

III.3-METALOGÉNESIS DE LA MINERALIZACIÓN TIPO IOCG RELACIONADA AL SKARN DEL DISTRITO MINERO LAS MINAS, ESTADO DE VERACRUZ

Jesús Castro-Mora^{a*}, L.E. Ortiz-Hernández^a, J.C. Escamilla-Casas^b, E. Cruz-Chávez^c, Dorantes-Castro, C.G.^d

^aÁrea Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales, UAEH, Mineral de la Reforma, Hidalgo
leoh44@hotmail.com

^bÁrea Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales, UAEH, Mineral de la Reforma, Hidalgo
jocesca@uaeh.edu.mx

^cÁrea Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales, UAEH, Mineral de la Reforma, Hidalgo
kious_ec@yahoo.es

^dInstituto Politécnico Nacional IPN, ESIA Ticomán, tesista de Licenciatura
ing_geologa_ipn@hotmail.com

* Autor de correspondencia: jesus_castro11293@uaeh.edu.mx

RESUMEN

El Distrito Minero Las Minas se localiza en la porción central del Estado de Veracruz, dentro de la Provincia Geológica del Macizo de Palma Sola. Geológicamente la zona estudiada está representada por una secuencia de rocas carbonatadas de edad Cretácica, las cuales están intrusionadas por una serie de *stocks* graníticos del Terciario, mismos que generaron un proceso de metamorfismo de contacto que dio lugar a la formación de un *skarn* proximal con mineralización económica de tipo IOCG (Iron-Ore Copper-Gold, por sus siglas en inglés), con paragénesis típicas de sulfuros de cobre-magnetita +/- oro y ocasionales contenidos de cobre nativo. La componente mineral no metálica presenta granate tipo grosularita, wollastonita, clinopiroxenos y calcita, sobre todo en los frentes de mármol.

El presente estudio permitió definir la zonación progradante y retrógrada de la aureola de metamorfismo, cuya escala varia, desde varios metros hasta ocho kilómetros a partir de los intrusivos causantes de la formación del *skarn*.

Actividad magmática tardía, posiblemente sincrónica con la cobertura volcánica post-mineral (secuencias piroclásticas), ha sido reconocida y se manifiesta por el emplazamiento de diques de composición básica que cortan a todo el sistema mineralizado.

Palabras Clave: IOCG, Skarn, Palma Sola, Las Minas, Zonación

ABSTRACT

Las Minas Mining District is located in central Veracruz State, on the Palma Sola Massif Geological Province. The geological setting of the studied area is represented by a Cretaceous sequence of calcareous rocks intruded by Tertiary granitic stocks, which generate a proximal skarn within economic IOCG (Iron Oxide Copper Gold) mineralization with typical paragenetic associations represented by copper sulfides with magnetite and economic gold grades with occasionally native copper. Gangue mineralization is compound mostly by garnet (grossular type), wollastonite, clinopyroxene and calcite, mainly on the marble fronts.

The present study was able to define prograde and retrograde zonation in surface mapping of the metamorphic halo, which varies from several meters to eight kilometers from the intrusive rocks as precursors of the skarn formation.

Late magmatic activity, probably synchronous with the postmineral volcanic covering sequence (pyroclastic) has been recognized and is characterized by the emplacement of basic dykes that cross all the mineralized system.

Keywords: IOCG, Skarn, Palma Sola, Las Minas, Zonation

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el estudio de la metalogenia va de la mano con la exploración y tipología de depósitos minerales, así como a su modo de emplazamiento. El concepto de *skarn* conlleva dos significados primordiales: a). Petrológico, *sensu stricto*, y b). Económico. La connotación petrológica de *skarn* [9] se refiere a aquellas rocas derivadas de un proceso de metamorfismo de contacto, producto del metasomatismo que produce la acción de rocas intrusivas sobre rocas carbonatadas, principalmente calizas o dolomías; tal interacción da lugar a la formación de una roca con texturas y componentes mineralógicas características, sobre todo de silicatos de calcio y magnesio. Por otra parte, *skarn* es un término que conlleva viabilidad económica [15] y proviene de la antigua minería sueca siendo utilizado ampliamente para referirse a aquellos yacimientos de una gran variedad de asociaciones metálicas localizadas en la proximidad al contacto entre rocas ígneas intrusivas y rocas de afinidad calcárea[10].

Por su parte, en fechas recientes, el concepto de mineralización tipo IOCG [14]; [29] se utiliza ampliamente para referirse a uno de los estilos de mineralización más controvertidos; el término IOCG (Iron Oxide Copper Gold) o bien (Iron-Ore, Copper-Gold, por sus siglas en inglés) se puede asignar a aquellos depósitos compuestos por óxido de hierro, con contenidos económicos de cobre y oro asociado, con abundante magnetita o hematita. Tales depósitos también contienen una variedad de otros elementos potencialmente económicos, como plata, cobalto, molibdeno y bismuto. No obstante que la asociación de óxidos de hierro (magnetita o hematita) con sulfuros de cobre y contenidos de oro se encuentra en una gran variedad de estilos de mineralización, el origen de los depósitos tipo IOCG ha sido debatido por modelos de formación que van desde fluidos derivados de procesos metamórficos, hasta magmas que involucran la acción de fluidos hidrotermales, [5], [11], [16], [29], [21], [17].

Gran parte de los depósitos IOCG del mundo se localizan en ambientes geológicos Precámbricos. Ejemplos célebres de depósitos IOCG alrededor del mundo involucran al yacimiento Olympic Dam en

Australia, que fue el que dio origen a esta tipología o categorización de yacimiento y Candelaria y Monte Verde (Cretácico) en Chile [14], [16], por citar los más relevantes. Para el caso de México, el depósito de Guaynopa, en el estado de Chihuahua, podría entrar en esta categoría, se asocia a intrusiones gabroicas [12] y Peña Colorada, según [27] presenta similitudes relevantes con este tipo de depósitos. En ese contexto, la región de Las Minas, por sus características geológicas, mineralización y rocas asociadas representa típicamente un *skarn* de Cu-Fe con contenidos potencialmente económicos de Au que se circunscribe con bastante aproximación al tipo IOCG y podría constituir uno de los depósitos más recientes en términos de tiempo geológico.

