ancho y 30-50 m de largo), paralelos entre si y con una disposición sub-horizontal. Estos cuerpos están discordantes en relación a la estratificación de las calizas y los contactos mena-caliza son bien definidos y nítidos. Alrededor de los contactos, las calizas muestran un delgado halo de recristalización sin llegar a transformarse a mármol. Todas estas características sugieren contactos intrusivos con lo que cada cuerpo parecen ser apófisis de un intrusivo de mena de hierro. En la parte superior de los cuerpos de mena se observan abundantes cavidades (vesículas) alineadas en forma paralela a los contactos. Estas cavidades están cubiertas en sus partes interiores por dendritas de magnetita prismáticas y en placas, de tamaño milimétrico, las que están distribuidas al azar. También se encuentra pirita "blanca" en vetillas y diseminada. Hay algunas manchas de clorita que probablemente está reemplazando actinolita ya que en algunas partes se puede identificar relictos de este mineral. Lateralmente los tres cuerpos están conectados llegando a formar uno solo.

Cuerpo de brecha: Corresponde a un cuerpo sub-vertical con fragmentos de andesita en una matriz de magnetita con pirita "blanca". Se encuentran abundantes cavidades. La mena tiene en parte apariencia hidrotermal y en parte magmática. En la parte más baja del yacimiento la brecha incluye cristales euhedrales de apatita hasta de 3cm de longitud, entrecrecidos con cristales de anfíbola y magnetita.

Cuerpo inferior bandeado: Este es un cuerpo bandeado de mena, sub-horizontal, de más de 20m de espesor, con calizas en la parte superior. Es el de mayor extensión en la mina, pero de baja ley. El bandeamiento corresponde a una alternancia de lentes de magnetita (¿fiammes?) con cristales prismáticos de tremolita-actinolita alterados a clorita (¿?). Pirita "blanca" y ortoclasa (¿?) son abundantes, en algunos lugares dispuestos paralelos a las bandas y en otro cortando a la magnetita y a la anfíbola alterada. Es posible observar esferulitas de alrededor de 10 cm de tamaño compuestas de dendritas prismáticas de magnetita creciendo en forma radial desde un núcleo de material muy alterado. También es posible observar estratificación cruzada. Este cuerpo presenta muchas similitudes con las capas de mena de hierro de Sierra Bandera, en el Distrito Pleito- Melón, en Chile.

Cuerpo de mena de alta ley y muy disgregable: En una de las áreas del yacimiento se encuentra un cuerpo sub-horizontal, compuesto de magnetita de grano fino y muy disgregable. A la lupa se observa que

la mena está compuesta de octaedros de magnetita con un tamaño de alrededor de 1 mm, con una textura sacaroidal, con el aspecto de las tobas (cenizas) de El Laco.

En la parte alta de la columna estratigráfica, en brechas sedimentarias ubicadas fuera del yacimiento, se encuentran fragmentos angulares (2-5 cm) de magnetita pura. En una toba ubicada aún en un nivel estratigráfico más alto, se encuentran fragmentos de mena de hierro y andesita de hasta un tamaño de 0,4 m. Todas estas evidencias indican que la mineralización principal de hierro es más antigua que las brechas sedimentarias y tobas y también más antigua que el intrusivo cretácico tardío-terciario temprano que corta a la secuencia sedimentaria- volcánica fuera del yacimiento.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

Características similares a Peña Colorada y/o Cerro de Mercado se observan en otros yacimientos del Sudoeste (El Encino, Cerro Nahuatl y Aquila).

Los Yacimientos de Fe del Sudoeste han sido descritos en México como skarns y se les ha asignado un origen metasomático e hidrotermal de reemplazo, por estar en su mayoría asociados a calizas y porque en algunas de ellas se encuentra granate y wolastonita (4, 5, 6). Por otra parte, Cerro de Mercado, perteneciente a los Yacimientos de Fe del Norte, ha sido interpretado como un yacimiento magmático emplazado en la forma de coladas de lava, diques, tobas y brechas de mena, en base a sus características morfológicas, estructurales y texturales y además ha sido comparado con El Laco, en Chile (7).

