

Yacimientos de oro en Michoacán

José E. Montiel Escobar^{1,2}, Pedro Corona Chávez¹ y Juan Carlos Salinas Prieto³

¹Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, UMSNH; ²Posgrado en Geociencias y Planificación del territorio, UMSNH; ³Unidad Académica de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Guerrero.

Resumen

Se presenta una revisión de los estudios metalogenéticos de los yacimientos auríferos a nivel mundial, en México y en particular en el estado de Michoacán. Los estudios geológicos de las localidades auríferas, se contextualizan desde el punto de vista de su distribución geográfica y tipología de yacimiento; se consideran además los elementos económicos, morfología, mineralogía y sus relaciones genéticas. Con base en su ocurrencia y en sus características se proponen franjas metalogenéticas auríferas, las cuales podrían ser usadas como guías de exploración minera. En particular, se describe la existencia de los yacimientos tipo “oro orogénico”, ya que representan una nueva tipología para el suroccidente de México y Michoacán.

Palabras clave: depósitos de oro, metalogenia, oro orogénico.

Abstract

We present a review of the metalogenetic studies of gold deposits in the world, Mexico and Michoacán. Geological studies of the auriferous deposits were setting from their geographical distribution, typology and considering the economic elements, morphology, mineralogy and genetic relationships. Based on their occurrence and characteristics we proposed different metalogenetic belts, which

could be used as guides for mineral exploration. In particular, we have described the ore deposits type "orogenic gold", as they represent a new potential typology for the southwest of Mexico and Michoacán.

Keywords: ore deposits, metallogenic, orogenic gold.

Introducción

El oro ha fascinado a la mayoría de las culturas por su color, inmutabilidad y facilidad de fabricación de objetos exquisitos. Debido su rareza el oro ha sido históricamente utilizado como moneda de cambio. Así como la existencia de un cierto volumen potencial y real, ha significado de manera inexorable riqueza y estabilidad financiera en cualquier nación del mundo. Sin embargo, para la mayor parte de la sociedad es desconocida la historia de su exploración y descubrimiento en la corteza terrestre. De hecho, resulta interesante resaltar que la mayor parte del volumen de oro extraído en la historia, se refiere principalmente a algunos descubrimientos relevantes realizados en los últimos 160 años, debido esencialmente a los importantes avances científicos y tecnológicos que han tenido los métodos de exploración y beneficio.

La exploración aurífera se basa en la concepción de los procesos geológicos y geoquímicos que han concentrado el oro con otros elementos preciosos (e.g. plata, plomo, etc.). A partir de la misma exploración, se plantean algunos modelos genéticos para clasificar los depósitos minerales auríferos, como veremos adelante, se basan en su contexto geológico y en la proporción que muestran su asociación con otros metales. Sin embargo, las asociaciones de elementos químicos y minerales con diferentes entornos geológicos, si bien pueden ser agrupados por sus diferencias composicionales, la distribución espacial de los depósitos de oro en la corteza terrestre aún no ha sido totalmente entendida (Williams-Jones *et al.*, 2009).

Los yacimientos de oro se pueden encontrar en concentraciones diversas de acuerdo a su tipología geológica y estructural (Walshe y Cleverley, 2009). En México y particularmente en Michoacán, se reúnen condiciones geológicas y mineralógicas esenciales para la ocurrencia de depósitos de plata y oro, como lo demuestran los descubrimientos de la época de la colonia y en el siglo XIX. De este modo, México ha sido principal productor de plata en el mundo. Sin embargo, mientras los depósitos argentíferos generalmente corresponden a la revaloración de antiguos distritos mineros, por ejemplo el Distrito Minero de Tlalpujahua (Montiel-Escobar, 1999), el descubrimiento de nuevos yacimientos de oro y plata se ha logrado por la

aplicación de técnicas modernas y en particular, con la interpretación de nuevos modelos metalogenéticos (Montiel-Escobar, 2003).

En este trabajo se hace una revisión y con base en sus características geológicas y en su tipología, se proponen franjas metalogenéticas auríferas en el estado de Michoacán. La distribución y el uso de criterios metalogenéticos podrían ser usadas como guías de exploración minera.

Importancia económica del oro a nivel mundial

La importancia del oro como unidad de intercambio y riqueza en el mundo, por antonomasia se refiere a una evolución tecnológica y científica. La necesidad de obtener oro puro y garantizar su calidad, alrededor de 1200 a. C. llevó a los egipcios a desarrollar los procesos de la amalgamación y copelación. Las primeras monedas de oro fueron producidas en el siglo VII a. C. en el antiguo reino de Lidia, que forma parte de la Turquía moderna. La minería y metalurgia tuvieron un desarrollo importante hacia 550 a. C. En práctica todos los pueblos antiguos ya acuñaban sus propias monedas de oro. Así, los romanos propusieron la unificación de una moneda conocida como el "Aurus" (BCV, 2010).

Período	África	Asia	Europa	América	Oceanía
4500-2100 a. C.	730	2645	400		
2100-1200 a. C.	2645	SD	400		
1200-50 a. C.	1415	895	1810		
50-550 d. C.	320	540	1710		
500-1492 d. C.	838	903	571		
1492-1892 d. C.	1579	1116	2647	7665	3462

<http://200.74.197.135/orobcv/>

Como se puede observar, la producción histórica de oro en el mundo (Tabla 1), muestra un importante incremento en la producción a partir del descubrimiento de América. Otro incremento exponencial se debió a la implementación del proceso de recuperación por cianuración o disolución del oro por cianuro, propuesto por MacArthur-Forrest en 1887. Se estima que la producción mundial de oro hasta 2008 ha sido de 164,000 t y que el 75% de este volumen ha sido extraído a partir de 1900,

con una producción media anual de 2466 t, disminuyendo hasta nuestros días (USGS, 2009).

Los volúmenes de extracción de oro recientes en el mundo nos muestran que se tiene una producción anual de 2,767 t. (Figura 1). Como principales productores están Sudáfrica (11,1%), EUA (10,5 %), Australia (10,2 %), China (19,7 %), Perú (8,2 %), Indonesia (6,8 %) y Rusia (6,2 %). Junto con la producción de otros países, se estiman reservas del orden de 54,000 t. (USGS, 2009).