1.1 Antecedentes

La cabecera municipal de Las Minas es una comunidad rural a la que se accede por caminos de terracería, cuenta con una planta de generación de energía eléctrica de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) que tiene una capacidad de 12 mil Kw de generación, misma que está construida sobre el cauce de río Las Minas; la población total, incluyendo a las comunidades aledañas es de 2900 habitantes (figura 1). En Las Minas se encuentra un importante y antiguo distrito minero que data de la época precolombina, ya que se existen registros que mencionan que los indígenas de la región de Chiconquiaco extraían oro y otros metales de sus terrenos para pago de tributos al entonces Imperio Azteca; para ésta época, las localidades de mayor relevancia fueron Tenepanoya, Tatatila y Zomelahuacan, conocido actualmente como Las Minas [2]; el principal auge del Distrito se llevó a cabo durante la época de la colonia, con el desarrollo de las principales obras mineras, que aún existen en la región. A mediados del siglo XX (décadas de los años 50's y 60's) se realizaron trabajos exploratorios en la zona encaminados a la exploración y evaluación de recursos de mineral de hierro.

Desde el punto de vista geológico, la zona ha sido poco estudiada, se tiene el registro de reportes geológicos antiguos en la zona [18], así como múltiples reportes técnicos inéditos realizados por personal del extinto Consejo de Recursos Minerales (hoy Servicio Geológico Mexicano), muchos de los cuales se agruparon en una compilación que refiere a la geología y yacimientos minerales de la zona Tatatila-Las Minas y que se consignó en la Monografía Geológico-Minera del estado de Veracruz [2]. En el año 2010 la empresa consultora Geoconsulting Ingenieros, S.C. realizó una exploración preliminar que incluyó muestreo de las principales minas y afloramientos mineralizados, así como el análisis de la información disponible constatando la importancia geológica del Distrito Minero [3].

Cartografía geológica regional (Carta Perote E14-B26) fue realizada por el Servicio Geológico Mexicano [23], un aporte significativo de dicha cartografía es el referente a la asignación de edad (Mioceno) a las principales rocas intrusivas de la región (obtenida por el método K-Ar). En fechas recientes, y desde el año 2011, el área de estudio se encuentra bajo una intensa actividad exploratoria con fines de evaluación económica, misma que ha contemplado cartografía geológica de detalle, prospección geofísica, muestreo intensivo en superficie e interior de mina, así como barrenación a diamante por parte de la empresa canadiense Source Exploration Corp. A la fecha no se cuenta con estudios de investigación metalogénica dentro del Distrito Minero; sin embargo, gracias a la exploración minera, la zona ha comenzado a despertar el interés de investigación geológica y de su evolución en términos de la tectónica del centro-sur de México. Los primeros estudios formales enfocados a conocer la petrología de los intrusivos y de los *skarns* derivados se han realizado recientemente y han permitido conocer y establecer, *a priori*, el potencial geológico de la mineralización existente [8].



Figura 1. Localización del Distrito Minero Las Minas.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El presente estudio se desarrolló en tres etapas principales: a). Planeación de trabajo de campo, interpretación de imágenes satelitales para mapeo preliminar e investigación de trabajos previos en la zona; b). Etapa de trabajo de campo de cartografía geológica y selección de sitios de muestreo con posicionamiento GPS de coordenadas en formato UTM; c). Preparación de muestras para determinaciones petrológicas, minerográficas y geoquímicas. De manera simplificada los análisis correspondientes se llevaron a cabo de la siguiente manera:

i). Para el análisis de los minerales translúcidos las muestras se cortaron, devastaron y pulieron para ser colocadas sobre un portaobjetos (láminas delgadas) a 30μ (micras) de espesor sobre bálsamo de Canadá, cuyo índice de refracción es conocido (1.52). Una vez preparadas se analizaron bajo luz transmitida (diascópica) y se realizó el conteo modal de la componente mineral esencial (porcentajes), mismo que se graficó en diagramas QAPF [26].

ii). Las muestras para minerografía (superficies pulidas) se analizaron bajo luz reflejada (episcópica).

Las fotomicrografías se obtuvieron con una cámara especial de 16 megapíxeles montada en el microscopio petrográfico marca Iroscope Modelo MG-323P, propiedad de Geoconsulting Ingenieros, S.C y analizadas con ayuda del software ToupView compatible Microsoft Windows 7 y posteriores.

Las muestras para análisis geoquímico de elementos traza, principalmente de Au, Cu, Fe, suman un total de 19, se mandaron a analizar a SGS laboratories en Canadá y el costo fue financiado por la empresa exploradora Source Exploration, Corp.; para el presente estudio se utilizaron aquellas representativas de las zonas con mejores contenidos en Oro y Cobre; se colectaron en promedio de 2kg por cada muestra.