Todas las características observadas en terreno y descritas en el capítulo anterior, señalan grandes similitudes de los Yacimientos de Fe del Sudoeste con las que se presentan en Cerro de Mercado. Además estas características son comunes con las que se encuentran en los yacimientos chilenos (9).

Las características de ambiente geológico-tectónico de los yacimientos mexicanos son muy similares a las de los yacimientos chilenos:

(1) Cerro de Mercado y otros yacimientos de Fe en el Norte de México se encuentran principalmente en rocas volcánicas terciarias, al igual que los yacimientos de la Franja Andina Terciaria de Chile. Sin embargo en México ellos ocurren en rocas volcánicas ácidas mientras que en Chile están asociados con andesitas.

(2) Los Yacimientos del Sudoeste Mexicanos y los de la Franja Cretácica Chilena se presentan en un ambiente geológico-tectónico similar, pero con dos grandes diferencias: en México no existe una mega falla como la de Atacama a la cual están asociados los yacimientos chilenos y en México las rocas sedimentarias (principalmente calizas) son más abundantes que las rocas volcánicas (siendo la situación inversa en Chile)

Basado en todas las características morfológicas, estructurales, texturales, mineralógicas, en las similitudes de estas con los yacimientos chilenos y los ambientes geológico-tectónico, se propone un origen magmático, a partir de un magma de mena de hierro, para los yacimientos mexicanos descritos, origen similar al de los yacimientos chilenos.

AGRADECIMIENTOS

La visita a los yacimientos mexicanos fue posible gracias a una gentil invitación del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México, la cual se agradece. En especial se desea expresar el agradecimiento por su colaboración durante esta visita a los ingenieros Carlos Zárate y Ricardo Chávez de la Compañía Minera Las Encinas; Roberto Villalobos y José de la Luz Portugal del Consorcio Minero Benito Juárez Peña Colorada y a Luis Alva Valdivia (académico del Instituto de Geofísica de la UNAM). Este trabajo se enmarca dentro de los proyectos FONDECYT N° 1970671 y DICYT N° 05-97-15HB, a quienes se les agradece su constante apoyo.

REFERENCIAS

1. Ordal, S. and Moya, J. 1997. The mineral industry in Mexico in 1996, U.S. Embassy, Mexico, pp.16-17.
2. de Cserna, Z. 1989. An outline of the geology of Mexico, in Bally, A. W. and Palmer, A. R., eds., The geology of North America – An overview, Geological Society of America, The Geology of North America, v. A, pp. 233-264.
3. de Cserna, Z. 1990. Tectónica, Instituto de Geografía, UNAM, Atlas Nacional de México, IV.2.1.

4. Estrada, S., Villegas, C. y Ruvalcaba, D. 1988. Primer Simposio sobre la Exploración de Hierro en México, Geominaet, N° 154, pp. 5-17.
5. Corona, R., Morales, A. Y Mujica, H. 1992. Los yacimientos territeros de la porcion Suroccidental de México, I Reunión sobre la evolución geológica del occidente de México, pp. 4-5.
6. Corona, R., Ortega, F. y Ruiz, F. 1997. Los yacimientos de hierro del suroccidente de México: parámetros metalogenéticos mínimos para su formación, II Convención sobre la evolución geológica de México y recursos asociados.
7. Lyons, J.I. 1988. Volcanogenic iron oxide deposits, Cerro de Mercado and vicinity, Durango, Mexico, Economic Geology, v.83, pp. 1886-1906.
8. Nyström, J.O., Henríquez, F. and Travisany, V. 1996. Volcanic iron ores of the Kiruna type, GFF, v.118, pp. A45-A46.
9. Nyström, J.O. and Henríquez, F.1994. Magmatic features of iron ores of the Kiruna type in Chile and Sweden: ore textures and magnetite geochemistry, Economic Geology, v. 89, pp. 820-839.