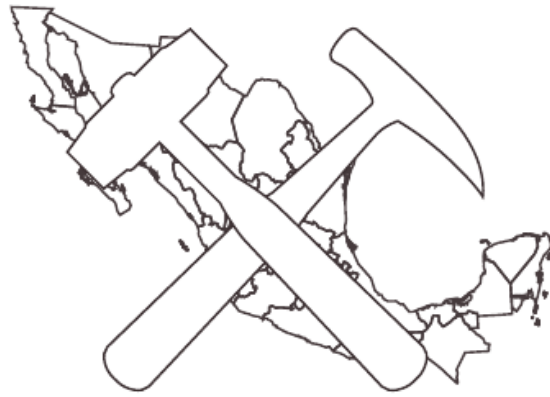


Geología Económica de México



Editado por:

KENNETH F. CLARK
GUILLERMO A. SALAS-PIZÁ
RODOLFO CUBILLAS-ESTRADA



GEOLOGIA ECONOMICA DE MEXICO

Segunda Edición 2009

DR © 2009 Asociación de Ingenieros de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México

Av. Del Parque No. 54 Col Nápoles, México, D.F.

Servicio Geológico Mexicano

Carretera México-Pachuca s/n km. 93.5

Derechos del autor propiedad

Asociación de Ingenieros de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México y Servicio Geológico Mexicano

ISBN 978-607-95292-1-5

Impresión:

Tegra Color

Enrique Rebsamen 322, Col. Narvarte

C.P. 03020 México D.F.

Geología y mineralización del yacimiento de hierro Peña Colorada, Colima

RODOLFO CORONA-ESQUIVEL¹⁻², JORDI TRITLLA³, FERNANDO HENRÍQUEZ⁴,
AZUCENA MORALES-ISUNZA¹, JOSÉ de la LUZ PORTUGAL⁵,
y LAURA NAVA-PÉREZ⁶

¹ Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México

² Instituto Politécnico Nacional

³ Universidad Nacional Autónoma de México, Juriquilla, Querétaro

⁴ Universidad de Santiago de Chile

⁵ Consorcio Minero Benito Juárez, Peña Colorada, S.A de C.V.

⁶ Servicio Geológico Mexicano

INTRODUCCION

El yacimiento de hierro Peña Colorada, por su naturaleza de industria básica, por su ubicación próxima al puerto de Manzanillo, por su avanzada tecnología, su estructura financiera, así como por el volumen de mineral y calidad, es sin duda el más importante de México. Por tal motivo y con el propósito de darlo a conocer se consideró conveniente incluirlo dentro de los trabajos para la segunda edición del libro de Geología Económica de México.

Peña Colorada se encuentra dentro de los yacimientos de la porción suroccidental de México ubicados en una franja paralela a la costa pacífica que comprenden parte de los estados de Baja California, Jalisco, Colima, Michoacán y Guerrero. Actualmente surte aproximadamente el 38% del mineral de hierro para la industria siderúrgica nacional.

El origen de este yacimiento es controversial por su complejidad en el emplazamiento de los cuerpos mineralizados. Se han reconocido tanto características que señalan un proceso claramente magmático, tipologías afines a los depósitos IOCG (*Iron-Oxide-Copper-Gold-deposits*), así como otras evidencias indicativas de reemplazamiento metasomático.

En el presente trabajo se describe de manera general la estratigrafía y la tectónica regional así como la estructura y la composición mineralógica del yacimiento, incluyendo análisis geoquímicos y fechamientos K-Ar obtenidos recientemente. Al final, se discuten las diferentes hipótesis propuestas para explicar el origen del yacimiento.

LOCALIZACIÓN Y ACCESO

Peña Colorada se localiza en el extremo noroccidental del estado de Colima, en el municipio de Minatitlán, y al sur del estado de Jalisco, en el municipio de Cuautitlán. Sus coordenadas geográficas son 19° 23' de latitud norte y 104° 06' de longitud al oeste de Greenwich, su altitud media es del orden de los 1,200 msnm (Figura 1). El acceso puede hacerse desde la ciudad de Colima por la carretera estatal que parte al poniente con un desarrollo de 74 km hasta Minatitlán, de ahí se continúa en la misma dirección por 6 km más para tomar la desviación a la derecha que conduce al Cerro Los Juanes y al yacimiento de Peña Colorada.

Otro acceso por tierra puede hacerse desde el puerto de Manzanillo tomando la carretera estatal hacia el noroeste, con rumbo a Comitlán y el poblado de Peña Colorada, con un desarrollo de 63 km se llega al entronque del Cerro Los Juanes.