El muestreo destinado a geoquímica de elementos mayores (12 muestras), se llevó a cabo principalmente en las rocas intrusivas; éstas rocas, primeramente, se descostraron para retirar la capa de alteración meteórica. **Para el análisis geoquímico, se utilizó el método de fluorescencia de Rayos X (FRX o XRF por sus siglas en inglés).** Para llevar a cabo el análisis FRX e ICPMS fue necesario seleccionar muestras de roca con el mínimo de alteración meteórica, obteniendo un peso aproximado

que varía entre 12 y 15 kg por cada muestra para el análisis de elementos mayores. **Estos análisis fueron realizados en el** Laboratorio de Fluorescencia de Rayos X, del Departamento de Geoquímica del Instituto de Geología de la UNAM. El equipo consta de un espectrómetro secuencial de Rayos X equipado con tubo de rodio y ventana de berilio de 125 μm para determinar el porcentaje en peso (5 wt) de los elementos mayores de las rocas: silicio (Si), titanio (Ti), aluminio (Al), hierro (Fe), manganeso (Mn), calcio (Ca), sodio (Na), potasio (K) y fósforo (P). Por último, los resultados obtenidos se graficaron en diagramas QAPF de Streckeisen para clasificación de rocas y las correspondientes a la geoquímica se procesaron en el software Iqpet.

2.1 Marco Geológico

El marco geológico del Distrito Minero Las Minas, se caracteriza por una columna litológica expuesta que comprende del Cretácico Inferior al Holoceno (figura 2). De la base a la cima, la columna estratigráfica presenta una secuencia de caliza y dolomía que se correlaciona con la Formación Orizaba [23], misma que se encuentra intrusionada por stocks graníticos postorogénicos a la deformación Laramídica [7], [4] los cuales propiciaron un fenómeno de metamorfismo de contacto que generó la formación del skarn con mineralización de sulfuros de cobre, magnetita y valores de oro, localizados en las zonas proximales al contacto entre dichos intrusivos con las rocas calcáreas.

El skarn generado describe claramente una zona proximal, representada por rocas de textura granoblástica y mineralización metálica tipo IOCG, acompañada por cobre nativo y asociaciones de granate (grosularita-andradita)-wollastonita-clinopiroxenos y calcita; la zona distal se ve representada por mármol de grano grueso a mármol de grano fino hacia la periferia de las rocas intrusivas; la misma zonación se pudo corroborar en muestras obtenidas de barrenación. Los stocks graníticos presentan una clara diferenciación magmática, al variar de una composición intermedia (granodiorita-diorita) a una composición ácida (granítica).

Con el desarrollo del presente estudio se observó que, tanto las rocas plutónicas, como el skarn mismo, se encuentran, a su vez, intrusionados por diques postmagmáticos que varían en composición, de ferromagnesiana a cuarzo-feldespática; probablemente tales diques se hayan derivado de stocks porfídicos hipabisales (de poca profundidad) que también presenten una diferenciación magmática (figura 3). Toda la secuencia descrita se encuentra cubierta, de manera discordante, por un paquete de rocas piroclásticas representadas, de manera general, por secuencias de toba, lapilli y pumicitas del Terciario Superior (figura 4). Las estructuras geológicas mayores reconocidas corresponden a sistemas de falla complejos; con cinemática evolutiva de cizalla dextral a movimiento normal. Estas grandes estructuras corresponden a los ríos perennes Las Minas y Trinidad y actualmente tienen un corrimiento principal en dirección NNE-SSW [8].

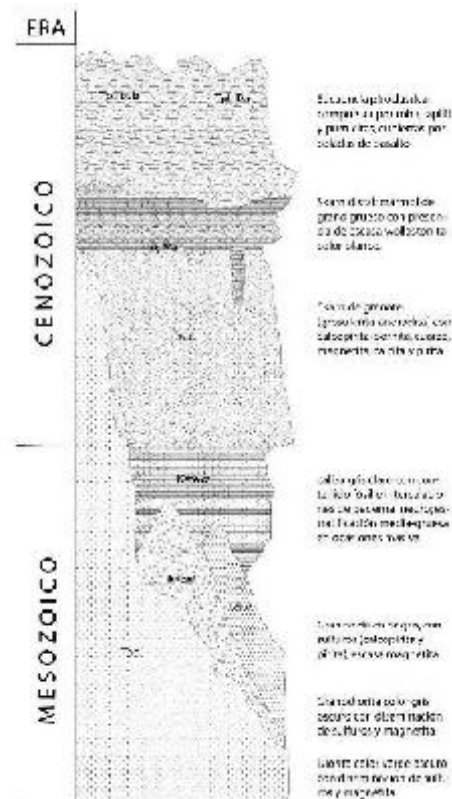


Figura 2. Columna estratigráfica del Distrito Minero Las Minas, estado de Veracruz (Modificado de Dorantes-Castro, 2016), con autorización de Geoconsulting Ingenieros, S.C.



Figura 3. A. Núcleo de perforación con Cu nativo alojado en las fracturas del skarn; B. Dique microgranítico que corta un afloramiento de mármol; C. Dique básico (oscuro) que corta granitos expuestos en el cauce del río Trinidad.