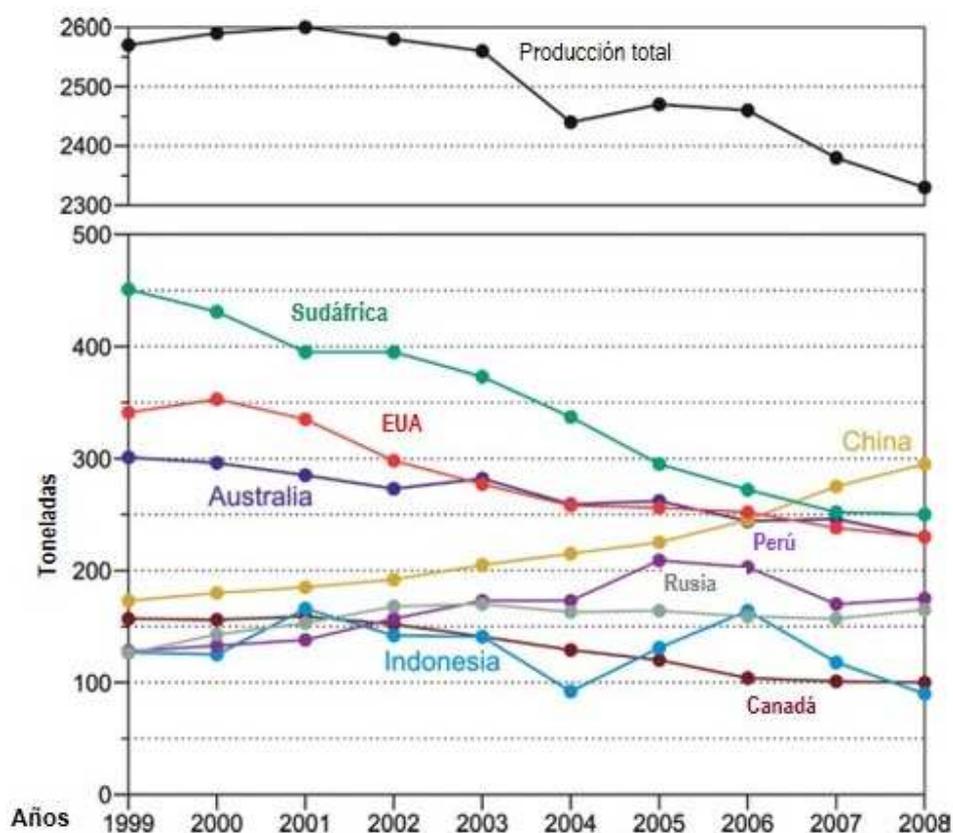


Figura 1.- Tendencias de la producción 1999-2008. Otras regiones con producción colectiva superior a 100 toneladas por año incluyen los Estados de África Occidental Shield (Ghana, Malí, Guinea), los Andes (Chile, Colombia, Argentina, Perú) y Asia Central (Uzbekistán, Kazajstán, Kirguistán). (USGS 2009).

Por su parte, aunque México no figura entre los principales productores de oro, su producción se ha incrementado sustancialmente para llegar a 11,410 kg de oro anuales, donde los estados con mayor producción son Zacatecas, Sonora,

Chihuahua, Durango y Guerrero. El estado de Michoacán se encuentra en el lugar 17 a nivel nacional con una producción de 27 kg al año de 2013 (según datos del Servicio Geológico Mexicano, 2014).

Es oportuno señalar que a partir del aparente agotamiento de los “yacimientos expuestos” a finales del siglo XX, las técnicas de exploración han cambiado radicalmente. Actualmente, su búsqueda se proyecta por métodos indirectos de alto costo (e.g. geofísica), hacia el descubrimiento de grandes volúmenes en el subsuelo, incluso a más de 1 km de profundidad. México no ha sido la excepción y con éstas técnicas se han logrado los recientes descubrimientos de grandes yacimientos de oro en el norte del país.

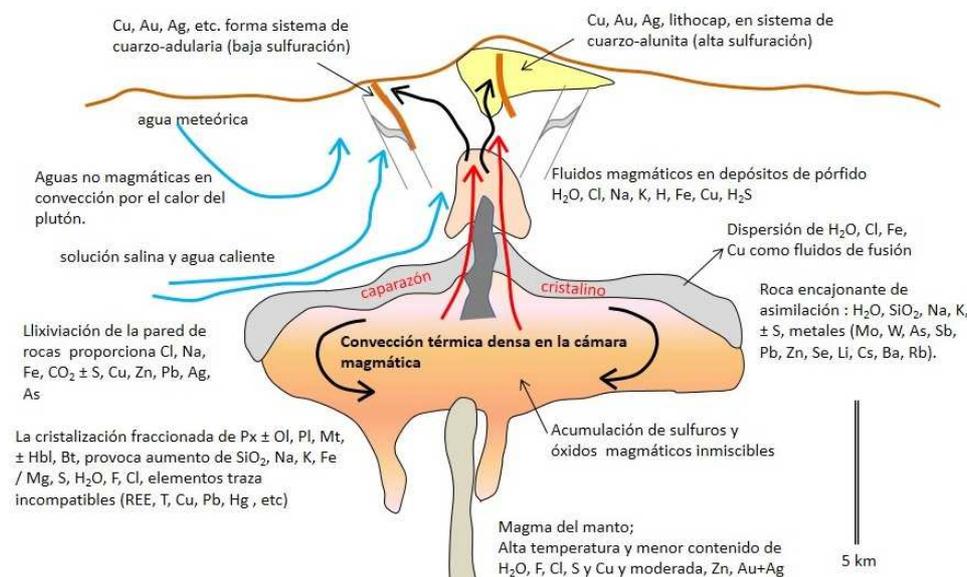


Figura 2.- Figura 2.- Construcción de una cámara magmática a profundidades de 6-12 km y entrada de magma máfico de profundidad. Los fluidos hidrotermales penetran el pórfido hasta un medio epitermal. (Modificado de Tosdal M., Dilles H., y Cooke R. 2009). Abreviaturas minerales: Bt, biotita; Hbl, hornblenda; Mt, magnetita; Ol, olivino; Pl, plagioclasa; Px, piroxeno.