Figura 1. Mapa de localización del yacimiento de Peña Colorada.

ESTUDIOS PREVIOS Y TRABAJOS DE MINERÍA

Los primeros trabajos de Peña Colorada (formalmente conocidos como prospecto El Mamey) fueron mencionados por Aguilera (1914) y González-Reyna (1939; 1956) quienes describieron la geología del área a nivel de reconocimiento. En los años de 1956 y 1957, la compañía Impulsora de Industrias Básicas, S.A. realizó estudios geológicos y de perforación en los cuerpos de hierro de Peña Colorada. El área quedó incluida en los estudios geológicos y geofísicos realizados durante 1962 a 1967 por el Gobierno de México y las Naciones Unidas (UNDP, *United Nations Development Program*), el cual condujo a la realización del estudio geológico-magnetométrico del yacimiento de Peña Colorada por Pineda et al. (1969). Posteriormente, el Consorcio Minero Benito Juárez - Peña Colorada, S.A. (fundado el 8 de diciembre de 1967) realizó estudios para la ejecución del proyecto de explotación, publicándose en 1970 el libro "Investigaciones Fundamentales para el Desarrollo del Proyecto".

La estratigrafía regional fue estudiada por Salazar-Mandujano (1983). La geología local y estudios geofísicos fueron llevados a cabo por el Instituto Mexicano del Petróleo en 1987, Sánchez-Quiroz y Juárez (1988), Corona-Esquivel (1993) y Corona y Alencaster (1993). Estudios por Alva-Valdivia et al. (1991), Corona-Esquivel et al. (1991), y Olivos-Rojas (1992) trataron aspectos de paleomagnetismo y mineralogía. Zürcher (1994); Zürcher et al (2001); Tritlla et al., (2003) y Corona y Henríquez (2004) realizaron estudios geológicos y geoquímicos.

Otros trabajos relacionados con la explotación del yacimiento son aquellos del Plan de Minado 1990-1994 y 1993-1997 que han sido llevados a cabo por el Consorcio Minero Benito Juárez Peña Colorada S.A., y la evaluación de reservas por Chávez-Gaytán (1993).

FISIOGRAFÍA

Fisiográficamente, el yacimiento de Peña Colorada forma parte de la Sierra del Mamey, la cual se encuentra en la subprovincia de las cordilleras de la Sierra Madre del Sur. Las formas orográficas que se observan en el área están principalmente representadas por topografía muy abrupta, sobresaliendo por sus elevaciones los cerros de Copales, La Piedra Colorada, El Peón, El Chino, El Zapote y parte de la Sierra de Manantlán. La altitud dentro del área de estudio va de los 680 m snm en el piso del Valle de Minatitlán y se eleva hasta los 1,400 m snm y 1,500 msnm en la Sierra del Mamey al NW de Minatitlán y los 1,800 msnm en el cerro Copales, situado al SE de Minatitlán.

MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

Las región ferrífera de la Sierra Madre del Sur ocupa una franja paralela a las costas de los estados de Jalisco, Colima, Michoacán y Guerrero, y está caracterizada por la presencia de una secuencia volcano-sedimentaria de edad Cretácica (120 a 90 Ma), compuesta principalmente por caliza, caliza arcillosa, limolita y conglomerado, con intercalaciones de capas de rocas volcánicas de composición andesítica. Estas secuencias, con importantes volúmenes de material volcánico y volcanoclástico, están asociadas al desarrollo de grandes estructuras volcánicas marinas que corresponden a un ambiente tectónico de arco de islas ubicado en la provincia geológica del Complejo Orogénico de Guerrero-Colima (Ortega-Gutiérrez et al., 1992). Además afloran rocas intrusivas del Cretácico Tardío-Terciario Temprano constituidas por una serie de grandes plutones distribuidos en toda la costa suroccidental de México.

TECTÓNICA

La estructura de la región forma parte de las secuencias de rocas volcánicas y sedimentarias que fueron deformadas y plegadas durante la orogenia Laramide a finales del Cretácico. En particular el área de Minatitlán-Peña Colorada, está conformada por remanentes de las secuencias plegadas que fueron levantadas y basculadas por los intrusivos del Terciario.