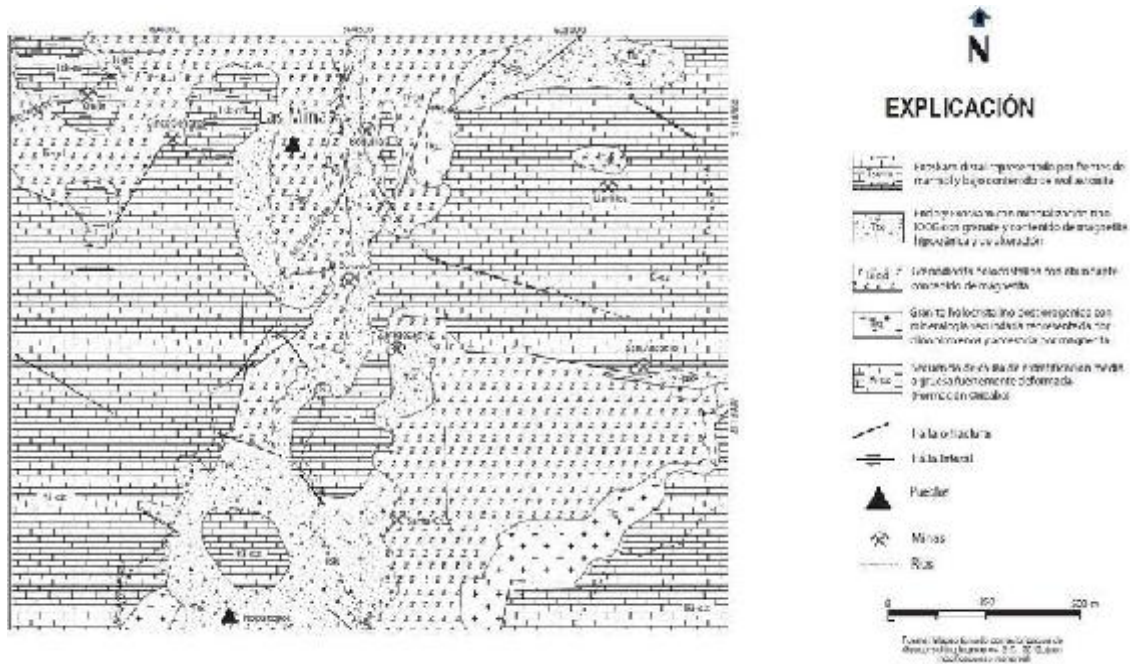


Figura 4. Mapa geológico simplificado del Distrito Minero Las Minas, estado de Veracruz (Modificado de Dorantes-Castro, 2016), con autorización de Geoconsulting Ingenieros, S.C.

2.2 Petrología y Minerografía

Para el presente estudio se colectaron y analizaron un total de 10 muestras para determinaciones petrológicas y siete para minerografía, de las cuales se seleccionaron dos para ilustrar las características bajo el microscopio de aquellos intrusivos que se localizan en las principales obras mineras (Boquillas y El Dorado) y que generaron los cuerpos mineralizados más prominentes del distrito (LBC8 y 31); Asimismo, se seleccionaron dos muestras para ilustrar las características y mineralogía del skarn, proximal y distal (LM-11-SC-44 a 11m de profundidad de barreno y LM-11-SC-44 a 98m de profundidad de barreno).

De igual manera, se presentan dos muestras de mineral económico estudiadas con microscopía de luz reflejada (LM-11-SC-44 a 11m de profundidad de barreno y LM-12-SC-54 a 100.3m de profundidad de barreno). (figuras 5 y 6). Las clasificaciones petrológicas se obtuvieron, una vez realizado el conteo modal, de acuerdo a diagramas QAPF [26]. (figura 7 y tabla I), definiéndose un predominio de rocas granodioríticas y graníticas. La zonación espacial del skarn se pudo establecer, de manera preliminar, tanto en superficie, como en sentido vertical a través de la cartografía, la petrología y la barrenación a diamante. Las rocas intrusivas claramente muestran un origen profundo, dado su grado de cristalinidad (holocristalinas) y a que presentan primordialmente fenocristales de composición cuarzofeldespática; puede notarse, en ambos casos, afectación de alteración retrógrada e hidrotermal dada por la presencia de clorita y sericita en ambas muestras intrusivas. Por su parte, las rocas que corresponden al skarn muestran claramente mineralogía representativa de la zona progradante (grosularita, magnetita, ortopiroxenos) y retrógrada (clinopiroxenos, serpentización (antigorita), wollastonita, calcita).

2.3 Análisis Geoquímicos

Los análisis geoquímicos practicados se dividieron en geoquímica de elementos traza, con énfasis en los contenidos de oro y cobre; para ellos se tomaron 19 muestras de nueve barrenos localizados en las zonas de mayor potencial conocido hasta ahora (Tabla II).

Por su parte, la geoquímica de elementos mayores se realizó con la toma de 12 muestras de los principales afloramientos de rocas intrusivas a las que se les atribuye la formación del skarn y de la zona mineralizada [8].

El objeto de la geoquímica de elementos mayores fue en el sentido de conocer, tanto el magmatismo al cual se asocian los intrusivos relacionados con la mineralización, como al ambiente tectónico de emplazamiento de los mismos obteniéndose concordancia en ambos aspectos.

3. RESULTADOS

Con el presente estudio se establecen los siguientes resultados significativos:

1. La caracterización petrológica de las rocas estudiadas deja en claro la estrecha relación que existe entre los intrusivos de naturaleza granítica-granodiorítica con la formación de skarn proximal con mineralización de magnetita y sulfuros de cobre con valores de oro.
2. La geoquímica de elementos traza deja en claro un sistema mineralizado con valores económicos de Cu y Au que se asocian al skarn de magnetita (tabla III).
3. El análisis de la geoquímica de elementos mayores da como resultado dos aspectos preponderantes: El diagrama de variación AMF pone de manifiesto el carácter calcialcalino de los magmas que dieron lugar al emplazamiento de las rocas intrusivas, que a su vez, una vez graficadas en diagramas de ambiente tectónico, considerando la relación Rb vs Y+Nb [20] muestran un emplazamiento de los magmas dentro de un ambiente de arco volcánico (figuras 8 y 9)