Tipología de los depósitos de oro y elementos metálicos asociados

De acuerdo con la tipología utilizada a nivel mundial, los yacimientos de oro se pueden clasificar en: i) tipo hidrotermal Ag-Au; ii) tipo pórfido de Cu-Au; iii) tipo skarn de Au; iv) tipo magmático Fe-Cu-Au (ó IOCG); y v) tipo oro orogénico (Walshe y

Cleverley, 2009). Sin embargo, es oportuno señalar que las diferentes tipologías no se refieren a ambientes aislados e independientes, por el contrario es común encontrarlos asociados entre sí y relacionados en diferentes etapas de un mismo proceso magmático-hidrotermal (Sillitoe, 2003). Por ejemplo, los yacimientos IOCG (Iron Oxide Copper Gold por sus siglas en inglés), presentan una asociación mineralógica, estructural y de menas muestran una afinidad genética espacial \pm temporal con depósitos de tipo pórfido-hidrotermal durante la evolución de un mismo proceso magmático (Figura 2). La asociación (paragénesis) mineral aurífera y volumen potencial dependen de un cierto gradiente termodinámico (e.g. Eh y Ph). La relativa complejidad de la paragénesis mineral de cada yacimiento aurífero sugiere por lo tanto, un estudio geológico y geoquímico geológico cuidados para cada región y localidad con un cierto potencial económico.

Estudios de metalogénesis en México

La distribución de los elementos tipológicos de los depósitos minerales generalmente se integra en una carta metalogenética. Los antecedentes de estudios metalogenéticos en México se remontan a la carta publicada por Antonio del Castillo en 1893. Posteriormente con base en el acuerdo de cooperación con la “Comisión de la carta geológica, tectónica y metalogenética del mundo” la Universidad Nacional Autónoma de México y el Consejo de Recursos Minerales, elaboran la Carta de Provincias Metalogenéticas de la República Mexicana bajo la dirección del Ing. Guillermo P. Salas en 1975. Desde entonces solamente se han presentado estudios locales en minas importantes del país y en algunos casos de interpretación regional que refieren las distribución de los yacimientos minerales (Damon *et al.*, 1981; Campa y Coney 1983; Montiel *et al.*, 2007; Montiel-Escobar 2008, 2013), así como algunos ensayos de compilación en Sonora (Pérez Segura, 1985); y en Michoacán (Ostroumov y Corona, 1999; Montiel y Corona 2015 en prensa).

El análisis de la diversidad de los yacimientos minerales en el país (figura 3), ha mostrado que su distribución está ciertamente controlada por dos aspectos fundamentales: por un lado el tipo de basamento litológico (Campa y Coney 1983), por otro lado, muestran una estrecha relación con las fallas o límites tectonoestratigráficos, como en el caso del Terreno, Guerrero en cuyo borde oriental se asientan los distritos mineros auro-argentíferos de Oaxaca, Pachuca, Querétaro, Guanajuato, Zacatecas, Durango, Sinaloa y Baja California.

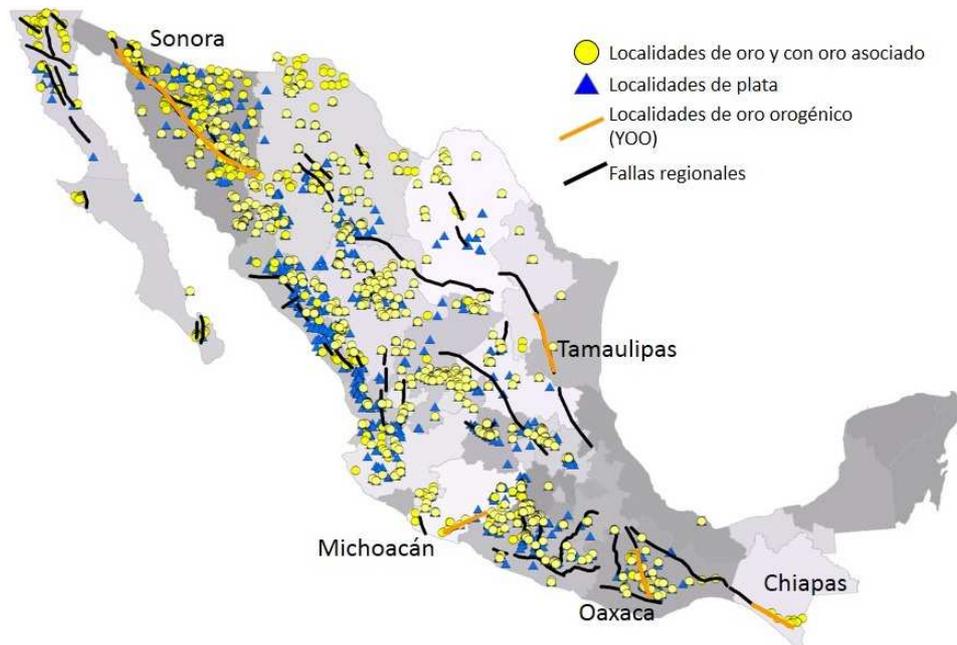


Figura 3.- Mapa esquemático de la distribución en México de las localidades mineras de oro como elemento principal y con oro como elemento asociado y las localidades de plata, así como las estructuras asociadas a yacimientos de Oro Orogénico (YOO), Montiel-Escobar 2013.

Metalogénesis de los depósitos de oro en Michoacán

Aunque algunos estudios metalogenéticos del Estado de Michoacán han sido revisados y publicados por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo en la Carta Geológica del Estado de Michoacán (Ostroumov y Corona 1999), en este caso haremos referencia específica a la distribución de las paragénesis auríferas en Michoacán.

A partir de trabajos previos y de la compilación de la base de datos del Servicio Geológico Mexicano (www.sgm.gob.mx/; 03/2014), se han seleccionado diversas paragénesis auríferas en Michoacán: i) Au; ii) Ag-Pb-Zn; iii) Fe; iv) Fe-Cu; v) Au-Fe-Cu y vi) Ba, Sb y Hg. En la figura 4, las asociaciones de oro se muestran proyectadas sobre la distribución de los cuerpos magmático-plutónicos de Michoacán. Con base en su tipología y sus relaciones espacio-temporales el territorio michoacano se ha subdividido en 5 franjas auríferas: (Montiel-Escobar, 2013; Montiel y Corona, 2014 y 2015) que serán descritas a continuación.