La estructura geológica en el área de Peña Colorada, situada en la Sierra del Mamey tiene un rumbo general NE-SW, y es discordante estructuralmente con la gran Sierra de Mamantlán, que se encuentra a pocos kilómetros al norte con una orientación NW-SE. El patrón principal de fallas y fracturas en esta región tienen una orientación NE-SW, asimismo, se puede definir otro patrón menor con orientación NW-SE. Ambos sistemas de fallas son evidentes en el yacimiento.

DESCRIPCIÓN DEL YACIMIENTO

Rocas encajonantes

Las rocas en donde se encuentran los cuerpos de mineral de Peña Colorada, consisten de una secuencia volcanosedimentaria de unos 360 m de espesor, de edad Cretácica, descrita como Formación Tepalcatepec (Corona-Esquivel y Henríquez, 2004).

De la base a la cima, los primeros 40 m corresponden a capas gruesas de caliza gris, muy compactas. Estas hacia la cima reducen su espesor y contienen intercalaciones de capas delgadas de calizas arcillosas. Sobre la unidad de calizas y en forma transicional se tiene aproximadamente 200 m de capas de espesor variable de 5 cm a más de 2 m de derrames y tobas de composición andesítica. En su parte media superior incluye lentes de caliza fosilífera y hacia la cima se encuentran horizontes de brechas constituidas por fragmentos angulosos de rocas volcánicas andesíticas y magnetita cementados por la toba.

Los últimos 120 m superiores del yacimiento los constituyen capas de conglomerado que hacia la base son muy gruesas y contienen principalmente cantos de andesita y en menor proporción de caliza gris. En una zona justo arriba de la parte central del yacimiento, el conglomerado presenta alteración hidrotermal (epidotización), vetas angostas de magnetita, sustitución parcial de clastos por magnetita, y también esta cortado por los diques andesíticos que afectan a toda la secuencia de la mina de Peña Colorada.

Cuerpos de mineral de hierro

Las obras actuales de explotación del yacimiento de Peña Colorada (Figuras 2 a la 8) permiten diferenciar cuatro cuerpos mineralizados principales.

Cuerpo central de mena o "masivo"

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 30 m, una longitud superior a un kilómetro y unos 300 m en su parte más ancha. Su forma es tabular con rumbo N50°W e inclinación 7° al SW, aproximadamente; comienza en el extremo NE en el banco 1206, se ensancha en su parte central y se bifurca hacia los extremos poniente y sur, terminando en el banco 730 (Figuras 3 y 4).

Mineralógicamente, el cuerpo principal está dominado por magnetita (>85%) y, en menor proporción, martita, hematita, pirita, piroxeno, clorita, apatita y carbonatos. La magnetita es de grano fino y se presenta bajo la forma de cristales subhedrales a euhedrales, bien desarrollados en las escasas cavidades que se encuentran en la parte alta de este cuerpo.

En la parte superior del cuerpo es frecuente observar una serie de capas o lentes delgados paralelos denominados en la mina como mineral bandeado y hacia el extremo nororiental, próximo al área de la Primorosa, el cuerpo principal de mena reduce su espesor hasta acunarse. En esta zona típicamente se observa una fuerte alteración de las tobas en donde se aloja la mineralización (Figuras 4 y 5).

Hacia su terminación suroccidental, el cuerpo masivo queda encajonado en un bloque de calizas inclinado aproximadamente 45° al W, en donde se divide en tres cuerpos de mena de hierro; cada uno de ellos tiene 3–5 m de anchura y 30–50 m de longitud, paralelos entre sí y con una disposición subhorizontal. Estos cuerpos están discordantes con la estratificación de la

caliza 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 (Figura 6).

Cuerpo inferior bandeado o segundo cuerpo de mineral diseminado

Corresponde al cuerpo de magnetita concordante con la estratificación, ubicado hacia la base de la secuencia volcanosedimentaria y muy próximo al contacto con el intrusivo que infrayace en toda el área del yacimiento. Este cuerpo de mineral diseminado se encuentra a unos 100 m abajo del masivo principal presentando el mismo rumbo e inclinación; su espesor es mayor a los 20 m con una anchura superior a los 400 m y 2,000 m de longitud.

Lo conforman una alternancia de capas delgadas de cristales de magnetita y capas delgadas de tobas andesíticas.