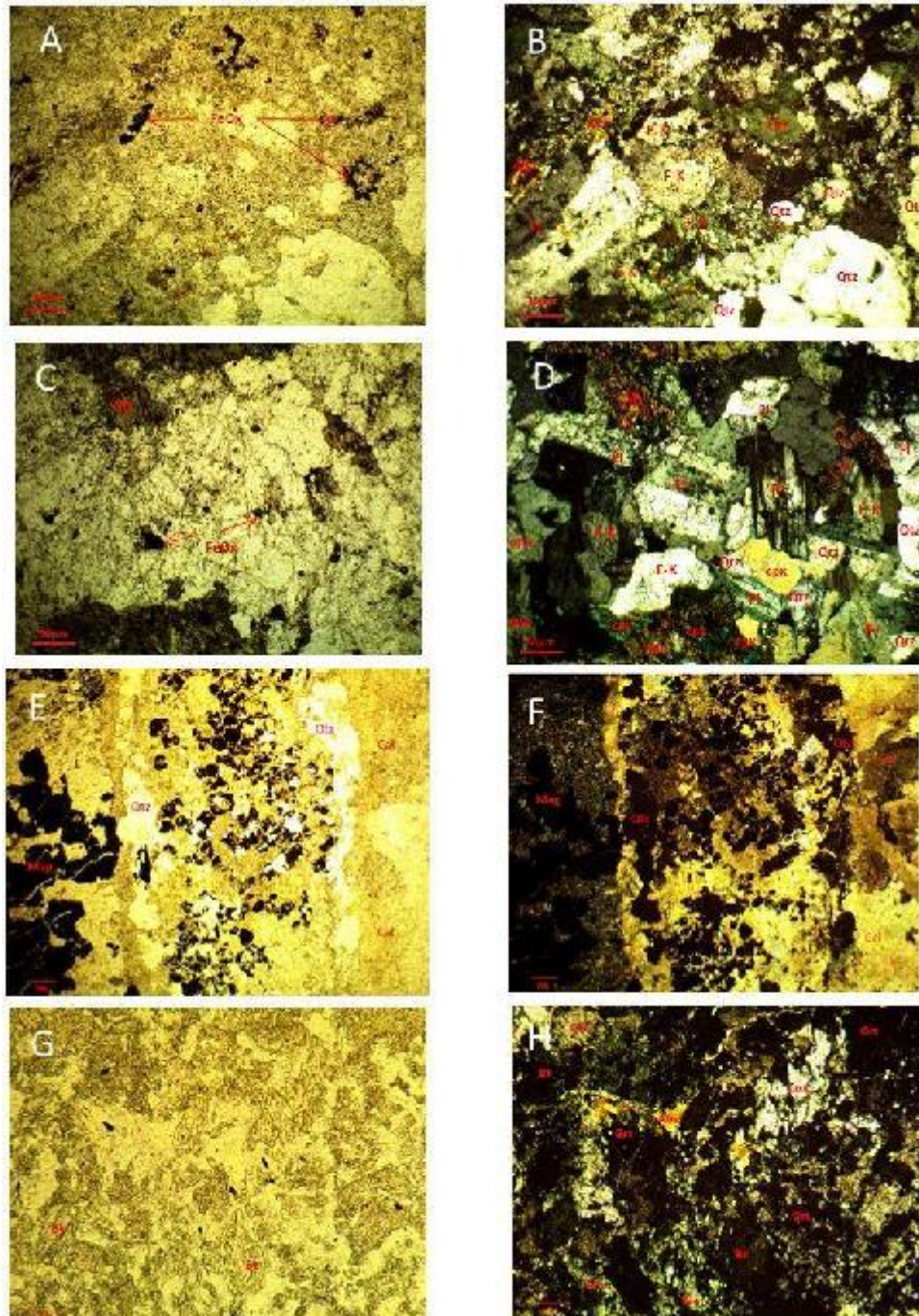


Figura 5. Selección de muestras de Las Minas: A. muestra LBC8 luz paralela, B. luz polarizada, nótese la componente cuarzofeldespática dominante (5X) GRANITO; C muestra 31 con luz paralela y D con luz polarizada, nótese que hay mayor porcentaje de plagioclasas (oligoclasa-andesina) con relación al cuarzo (5X) GRANODIORITA; E. muestra LM-11-SC-44 con luz paralela y F con luz polarizada, magnetita en una matriz de calcita y sílice con una vetilla de cuarzo post magnetita (5X) SKARN PROXIMAL; G. muestra LM-11-SC-44 a 98m profundidad con luz paralela se observan minerales de fuerte relieve y pleocroicos; H con luz polarizada, el 90% de la mineralogía corresponde a granate y clinopiroxenos en una matriz calcárea, se distingue wollastonita, biotita (5X), SKARN DISTAL, fase retrógrada.

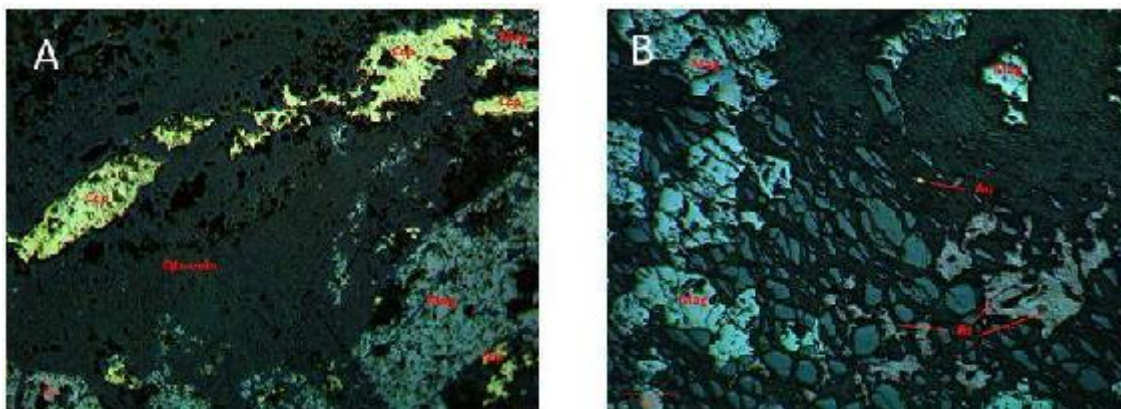


Figura 6. Selección de muestras con mineralización metálica de Las Minas, observadas con luz reflejada: A. muestra LM-11-SC-44 a 11m de profundidad de barrenación, observación con luz polarizada, nótese calcopirita(ccp) alojada en una veta de cuarzo (qtz) y magnetita (Mag) (10X) en la parte inferior de la fotografía; B. muestra LM-12-SC-54 a 100.3m de profundidad de barreno, observación con luz polarizada, nótese predominio de magnetita (Mag) y bornita (bt) en donde destaca un fragmento de oro (Au) aislado (5X).