Yacimientos de oro en Michoacán

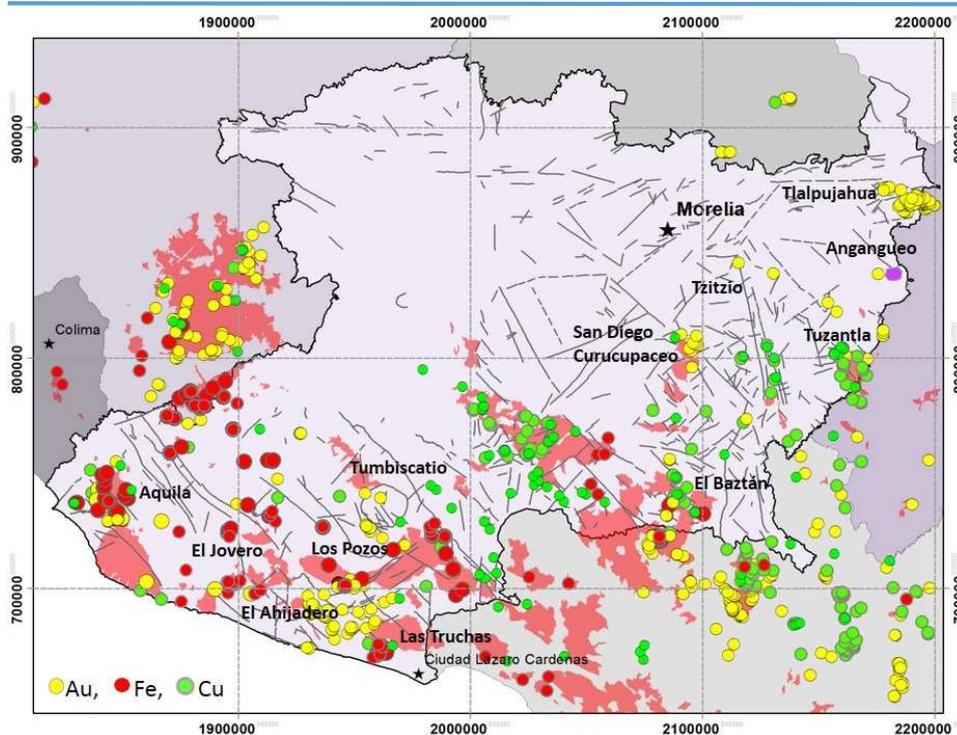


Figura 4.- Mapa mostrando la distribución de las localidades de oro, hierro y cobre, lineamientos principales (líneas en gris) y geometría de los cuerpos intrusivos (polígonos en rojo tenue) del estado de Michoacán (Montiel y Corona, 2015).

Yacimientos Epitermales Au (Ag) San Diego Curucupaceo–Tumbiscatio (Jurásico <140 Ma)

En San Diego Curucupaceo se tienen vetas epitermales con filones de relleno de fisura de cuarzo auro-argentífero, encajonadas en una secuencia de areniscas y andesitas afectadas por el batolito granodiorítico jurásico de San Diego Curucupaceo. La mineralogía de las vetas es principalmente cuarzo y probable feldespato, con vetillas y diseminación fina de pirita. También se detectan arsenopirita, esfalerita, galena, calcopirita, oro y plata nativos. La explotación ha sido a pequeña escala y actualmente se encuentra en etapa de evaluación.

La zona mineralizada de Tumbiscatio está constituida por vetas y vetillas de cuarzo emplazadas en la secuencia metamórfica de los Esquistos, Arteaga, con mayor incidencia en el borde del intrusivo de Tumbiscatio y edad probable en el intervalo de 157 a 100 millones de años, correspondiente al periodo geológico del Jurásico

superior al Cretácico inferior (160 a 90 Ma). La mineralogía consiste de cuarzo-pirita masivos, formando cordones que rellenan fracturas de hasta 0.5 milímetros y vetillas de hematita de forma subeuhedral. Se tiene oro nativo en finas laminillas asociadas con pirita y relleno de vetillas. La zona se encuentra inactiva (Torreblanca *et al.*, 2003).

Yacimientos Ferríferos magmáticos y tipo IOCG Aquila-Las Truchas (Paleoceno-Eoceno)

Estos yacimientos se asocian con la distribución de las rocas plutónicas en el suroccidente de Michoacán. Sus relaciones petrográficas, estructurales, tectónicas, así como su relación genética con la distribución de los yacimientos minerales, son discutidas por Corona-Chávez *et al.*, (2007) y Montiel-Escobar (2009). Los registros de edades isotópicas y estudios petro-geoquímicos, demuestran al menos tres grandes grupos de estos intrusivos: (i) Los batolitos de Jilotlán-Tepalcatepec-Aquila; (ii) Los cuerpos de Maruata-Zihuatanejo-Arteaga; y (iii) Los batolitos de la Huacana-Huetamo-Vallecitos. Los cuerpos de Jilotlán, Coalcomán, Aquila y Lázaro Cárdenas están relacionados con los grandes depósitos metasomáticos de Fe-Cu, mientras que en los cuerpos leucocráticos de la Costa, no han sido aún encontrados depósitos económicos importantes. Por su parte, los cuerpos de Uruapan-La Huacana-Vallecitos están relacionados con los históricos yacimientos de brechas cupríferas (Cu±Mo), así como a una serie de vetas y sistemas stockwork con mineralización de Ag-Pb-Zn±Cu.

En la región de Aquila-Tizupa, Aguilar (2012) y Castro (2013), los yacimientos se caracterizan por asociarse con los plutones y en particular con cuerpos gabróticos con los yacimientos de hierro y llegan a definir que el origen de la franja metalogenética ferrífera, se puede dividir en tres subzonas: *inyección magmática*, *magmático-metasomático* y *magmático-hidrotermal*. Estas franjas conservan una orientación NW-SE, sensiblemente paralelas a la línea de costa. De acuerdo a la evolución de estos plutones, a la mineralogía y los mecanismos de emplazamiento de las menas de hierro, así como a sus relaciones estructurales geoquímicas y genéticas, la mineralización muestra grandes similitudes a los depósitos tipo IOCG (Hitzman *et al.*, 1992, Tritlla *et al.*, 2003, Corona-Esquivel *et al.*, 2007).