Cuerpos masivos tabulares, sub-verticales de La Chula

Estos cuerpos de mena de hierro quedan expuestos en el área de La Chula (Figura 5), en el extremo SW del yacimiento y en la parte inferior. Corresponde a un cuerpo macizo de forma tabular, orientado NE-SW e inclinado 70° al NW. Tiene un espesor promedio de 30 m y una longitud reconocida de 400 m, conociéndose hasta una profundidad de 50 m. Este cuerpo se encaja en las rocas volcanosedimentarias con afinidad andesítica de edad Cretácica, y presenta interdigitaciones de magnetita de orden hemimétrico a métrico al alto. Hacia su porción sur, este cuerpo se encuentra en contacto por falla con el intrusivo granítico y no se ha hallado relación genética alguna entre dicho intrusivo y el cuerpo masivo de magnetita. La magnetita que conforma este cuerpo tiene un tamaño de grano submilimétrico y el contenido de hierro varía de 55 a 60%, con 1.5% de sílice. La información de los sondeos indica la continuidad de este cuerpo a una profundidad de más de 100 m (Figura 7).

Cuerpo de brecha

Corresponde a un cuerpo sub-vertical que aflora en forma continua que en la porción inferior de La Chula, tiene una potencia de unos 25 m y hacia su porción media, en el área de Chinforinazo Sur, alcanza los 50 m (Figuras 5 y 8).

Esta brecha corta con claridad los cuerpos masivo y diseminado inferior, por lo que se considera como el último cuerpo mineralizado en haberse formado. Su estructura, morfología y mineralogía varía a lo largo de su desarrollo en vertical. Está constituida por fragmentos angulosos de tamaños muy variables que van desde menos de un centímetro hasta 50 cm de diámetro, principalmente de andesita, granodiorita, aplitas, acumulado de feldespato potásico y magnetita maciza generalmente de textura gruesa, todo en una matriz de magnetita de textura fina con pirita blanca. La mena tiene en parte apariencia hidrotermal y en parte magmática.

En la parte superior de la mina, afectando hasta el conglomerado superior, aparece un conjunto de pequeñas fracturas rellenas con cristales idiomórficos de magnetita recubiertos por magnetita, calcita, epidota primaria, analcima y zeolitas fibrosas. Estas vetillas indican la existencia de un episodio hidrotermal de baja temperatura muy tardío, probablemente relacionado con la formación y emplazamiento de la brecha.

GEOQUÍMICA DEL YACIMIENTO

En cuanto a la geoquímica de los cuerpos de mena los resultados obtenidos para las magnetitas indican una composición química semejante para las muestras de Peña Colorada, Cerro de Mercado y El Laco, Chile, la cual está caracterizada, en general, por ser ricas en V y pobres en Ti y con presencia de Al, Mg y Si. Estas características geoquímicas de las magnetitas de Peña Colorada y de Cerro de Mercado, son semejantes a las presentadas por Nyström y Henríquez (1994) para yacimientos chilenos y de Suecia del tipo Kiruna, y similares a las nelsonitas pobres en Ti de Philpotts (1967).

Los diagramas Cl-SO₃-F y Sr-Y elaborados con los resultados de las apatitas, señalan que todas ellas son fluor-apatita y que se ubican en el campo de las rocas máficas y menas de hierro magmáticas. Finalmente, los valores obtenidos para las piroxenas de Peña Colorada, indican que todas son del tipo salita, al igual que las de Cerro de Mercado (Corona-Esquivel y Henríquez 2004).

Los resultados geoquímicos señalados anteriormente, permiten resaltar la similitud en composición de las muestras de magnetita, apatita y piroxeno, provenientes de diferentes yacimientos, con ubicación geográfica y edades también muy diferentes.

EDAD DEL DEPÓSITO

Las únicas edades que existen de la mena del yacimiento corresponden a dos muestras fechadas mediante el método K-Ar (Tritilla et al., 2003). Una primera muestra, que proviene de una de las episienitas del cuerpo inferior diseminado, arrojó una edad de 65.3 ±1.5 Ma; la segunda, que corresponde al cuerpo principal de magnetita, aportó una edad de 57.3 ±2.1 Ma. Por consiguiente, ubicando la edad de mineralización en la escala de los tiempos geológicos de Palmer y Geissan (1999), estas edades se sitúan respectivamente en el Cretácico Tardío-Paleoceno y en el Paleoceno medio, respectivamente.