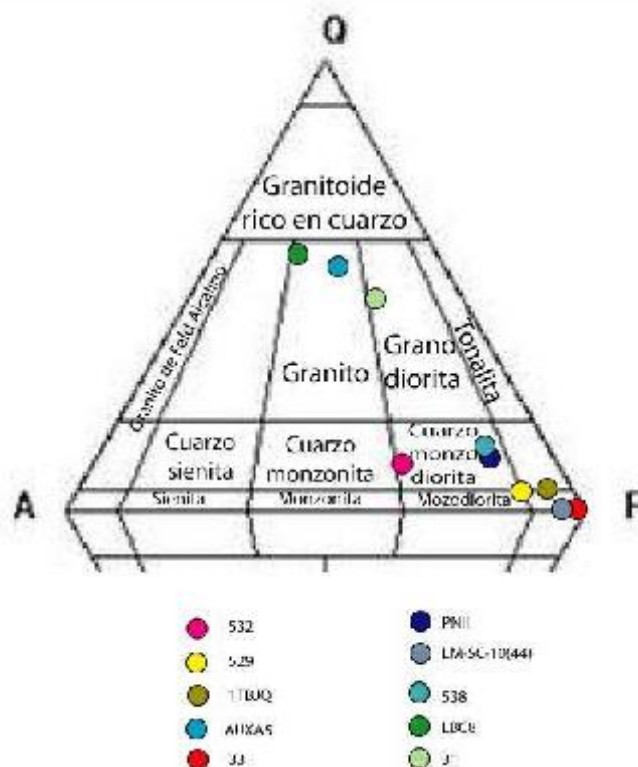


Figura 7. Muestras de las rocas intrusivas procedentes de Las Minas graficadas en un diagrama QAPF (en este caso por ser rocas sin feldespatoides solamente se utilizó la región QAP. Las clasificaciones correspondientes se muestran en la tabla I (basado en Streckeisen, 1974).

Tabla I. Muestras de las rocas intrusivas procedentes del Distrito Minero Las Minas donde se muestra la composición modal de las mismas en cuanto a la mineralogía esencial; los contenidos en minerales accesorios se discriminaron por ser porcentajes < 5% al momento de graficarlos en el diagrama QAP.

ROCA	MUESTRA	Q (%)	A (%)	P (%)
Cuarzomozodiorita	532	10	30	60
Granodiorita	529	5	10	85
Diorita	1TJBQ	4	6	90
Granito	AUXA5	52	21	27
Diorita gabroica	33	1	2	97
Monzodiorita	PNII	10	12	78
Gabro	LM-14-SC-10 (44m)	1	2	97
Monzodiorita	538	15	10	75
Granito	LBC8	55	25	15
Granodiorita	31	40	15	30

Tabla II. Contenidos metálicos de las muestras analizadas de núcleos de perforación de las zonas El Dorado-Juan Bran y Santa Cruz (tomado con autorización de Source Exploration, Corp., 2016) * Au Eq g/t igual a Au g/t + (Ag g/t x 0.016) + (Cu% x1.71).

RESULTADOS DE LA BARRENACIÓN EN LAS LOCALIDAD EL DORADO/JUANBRÁN							
Barreno	Desde	Hasta	Intersección	Au (g/t)	Ag (g/t)	Cu %	Au Eq* (g/t)
	(m)	(m)	(m)				
LM-15-ED-20	110.7	132.7	22	0.64	5.54	0.74	2
	114.7	132.7	18	0.74	5.9	0.86	2.3
	114.7	126.7	12	1.09	8.53	1.26	3.38
	114.7	122.7	8	1.58	12.03	1.7	4.67
LM-15-ED-21	85.6	99.6	14	1.56	7.5	1.36	4.01
	85.6	97.6	12	1.8	8.49	1.56	4.61
	85.6	95.6	10	2.05	9.27	1.74	5.17
	85.6	93.6	8	2.37	10.21	1.96	5.89
LM-15 ED-22	68.2	82.5	14.3	0.76	5.65	1.6	3.59
	68.2	80.5	12.3	0.87	6.55	1.85	4.14
LM-14-JB-01	131.5	174	42.5	0.77	2.35	0.48	1.55
LM-14-JB-02	13.5	19.5	6	4.43	0.33	0.01	4.45
Zona inferior	99.4	114.5	15.1	1.15	4.93	1.1	3.1
LM-14-JB-03	111.9	119.9	8	0.88	0.46	0.17	1.18
LM-14-JB-04	64.3	74.3	10	0.7	4.4	0.61	1.82
LM -11-SC-36	220.6	302.6	82	1.08	2.54	0.4	1.73
	220.6	230.6	10	2.98	2.9	0.36	3.58
LM-11-SC-49	251.6	293.6	42	1.08	3.05	0.42	1.78