La franja que muestra depósitos de inyección magmática se localiza al norte de la franja, desde la región de Villa Victoria, los depósitos de La Colomera, hasta la zona de la mina La Guayabera. Los cuerpos de hierro se presentan en forma tabular, bajo forma de dique, con una mena principalmente de magnetita. La zona de origen

magmático-metasomático es rica en hierro con importantes manifestaciones de oro y es actualmente la más importante del punto de vista económico. Se localiza en zonas de contacto y estructuras de metasomatismo y de reemplazamiento, de formas irregulares más o menos tabulares. La franja que muestra los depósitos del origen magmático-hidrotermal ha sido poco estudiada con técnicas modernas, limitando solamente a evaluaciones superficiales poco efectivas para descubrir grandes volúmenes de mineral de hierro. Las zonas prospectivas de esta franja, se extienden en forma paralela a la línea de la costa, desde el sur el de la mina de Aquila hasta las inmediaciones del poblado de Maruata. Se asocian a fases tardías de actividad hidrotermal con contenidos de óxidos y sulfuros enriquecidos con minerales polimetálicos (Au, Cu). En la región de Las Truchas las manifestaciones ferríferas principales son Volcán y Truchas, Tortugas, Mango y Santa Clara, localidades en donde se han explotado cuerpos irregulares.

Depósitos de oro orogénico (YOO) El Ahijadero-Los Pozos (Post-Eoceno)

En la región de Los Pozos, al occidente de Arteaga, se estudió la Zona de Cizalla El Muleto (ZCM). Esta región permite proponer un modelo de evolución estructural de deformación dúctil-frágil del Eoceno tardío, con zonas de milonitas de orientación NE-SW y con una cinemática lateral izquierda, que afectan principalmente al batolito de Arteaga y a la secuencia metamórfica de los Esquistos Arteaga. La estructura es limitada al NE por el sistema de fallas normales oligocénicas de la depresión de Tepalcatepec. Sin embargo, las características de rompimiento cortical sugieren que la cizalla se extiende aún más hacia el NE y SW. Así mismo, se determinó que las manifestaciones auríferas en las minas La Michoacana, La Angélica, La Fortuna y la región del Ahijadero, están asociadas a la ZCM (Montiel *et al.*, 2006). Las manifestaciones de oro se concentran en forma de vetas sensiblemente paralelas a la zona de cizalla. Se identifican dos procesos mineralizantes: i) emplazamiento hidrotermal-metasomático y ii) tectónica asociada con removilización y concentración mecánica de mineral en las etapas tardías y post-cinemáticas de la cizalla, características que sugieren una similitud con los depósitos de oro orogénico (Groves *et al.*, 1998. Goldfarb *et al.*, 2001. Montiel-Escobar 2013).

Yacimientos tipo skarn-metasomatismo Cu-Fe-Au El Baztán (Eoceno-Oligoceno)

En Michoacán se han identificado pocos yacimientos económicos de tipo skarn. En la región de Huetamo se encuentra la mina El Baztán en un entorno de rocas

vulcanosedimentarias cretácicas y el emplazamiento de intrusivos oligocénicos (Sabanero *et al.*, 1997), a los que se asocian cuerpos de metasomatismo de contacto, vetas y vetillas ricas en Cu-Au-Ag. De acuerdo a su contenido mineralógico se pueden diferenciar dos tipos de menas: la mena amarilla presenta mayor contenido de pirita, calcopirita, galena y esfalerita, mientras que la mena negra exhibe molibdenita y óxidos de hierro (Montiel *et al.*, 1998).

Yacimientos epitermales auríferos Tlalpujahua (Oligoceno \geq 29 Ma)

Esta es una región minera de la cual se tiene registro prehispánico, con laborios de bonanza en varias épocas después de su redescubrimiento del siglo XVI. Actualmente se encuentra en exploración y re-evaluación. Los depósitos consisten de una serie de vetas epitermales de cuarzo en filones de relleno de fisuras. Las texturas de la mineralogía reflejan dos etapas hipogénicas y una hipogénica-supergénica, i) cuarzo - pirita-calcopirita-arsenopirita; ii) calcopirita - arsenopirita-esfalerita - galena-pirrotita; iii) freibergita – boulangerita – bornita – argentita - oro nativo - plata nativa – naumanita – aguilarita – fischerita - crookesita. Un dato importante es la presencia de ciertos seleniuros, similares a los que se encuentran en distritos mineros del norte y noroccidente, datos que permiten correlacionar a Tlalpujahua con la mineralización del distrito minero de Guanajuato (Montiel *et al.*, 1998).

La importancia de los depósitos minerales tipo “oro orogénico” (YOO)

Los yacimientos de oro orogénico (YOO) han sido estudiado por Kerrich y Cassidy (1994), Groves *et al.* (1998), McCuaig and Kerrich (1998), Goldfarb *et al.*, (2001), y han sido descritos por varios autores (e.g Hagemann y Brown, 2000, y Costafreda, 1999), identificándolos en distintas regiones orogénicas del mundo. Estos depósitos generalmente, se encuentran asociados a cinturones metamórficos profundamente deformados con la presencia de fallas en regímenes comúnmente transtensionales y asociados con la acreción de terrenos y se reportan en casi todo el registro geológico.

La estructura de estos depósitos se presenta bajo forma de filones tabulares o de veta, en donde predomina el cuarzo y oro, y pocos sulfuros, a menudo ferríferos. La roca encajonante generalmente está constituida por rocas deformadas y metamorfosadas. Los fluidos generadores se caracterizan por tener un pH neutro, baja salinidad, una concentración elevada de CO₂ (>5 mol%), y un entorno térmico

de 180° a 300°C. El origen de estos fluidos es tema de controversia, sin embargo, considerando a esos depósitos sin-deformacionales y sin-metamórficos, las temperaturas pueden ser relativamente altas y variar desde facies esquistos verdes hasta de anfibolita de biotita-anfibol, (Bohlke, 1989; Ridley y Diamond, 2000).