La edad K-Ar obtenida a partir del análisis de los feldespatos potásicos del cuerpo diseminado inferior (65.3±1.5 Ma) es similar, considerando el error, a la mayoría de las edades K-Ar o Rb-Sr obtenidas hasta la fecha para el batolito de Manzanillo, así como a la edad reportada por Pantoja-Alor (1983) para la roca encajonante del depósito de hierro de Aquila, Michoacán. Así, la edad para el cuerpo diseminado inferior de Peña Colorada, sugiere que la actividad magmático-hidrotermal que dió origen a este cuerpo está ligada con la etapa de enfriamiento del batolito de Manzanillo. Si, como sugieren Calmus et al. (1999), el batolito de Manzanillo sufrió un rápido enfriamiento, esto debió de conllevar una importante circulación de fluidos a nivel cortical, por lo que el fechamiento del cuerpo diseminado inferior está muy posiblemente reflejando un evento hidrotermal tardío con respecto al emplazamiento y enfriamiento del plutón infrayacente.

En cambio, las esférulas constituidas por feldespato potásico plumoso del cuerpo principal presentan una edad sensiblemente menor (57.3±2.1 Ma) que la del cuerpo diseminado inferior. Esta edad coincide con las de algunos de los cuerpos ígneos de composición básica fechados en el estado de Colima por Murillo y Torres (1987), y reportados por Schaaf et al. (1991). La diferencia de edades entre el cuerpo diseminado inferior y el cuerpo masivo superior (o cuerpo principal) de Peña Colorada, aún considerando el error, es lo suficientemente significativa como para proponer que estos cuerpos se formaron en momentos diferentes (Tritilla, et al., 2003).



Figura 2. Vista panorámica del yacimiento Peña Colorada.



Figura 6. Cuerpos laterales encajonados en caliza.



Figura 3. Cuerpo central de mena.



Figura 7. Cuerpo tabular subvertical, area La Chula.



Figura 4. Extremo NE del yacimiento en donde se observa el acuñaamiento del cuerpo principal y una intensa alteración hidrotermal.



Figura 8. Cuerpo de brecha mineralizada.