	261.6	279.6	18	2.21	5.18	0.64	3.28
Ley Media				1.51	5.56	0.99	3.27

TABLA III. CONCENTRACION DE % EN PESO DE ELEMENTOS MAYORES													
COMPONENTE	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	BaO	PXC	Suma
UNIDAD	masa %	masa %	masa %	masa %	masa %	masa %	masa %	masa %	masa %	masa %	masa %	masa %	masa %
LBC8	56.143	0.854	18.75	5.58	0.104	2.044	6.114	3.758	3.134	0.26	0.069	3.19	99.931
1TJBQ	58.74	0.384	16.966	6.615	0.144	2.81	8.092	5.082	0.384	0.156	0.016	0.61	99.983
A	52.646	0.808	17.809	9.407	0.132	5.292	8.678	3.417	0.918	0.229	0.034	0.63	99.966
31	67.43	0.424	16.044	2.694	0.035	1.43	2.144	3.852	4.473	0.161	0.143	1.17	99.857
32	56.354	0.659	17.596	6.563	0.11	4.128	7.693	3.72	2.041	0.275	0.052	0.81	99.949
33	54.578	1.145	16.146	6.598	0.147	5.213	9.576	3.727	2.13	0.344	0.057	0.34	99.944
534	63.095	0.45	16.804	3.838	0.07	1.836	5.488	4.631	3.12	0.259	0.088	0.32	99.911
533	55.487	0.628	15.975	6.235	0.153	6.478	7.732	3.558	2.12	0.204	0.061	1.37	99.94
531	53.019	1.298	17.604	7.76	0.141	4.297	7.784	4.436	1.566	0.399	0.056	1.64	99.944
529	66.944	0.427	16.959	2.604	0.029	1.22	3.897	4.667	2.009	0.174	0.11	0.96	99.89
538	48.29	0.944	15.685	7.589	0.141	4.247	9.597	2.514	1.604	0.228	0.06	9.1	99.939
532	65.826	0.445	16.37	4.182	0.057	1.54	3.925	3.634	2.664	0.173	0.104	1.08	99.896

**Laboratorio de fluorescencia de rayos X, Departamento de Geoquímica, Instituto de Geología, UNAM

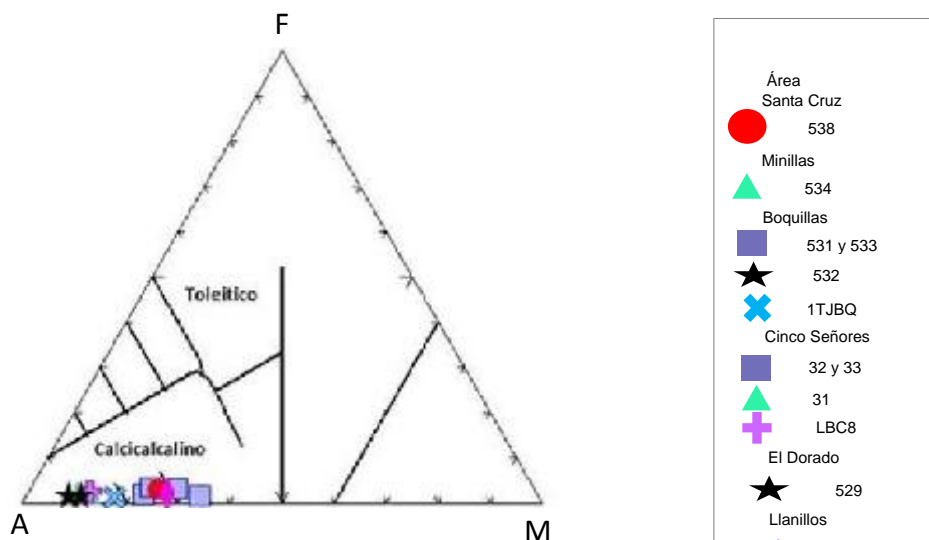


Figura 8. Diagrama de variación AFM para las rocas procedentes de Las Minas, estado de Veracruz, nótese que la totalidad de las muestras quedan circunscritas al campo de la serie magmática calcicalcalina.

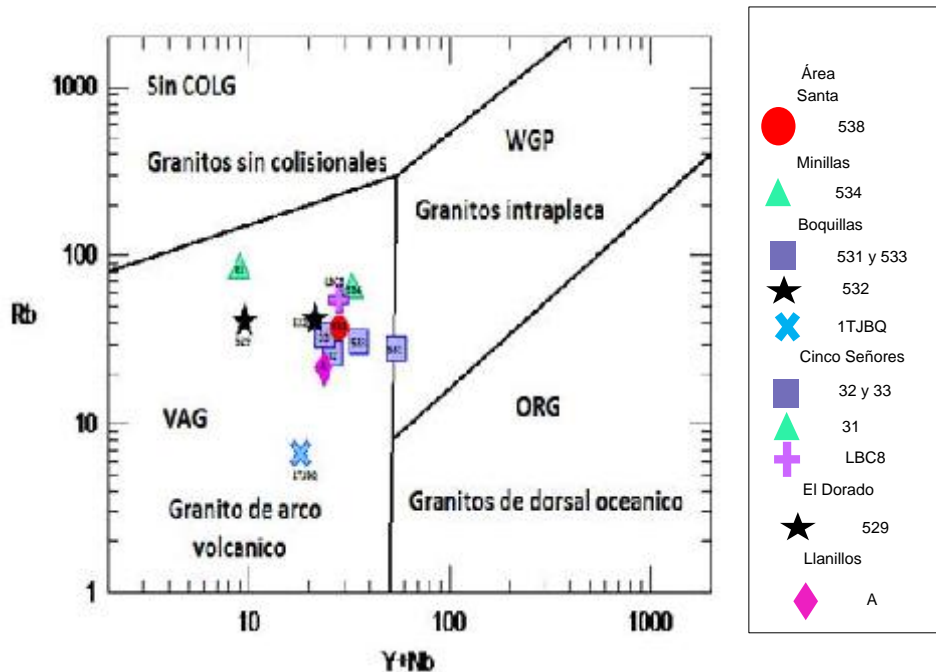


Figura 9. Diagrama de ambiente tectónico de acuerdo a Pearce et al, (1984); prácticamente la totalidad de las muestras que proceden de Las Minas, estado de Veracruz, se asocian a un ambiente de arco volcánico