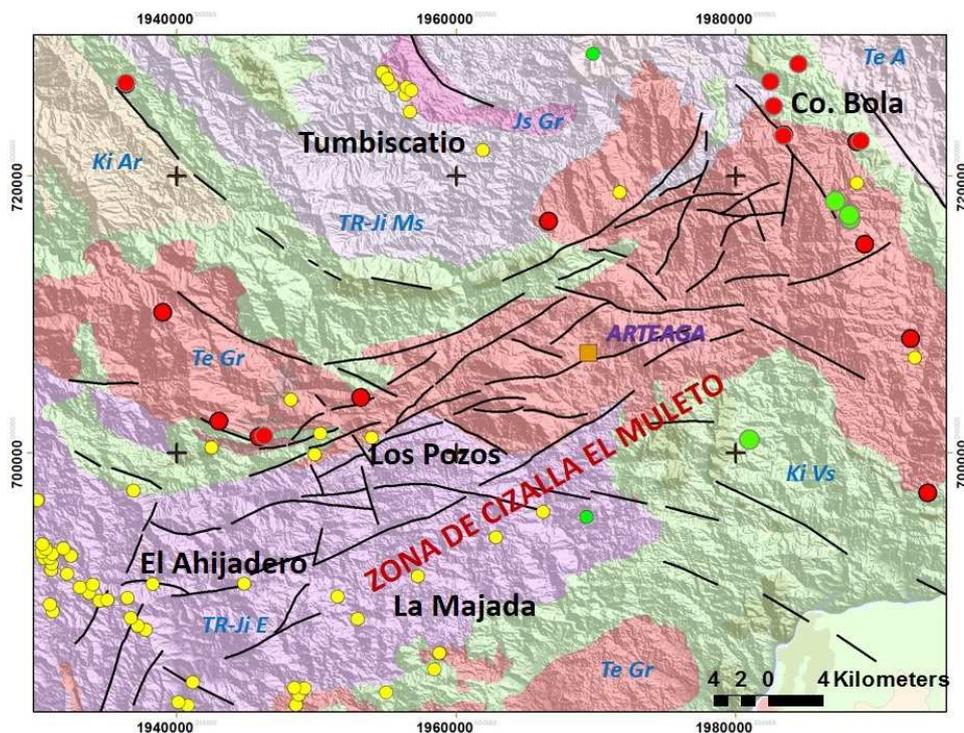


Figura 5.- Distribución de localidades mineralizadas asociadas a la Zona de Cizalla El Muleto. Yacimientos de Oro (círculo amarillo); Yacimientos de hierro (círculo rojo); Yacimientos de cobre (círculo verde). Claves litológicas: Esquistos Arteaga (TR-Ji E y TR-Ji Ms); Granito Tumbiscatio (Js Gr); Arco Zihuatanejo (Ki Vs y Ki Ar); Granito Arteaga (Te Gr); Andesita terciaria (Te A). Montiel-Escobar, 2013.

En México ya han sido identificados una serie de depósitos tipo YOO, en Sonora (Quintanar-Ruiz, 2008; y referencias in); en Tamaulipas (Eguiluz *et al.*, 2004); en Oaxaca (Jiménez-Hernández 2011); en Michoacán el depósito YOO se refiere a la Zona de Cizalla de El Muleto (ZCM) en la región de Arteaga (Montiel-Escobar 2013). Sin embargo, este tipo de yacimientos ha sido poco estudiado en todo México y en el sur de Michoacán es la primera vez que se ha tipificado. Si se consideran los elementos de correlación y la distribución de yacimientos minerales tipo YOO similares a El Muleto en Arteaga, en Michoacán se pueden agrupar en dos

sustancias principales: depósitos auríferos y ferríferos. Esta distribución regional puede ser dividida a su vez en cinco zonas de mineralización (Figura 5).

a. Zona Los Pozos (Fe), los depósitos de hierro se concentran en el borde noroccidental de la ZCM. El principal depósito de hierro se refiere a Los Pozos. En importancia le siguen los depósitos de Ferrería, Barranca Blanca, La Magueyera.

b. Zona Los Pozos (Au), localizados en la zona interna de la cizalla, con depósitos como La Michoacana, Barranca de Sánchez, y Los Lirios. Estas localidades y depósitos tienen buen potencial minero y son clasificados como yacimientos de tipo epitermal (Calzada 1993) y de oro orogénico (Montiel 2013).

c. Zona La Majada, al sureste de la ZCM, en donde se tienen manifestaciones auríferas en las minas La Majada, Pueblo Viejo y el Valle, en arreglo de vetillas hidrotermales.

d. Zona El Ahijadero, extremo suroccidental y aparentemente asociados al límite de la cizalla El Muleto. Se ubica el distrito minero El Ahijadero. Este distrito es de los más antiguos, trabajado en periodos intermitentes a partir de la década de 1950, consiste de vetas de cuarzo aurífero, clasificados como epitermales en forma de vetas angostas, asociadas a diques dioríticos.

e. Zona Tumbiscatío y Cerro Bola, en el extremo nororiental de la ZCM. La primera está asociada al intrusivo de Tumbiscatío y destacan las minas de Lluvia de Oro, Gis de oro, y Valencia. Consisten de vetas tabulares clasificadas como epitermales de orientación NE y NO. La zona de Cerro Bola, presenta estructuras tabulares asociadas a brechas de orientación preferencia al NO, zonas de stockwork, con valores de plata y cobre (Salgado-López., 1977).

Perspectivas de exploración aurífera en México y en Michoacán

De 2009 a 2012 se ha incrementado sustancialmente la explotación por oro en México, activándose 15 nuevas minas distribuidas en el cinturón orogénico de Sonora (7.1Moz); Sierra madre Occidental (40Moz); El Peñasquito, Zacatecas (20.3Moz); y El Cinturón de oro de Guerrero (15.5Moz), lo que coloca a México como el país con el mayor volumen de recursos indicados de oro, como lo indica Martínez Vera (2012). El mismo autor menciona otras exploraciones y evaluación potencial se llevan a cabo en otras 16 localidades que definen franjas auríferas por parte de compañías privadas nacionales y principalmente extranjeras.