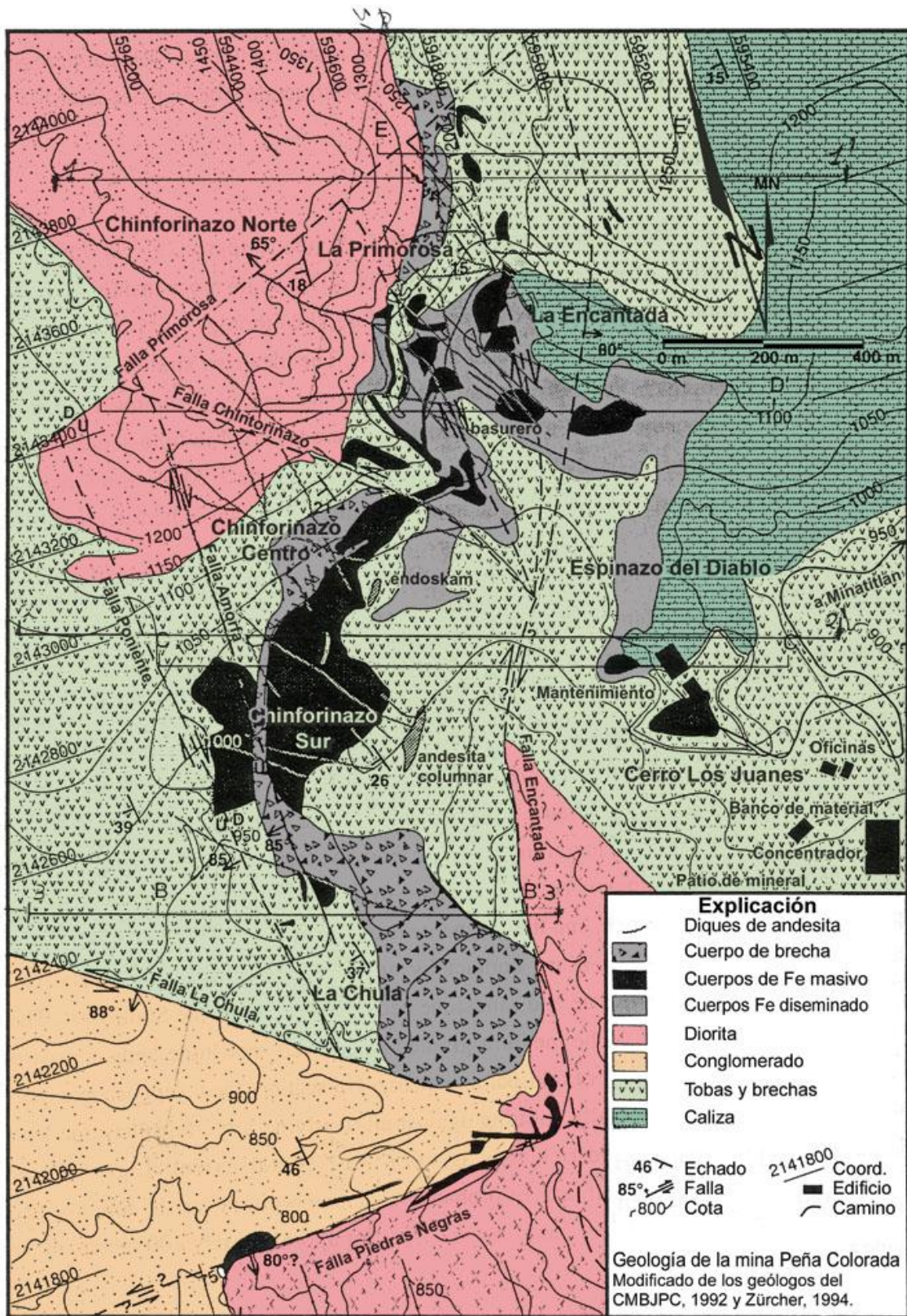


Figura 5. Mapa geológico del yacimiento de Peña Colorada, Colima. (Después de Corona-Esquivel y Henríquez, 2004).

ORIGEN DEL YACIMIENTO

Si bien el yacimiento de Peña Colorada es en la actualidad uno de los más importantes del país, su origen ha sido muy debatido y no parece apegarse en forma definitiva a un solo modelo.

Pineda et al., (1969), menciona que tomando en consideración las características del yacimiento, tanto en lo que se refiere a su composición mineralógica, forma y actitud, como a sus relaciones con la roca encajonante, se hace evidente que el origen del yacimiento está íntimamente relacionado con la intrusión de un magma, en rocas sedimentarias preexistentes, de tipo principalmente calcáreo; es decir que se trata de un yacimiento de tipo metasomático de contacto. Sin embargo, presenta ciertas peculiaridades que no permiten catalogarlo en los ejemplos típicos.

Zürcher (1994) y Zürcher et al. (2001), en base a estudios geoquímicos reconocieron diferentes etapas de metamorfismo y halos de alteración e interpretaron este depósito como de tipo *skarn* de Fe clásico, si bien concluyen que algunos de sus resultados son de difícil explicación, dejando muchos interrogantes abiertos.

Por otra parte Tritlla et al. (2003) indican que, la distribución de los cuerpos mineralizados junto con sus edades absolutas, sus relaciones de corte y sus características texturales y mineralógicas (incluyendo la presencia de nelsonitas pobres en Ti) hacen de Peña Colorada un depósito afín a los de tipo IOCG (Iron-Oxide-Copper-Gold deposits), descritos en Olympic Dam y Stuart Shelf (Australia), Kiruna (Suecia), Bayan Obo (China), y Missouri (EUA).

Corona-Esquivel et al. (2001) y Corona-Esquivel y Henríquez (2004), en contraposición con los autores anteriores, proponen el origen de este depósito, al menos en parte, mediante procesos magmáticos en relación con la extrusión de magmas de mena de hierro que tuvo un largo período de actividad dando lugar a la formación de los diferentes cuerpos principales del yacimiento, mismos que han sido descritos como: cuerpo inferior bandeado, filones de magnetita, cuerpos laterales, cuerpo central de mena y cuerpo de brecha.

Estos mismos autores señalan que la alta temperatura a la que fueron emplazados los magmas de mena de hierro, la que oscila entre 800 y 1200 ° C, produjo la alteración que se observa principalmente hacia la parte superior del yacimiento; asimismo, la subsecuente actividad hidrotermal que acompañó al emplazamiento de las menas de hierro, es un factor que potencialmente puede removilizar al mineral para dar origen a las escasas vetas angostas de magnetita que se presentan en la porción superior del yacimiento.

SITUACIÓN ACTUAL

Reservas y leyes

Se estima que el yacimiento de Peña Colorada tuvo originalmente más de 350 millones de toneladas de hierro, sin embargo gran parte de ese mineral fue erosionado, dando lugar en parte, a depósitos de piamonte como el de Las Pesadas que también ha sido objeto de explotación por varios años.

En la actualidad Peña Colorada cuenta con reservas del orden de los 200 millones de toneladas de Fe y representa en México el depósito más favorable para su explotación, tanto por su ubicación geográfica como por la estructura y continuidad de los cuerpos de mineral.