La distribución de los depósitos auríferos en México coincide en la región occidental del país y están asociados con orógenos fanerozóicos, de los cuales Michoacán forma parte, lo que representa una gran perspectiva de exploración para la entidad. Desafortunadamente, en el estado de Michoacán, las minas auríferas se trabajan a pequeña escala y en muchos casos el oro se obtiene como sub-producto. Otros casos se refieren a los distritos antiguos como Tlalpujahuá y El Ahijadero, donde solo se exploran en los alrededores aplicando técnicas de exploración aisladas y de baja tecnología. Si consideramos que los yacimientos de gran volumen, se han descubierto en el subsuelo aplicando métodos indirectos de exploración, es evidente la necesidad de investigaciones y exploraciones metalogenéticas de yacimientos tipo IOCG y tipo YOO, que permitiría definir el real potencial aurífero en Michoacán.

Conclusiones

La importancia del oro como unidad de intercambio y potencial de riqueza obliga a los países a mantener una estrategia de investigación sobre este recurso. La distribución de las localidades auríferas en México nos muestra que en la medida que se ha explorado con técnicas modernas y con un modelo metalogenético se han descubierto importantes depósitos auríferos.

En Michoacán, se proponen 5 franjas metalogenéticas auríferas, las cuales se han interpretado de acuerdo con la evolución magmática, estructural, geoquímica, fechamientos y cartografía geológica. Se concluye que los depósitos tipo IOCG y YOO representan la principal línea de exploración en el estado de Michoacán. Por lo tanto, resulta relevante realizar el estudio petrológico, metalogenético y aplicar técnicas de geofísica para determinar su real potencial.

Literatura Citada

- Aguilar Hernández J. A., 2012., Metalogénesis del Batolito Aquila-Maruata y su Relación con los Depósitos de Hierro del Suroccidente de México. Tesis para obtener el grado de maestro en ciencias con especialidad en: Geociencias y planificación del territorio. Instituto de Investigaciones Metalúrgicas. Departamento: Geología y Mineralogía, UMSNH.
- BCV Banco Central de Venezuela, 2010. El Libro del Oro de Venezuela. Páginas 633. ISBN978-980-394-064-5. Resúmenes. <http://200.74.197.135/orobcv/index.php>.

- Böhlke, J.K., 1989, Comparison of metasomatic reactions between a common CO₂-rich vein fluid and diverse wall rocks: Intensive variables, mass transfers and gold mineralization at Alleghany, California: *ECONOMIC GEOLOGY*, v. 84, p. 291–327.
- Calzada M. M. C., 1993. Metalogenia de los yacimientos ferríferos de Los Pozos, Municipio de Arteaga, Estado de Michoacán. IPN. Tesis profesional de licenciatura, 76 p.
- Campa-Uranga, M.F., y Coney P.J., 1983, Tectono-stratigraphic terranes and mineral resource distribution in Mexico: *Canadian Journal of Earth Sciences*, v. 20, p. 1040-1051.
- Castillo, Antonio del. 1893. Carta Minera de la República Mexicana, formada por disposición del Secretario de Fomento por ingeniero de minas...Director de la Escuela Nacional de Ingenieros, color, 4 hojas impresas, 1:2 000 000.
- Castro Ornelas E., 2013. Petrogénesis de rocas graníticas de la porción suroccidental del Estado de Michoacán. Tesis para obtener el grado de maestro en ciencias con especialidad en: Geociencias y planificación del territorio. Instituto de Investigaciones Metalúrgicas. Departamento: Geología y Mineralogía, UMSNH.
- Corona Chávez P., Schaaf P., Bigioggero B., Tunesi A.,y Panseri M., 2007. Laramidic-age plutonism in the Guerrero Terrane, southern Mexico: some tectonic and metallogenic implications. VII CONGRESO DE GEOLOGÍA. 2ª Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, Sociedad Cubana de Geología.
- Corona Esquivel, R., Tritlla, J., Levresse, G., y Henríquez, F., 2007. Presence of two Phanerozoic IOCG in México: geological framework and general characteristics. *Proceedings of the Ninth Biennial SGA Meeting, Dublin*, 1343-1346.
- Costafreda, J.L., 1999. Comparación entre los yacimientos Hercínicos Europeos, del Escudo Canadiense y del Complejo Ofiolítico de Holguín noroccidental, Cuba. Seminario Internacional de Recursos Minerales y Desarrollo Sostenible en Iberoamérica. Red Iberoamericana de Minerales y Rocas Industriales. Madrid, España. 8 p.
- Demon Paul E., Shafiqullah M., y Clark Kenneth F., 1981. Evolución de los Arcos magmáticos en México y su relación con la Metalogénesis. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología. *Revista*, vol. 5, núm. 2, p. 223-238.

- Eguiluz de Antuñano S., Amezcua-Torres N., y Aquino A., 2004. Oro en el Gneiss Novillo, Tamaulipas, México. En Depósitos Minerales en México: Nuevas Perspectivas y avances en su estudio. GEOS, Vol. 24, No. 2.
- Goldfarb R.J., Groves, D.I., Gardollb S., 2001. Orogenic gold and geologic time: a global synthesis. *Ore Geology Reviews*. 18 Ž2001. 1–75.
- Groves, D.I., Goldfarb, R.J., Gebre-Mariam, M., Hagemann, S.G., and Robert, F., 1998. Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types: *Ore Geology Reviews*, v. 13, p. 7–27.
- Hagemann S.G., and Brown, P.E., eds., 2000, Archean orogenic lode gold deposits: *Reviews in Economic Geology*, v. 13, 559 p.
- Hitzman W.H., Oreskes N., y Einaudi M.T., 1992. Geological characteristics and tectonic setting of Proterozoic iron oxide (Cu-U-Au-REE) deposits. *Precambrian Research* 58, 241-287.
- Jiménez Hernández A., 2011. Mineralización de oro en el Complejo Oaxaqueño, sur de México. Tesis para optar al grado de Magister en Ciencias, mención Geología. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Geología.
- Kerrick, R., and Cassidy, K.F., 1994. Temporal relationships of lode gold mineralization to accretion, magmatism, metamorphism and deformation: Archean to present: A review: *Ore Geology Reviews*, v. 9, p. 263–310.
- McCuaig, T. C., and Kerrich, R., 1998. P-T-t-deformation fluid characteristics of lode gold deposits: Evidence from alteration systematics: *Ore geology Reviews*, v. 12, p. 381-453, doi: 10.1016/80169-1368(98)00010-9.
- Martínez Vera Alfonso, 2012. Resultados de la Exploración Minera en México en los Últimos Años. Colegio de Ingenieros de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México A. C. Presentación CIMMGM, julio 2012.
- Montiel Escobar J. E. Librado Flores J. Salazar Reyes J. Sánchez Garrido E. Bustamante García J. 1998. Informe final complementario a la cartografía geológico-minera y geoquímica de la carta Morelia (E14-1) escala 1:250,000. Consejo de Recursos Minerales. Inédito.
- Montiel Escobar J. E., 2008. Estudio del Borde Oriental del Terreno, Guerrero y sus implicaciones Metalogenéticas. Estado de Puebla, México. 1er. Congreso Nacional de Estudiantes de Ciencias de la Tierra, UNAM Campus Juriquilla Qro.
- Montiel Escobar J. E., 2009. Potencial de Hierro en México. Parte I: Baja California y Baja California Sur; Parte II: Jalisco, Colima, Michoacán y Guerrero.

- Proyecto 4008, Gerencia de Estudios Especiales, Servicio Geológico Mexicano. Inédito.
- Montiel Escobar J. E., 2013. Evolución estructural e implicaciones metalogenéticas de la zona de cizalla El Muleto, suroeste de México. Tesis para obtener el grado de maestro en ciencias con especialidad en: Geociencias y planificación del territorio. Instituto de Investigaciones Metalúrgicas. Departamento: Geología y Mineralogía, UMSNH.
- Montiel Escobar J. E., Corona Chávez P., 2015. Minería y Metalogénesis de Michoacán: Nuevas Guías de Exploración. Mapa Geológico de Michoacán 2ª edición. UMSNH, INICIT (en prensa).
- Montiel Escobar J. E., Jiménez Gonzaga A., y Dorantes E. 2007. Mapa Tectono-Metogenético de México 1ª etapa. Subdirección de Investigación. Servicio Geológico Mexicano. Inédito.
- Montiel Escobar J. E., Torreblanca Castro T. de J., Munguía Rojas P. y Alvarado Méndez H., 2006. Análisis geológico y yacimientos minerales en la región de Playitas-El Ahijadero, estado de Michoacán. V Reunión Nacional de Ciencias de la Tierra. Sociedad Geológica Mexicana, Puebla Pue. Resúmenes.
- Montiel Escobar José E., Corona Chávez Pedro., 2014. Yacimientos minerales y guías de exploración en Michoacán. 9º Congreso Estatal de Ciencia, Tecnología e Innovación y 3er. Encuentro de Jóvenes Investigadores del Estado de Michoacán.
- Montiel Escobar, J. E., 1999. Terrenos Tectonoestratigráficos en la región de Michoacán y Guerrero y su relación con la mineralización. XXIII Convención Nacional de Minería. AIMMyGM.
- Montiel Escobar, J., 2003. Análisis de yacimientos minerales en el mapa estatal del Estado de Chihuahua. Consejo de Recursos Minerales, inédito.
- Ostroumov, M., y Corona-Chávez, P., 1999. Ensayo metalogenético del estado de Michoacán: Carta Geológica de Michoacán Escala 1:250 000. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Instituto de Investigaciones Metalúrgicas, Departamento de Geología y Mineralogía. 91-104.
- Pérez-Segura, Efrén, 1985. Carta metalogenética de Sonora—una interpretación de la metalogenia de Sonora, escala 1:250,000: Hermosillo, Dirección de Minería, Geología y Energéticos del gobierno del Estado de Sonora, Publicación 7, 45 p.
- Quintanar Ruiz F. J., 2008. La Herradura ore deposit: an orogenic gold deposit in northwestern Mexico. Thesis Submitted to the Faculty of the Department of Geosciences. Master of Science. University of Arizona.

- Ridley, J.R., and Diamond, L.W., 2000, Fluid chemistry of orogenic lode gold deposits and implications for genetic models: *Reviews in Economic Geology*, v. 13, p. 141–162.
- Salas Guillermo P. (Consejo de Recursos Minerales) 1975. Mapa metalogenético de la República Mexicana. The Geological Society of America, Inc., 1975
- Salgado L. S., 1977. Exploración Geológico-Geoquímico, por Oro y Plata, en el Area “El Arenoso” municipio de Tumbiscatío, Mich. Tesis profesional. E.S.I.A. I.P.N. 56 p.
- Servicio Geológico Mexicano, 2014. Anuario Estadístico de la Minería Mexicana 2013, edición 2014.
- Sillitoe, R.H., 2003. Iron oxide-copper-gold deposits: an Andean view. *Mineralium Deposita*, 38, 787-812.
- Torreblanca Castro T. de J., Vergara Martínez A., Vásquez Tortoledo R., 2003. Informe geológico minero de la carta Tumbiscatío de Ruiz (E13-B68) escala 1:50,000. Consejo de Recursos Minerales. Inédito.
- Tosdal R. M., Dilles J. H., Cooke D. R., 2009. From Source to Sink in Auriferous Magmatic-Hydrothermal Porphyry and Epithermal Deposits. *Elements, An International Magazine of Mineralogy, Geochemistry and Petrology*. pp 289-295.
- Tritlla, J., Camprubí, A., Corona-Esquivel, R., Centeno-García, E., Iriando, A., Sánchez-Martínez, S., Gasca-Durán, A. A., Cienfuegos-Alvarado, E., y Morales-Puente, P., 2003. Estructura y edad del depósito de Peña Colorada (Colima): un posible equivalente Fanerozoico de los depósitos de tipo IOCG. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 20, 182-201.
- USGS (2009) United States Geological Survey Minerals Information publications <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/gold> (accessed September 2, 2009).
- Walshe John L. and Cleverley James S., 2009. Gold Deposits: Where, When and Why. *Elements. An international magazine of mineralogy, geochemistry, and petrology* October 2009. Volumen 5, number 5. ISSN 1811-5209., pp 288.
- Williams-Jones Anthony E., Bowell Robert J., and Migdisov Artashes A., 2009. Gold in Solution. *Elements. An international magazine of mineralogy, geochemistry, and petrology* October 2009. Volumen 5, number 5. ISSN 1811-5209., pp 281-287.