La ley media encontrada en los análisis para todo el yacimiento es la siguiente: Fe, 35%; P, 0.005%; S, 0.45%; SiO₂ 2.3%

Preparación y concentración de los minerales

Este proceso comprende varias etapas, en la primera de explotación en bancos a cielo abierto se utilizan perforadoras rotatorias para hacer los barrenos que se cargan con dinamita. Una vez realizada la tronada, el material estéril se lleva a los terreros y el mineral de hierro es recogido con una pala eléctrica de 20 m³ y tres palas mecánicas de 13 m³ de cucharón, las cuales cargan a camiones con capacidad de 120 y 170 t.

Estos llevan al mineral a una preconcentradora que separa a los fragmentos con tamaño menor a 200 mm, que no necesitan ser triturados. El mineral preconcentrado pasa a los molinos en donde se obtiene una pulpa la cual es sometida a un proceso de concentración con lo que la ley de Fe total se eleva hasta un 68.5 %.

La pulpa obtenida es transportada a la planta peletizadora por medio de dos ferroaductos de 44.5 km de longitud y 178 y 245 mm de diámetro interno, los cuales tienen una capacidad de transporte de 190 y 380 t por hora.

DISCUSIÓN

Peña Colorada es el yacimiento más grande de los conocidos en la franja ferrífera que comprende a los estados de Jalisco, Colima, Michoacán y Guerrero, dentro de los que se encuentran los yacimientos de La Huerta, El Encino, Cerro Nahuatl, Aquila y Las Truchas entre otros.

Todos estos yacimientos presentan características similares en cuanto a su mineralogía, estructura y ambiente tectónico, también todos ellos están asociados a rocas volcánicas y en las inmediaciones de ellos se encuentran cuerpos intrusivos. Sin embargo, se desconoce el porqué en esta región del circumpacífico hubo mayor concentración de Fe, y mediante que procesos regionales y a partir de que rocas fue concentrado.

RECONOCIMIENTOS

El presente estudio fue financiado por el proyecto de investigación PAPIIT, UNAM, número IN-123202-2, y por el Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México, en diversos proyectos de carácter interno. El Consorcio Minero Benito Juárez Peña Colorada, en especial los ingenieros Mario Ruiz Sandoval, Miguel Angel Ramos y Roberto Villalobos, dieron las facilidades para el trabajo en la mina y el hospedaje en la unidad. La adaptación de las figuras fueron procesadas por Federico Díaz Máfara.

REFERENCIAS

- Aguilera, J. G., 1914, Informe de los criaderos de fierro del Mamey: Tipografía y Litografía de Müller Hnos., México. 14 p.
- Alva-Valdivia, L., Olivos-Rojas, O, Urrutia-Fucugauchi, J., y Böhnel, H., 1991, Paleomagnetismo, magnetometría, magnetismo de rocas e identificación de minerales opacos en el distrito ferrífero de Peña Colorada, estado de Colima: Convención sobre la Evolución Geológica de México, 1a, Pachuca, Hidalgo., México, Memoria, p. 10-11.
- Calmus, T., Poupeau, G., Bourgois, J., Michaud, F., Mercier de Lépinay, B., Labrin, E., y Azdimousa, A., 1999, Late Mesozoic and Cenozoic thermotectonic history of the Mexican Pacific margin (18 to 25°N): new insight from apatite and zircon fission-tracks analysis of coastal and offshore plutonic rocks: Tectonophysics, v. 306, p. 163-182.
- Chávez-Gaitán, 1993, Plan de Minado 1990-1994: Consorcio minero Benito Juárez Peña Colorada, S.A., 116 p. (inédito).

- Corona-Esquivel, R., 1993, Modelo de yacimientos de hierro y minerales asociados de Ag, Pb, Zn, Cu y Au en la porción suroccidental de México: Asociación de Ingenieros de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México, XX Convención Nacional, Memorias, p. 105-111.
- Corona-Esquivel, Rodolfo, y Alencaster, Gloria, 1993, Rudists from the Peña Colorada iron mine and La Minita sulfide deposit, Colima and Michoacán States, SW Mexico, in Gloria Alencaster, y B.E. Buitrón, (eds.), Proceedings of the Third International Conference on Rudists: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, México, D.F., p. 21 (resumen).
- Corona-Esquivel, Rodolfo, y Henríquez, Fernando, 2004, Modelo magmático del yacimiento de hierro Peña Colorada, Colima, y su relación con la exploración de otros yacimientos de hierro en México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín 113, 97p.
- Corona-Esquivel, Rodolfo; Morales-Isunza, Azucena; y Mendoza-Díaz, Víctor, 1991, Mineralogía del yacimiento de hierro Peña Colorada, estado de Colima: Convención sobre la evolución geológica de México y Primer Congreso Mexicano de Mineralogía, Pachuca, Hidalgo, p. 37-39.
- Corona-Esquivel, R., Tritlla, J., Camprubí, A., Centeno, E., Reche, J., Morales, P., y Cienfuegos, E., 2001, New data on the origin of the Peña Colorada iron deposit (Colima, Mexico): orthomagmatic vs. *skarn*, in A. Piestrzynski, et al. (eds.), Mineral Deposits at the beginning of the 21st century: Lisse, Swets and Zeitlinger Publishers, p. 889-892.
- González-Reyna, Jenaro, 1939, Los criaderos ferríferos de El Mamey, Col.: Revista de Industria, México. v. V., no. 26 p. 5-17.
- González-Reyna, Jenaro, 1956, Riqueza Minera y Yacimientos Minerales de México: Banco de México S.A., Departamento de Investigaciones Industriales, 3ª Edición, 497 p.
- Murillo, M., G., y Torres, V., R., 1987, Mapa petrogenético y radiométrico de la República Mexicana: Instituto Mexicano del Petróleo, Exploración, Proyecto C-2012, 78 p. (reporte interno no publicado).
- Nyström, J.O., y 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, p. 820-839.
- Olivos-Rojas, Fabiola, 1992, Magnetismo de rocas y minerografía en el yacimiento de hierro Peña Colorada: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, tesis de licenciatura, 61 p. (inédita).
- Ortega-Gutiérrez, Fernando, Mitre-Salzar, L.M., Roldán-Quintana, Jaime, Aranda-Gómez, J.J., Morán-Zenteno, Dante, Alaniz-Álvarez, S.A., y Nieto-Samaniego, Á.F., 1992, Texto explicativo de la quinta edición de la carta geológica de la República Mexicana, escala 1:2,000,000: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología; y Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, Consejo de Recursos Minerales, 74 p.
- Palmer, A.R., and Geissman, J., 1999, Geologic Time Scale: Boulder, Geological Society of America, product code CTS004.
- Pantoja-Alor, J., 1983, Geocronometría del magmatismo Cretácico-Terciario de la Sierra Madre del Sur: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, v. 44, núm. 1, p. 1-20.
- Philpotts, A.R., 1967, Origin of certain iron-titanium oxide and apatite rocks: Economic Geology, v. 62, p. 303-315
- Pineda-Ramírez, A., López-Mendoza, H., y Peña-Buendía, A., 1969, Estudio geológico-magnetométrico de los yacimientos ferríferos de Peña Colorada, Municipio de Minatitlán, Colima: Consejo de Recursos Naturales No Renovables, Boletín 77, 44p.
- Salazar-Mandujano, S., 1983, Evolución geológica-petrolera de la cuenca Jalisco-Colima: México, D.F., Petróleos Mexicanos, IGPR-231, informe técnico (inédito).
- Sánchez-Quiroz, S. y Juárez, A., 1988, Modelo geológico para exploración de yacimientos de Fe en la Sierra Madre del Sur: HYLISA, S.A. de C.V., reporte interno, 208 p. (inédito).
- Schaaf, P., Kolher, H., Muller-Sohnius, D., von Dracch, V., y Frank, M.M., 1991, Nd and Sr isotopic data on W-Mexican granitoids—evidence for different magma source and implications for tectogenesis: EOS, Transactions of American Geophysical Union, v. 72, no. 44, p. 560.
- Tritlla, J., Camprubí, A., Centeno, E., Corona-Esquivel, R., Iriondo, A., Sánchez-Martínez, S., Gasca-Durán, A., Cienfuegos-Alvarado, E. y Morales-Puente, P., 2003, Estructura y edad del depósito de hierro de Peña Colorada (Colima): un posible equivalente Fanerozoico de los depósitos de tipo IOCG: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 20, núm. 3, p. 182-201.
- Zürcher, L., 1994, Paragenesis, elemental distribution and stable isotopes at the Peña Colorada iron *skarn*, Colima, México: Tesis de Maestría, University of Arizona, Tucson, 54 p. (inédita).
- Zürcher, Lukas; Ruiz, Joaquín; y Barton, Mark, 2001, Paragenesis, elemental distribution, and stable isotopes at the Peña Colorada iron *skarn*, Colima, Mexico: Economic Geology, v. 96, p. 535-557.