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Al quedar localizada dentro del Macizo de Palma Sola [19], [17] [6], la región de Las Minas, según el estado del conocimiento actual, quedaría ubicada dentro de la Provincia Alcalina del Oriente de México, para la cual se han desarrollado numerosos y notables trabajos de investigación [5], [25], [20], [1], [28], [22]. Al tratarse de una zona poco explorada y conocida en términos geológicos y depósitos minerales, la zona de Las Minas puede representar un área clave para el mejor entendimiento y conocimiento de la evolución geológica de la porción oriental de México. Los estudios de geoquímica practicados a las muestras colectadas en la zona de Las Minas, reportaron un carácter calciocalino propio de una margen de tipo convergente; asimismo, el ambiente tectónico resultante de las rocas graníticas estudiadas, muestran claramente un carácter de “granito de arco volcánico” propio igualmente de márgenes convergentes. Es bien conocida la relación que existe entre el magmatismo de arco y zonas de subducción [24], [13] relación que llega a ser bastante común a nivel mundial. Por otra parte, la metalogenia asociada a la mineralización de Las Minas presenta mayor afinidad con sistemas magmático-hidrotermales profundos que inician justamente con la formación del skarn derivado de las intrusiones post-Laramílicas sobre las secuencias calcáreas Cretácicas, en ese sentido, y de manera concluyente, las características petrológicas de los intrusivos estudiados presentan una típica diferenciación magmática, desde gabros hasta rocas graníticas, que dieron lugar a la existencia de mineralización de magnetita-bornita-calcopirita con valores de Au, asociada al skarn, petrológicamente definido, con mineralización metálica de tipo IOCG.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean hacer patente su agradecimiento a las empresas Source Exploration, Corp. por permitir el acceso a los sitios de barrenación, a los núcleos de perforación uso de resultados relevantes de la exploración que realiza; de igual manera a Geoconsulting Ingenieros, S.C por el financiamiento de las campañas de campo y por permitir el uso de su laboratorio de petrografía, así como dar acceso y uso de la información geológica y cartográfica que ha generado en el Distrito Minero. Se agradece encomiablemente a las autoridades del cabildo de Las Minas, en particular a la Sra. Isidra Rangel Hernández, Presidenta Municipal, a la familia Rangel por todo el apoyo brindado en las campañas de campo. Al Güero Gil (QEPD) por ser el guía oficial en las prospecciones realizadas. Se agradece de igual forma al Dr. Eduardo González Partida del Investigador titular del Centro de Geociencias de la UNAM, por el financiamiento y trabajo realizado en la geoquímica de elementos mayores y traza que fueron parte del sustento de la tesis profesional de una de los autores del presente manuscrito. Por último, a toda la comunidad de Las Minas, por siempre recibir con los brazos abiertos a los visitantes de su comunidad.

BIBLIOGRAFÍA

- [1]. Aranda-Gómez, J.J., Luhr, J.F., Housh, T.B., Valdez-Moreno, G., Chávez-Cabello, G.: El volcanismo tipo intraplaca del Cenozoico tardío en el centro y norte de México, 2005, Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana: Volumen Conmemorativo del Centenario., LVII(3), pp. 225-187.
- [2]. Castro-Mora, J., Hernández-Pérez, I., Vélez-López, J., Baca-Carreón, J.C.: Monografía Geológico-Minera del estado de Veracruz: Pachuca, Hidalgo, Consejo de Recursos Minerales, 1994.
- [3]. Castro-Mora, J.: Technical report of the field examinations in Las Minas, Veracruz: prepared for Source Exploration, Corp., Geoconsulting Ingenieros, S.C. 2010, 15p.
- [4]. Cerca, M., Ferrari, L., Bonini, M., Corti, G., Manetti P.: The role of crustal heterogeneity in controlling vertical coupling during Laramide shortening and the development of the Caribbean-North America transform boundary in southern Mexico: insights from analogue models, en Grocott, J., Taylor G., Tikoff, B., eds., Vertical coupling and decoupling in the Lithosphere., 2004, Geological Society, Special Publication 227, pp. 140-117.
- [5]. Corriveau, L., and Mumin, H.: Exploring for Iron Oxide Copper-Gold (Ag-BiCo-U) Deposits., 2010, Examples from Canadá and Global Analogues. Short Course Notes, vol. 20, Canada: Geological Association of Canadá, 185 p.
- [6]. Cruz-Huicochea R., Verma S.P.: New critical values for F and their use in the ANOVA and Fisher's F tests for evaluating geochemical reference material granite G-2 from USA and igneous rocks from the Eastern Alkaline Province of México. *J Iberian Geology*, 2013, vol. 39, pp. 30-13.
- [7]. Damon, P.E., Shafiqullah, M., and Clark, K.F.: Age trends of igneous activity in relation to metallogenesis in the southern Cordillera: in Relations of tectonics to ore deposits in the southern Cordillera, Arizona Geol. Soc. Digest, 1981, vol. 14, pp. 153-137.

- [8]. Dorantes–Castro, C.G.: Características Petrológicas y Geoquímicas de los Intrusivos Relacionados a la Mineralización y Paragénesis del Skarn tipo IOCG en la Zona Minera de Las Minas, Estado de Veracruz, Instituto Politécnico Nacional, Tesis de Licenciatura, 2016, 120 p.
- [9]. Einaudi M.T., Meinert L.D., and Newberry R.J.: Skarn deposits, 1981, *Econ. Geol.*, 75th anniversary volume, pp. 391-317.
- [10]. Einaudi, M. T.: Description of Skarns associated with porphyry copper plutons, *Advances in geology of the porphyry coppers deposits*, Tucson, south western north America, university of Arizona Press, 1982, pp. 184-139.
- [11]. Groves D. I. P., Bierlein F. P, Meinert L. D, and Hitzman M. W.: Iron oxide copper–gold (IOCG) deposits through Earth history; implications for origin, lithospheric setting, and distinction from other epigenetic iron oxide deposits, 201, *Economic Geology* 105, pp. 654-641.
- [12]. Gutiérrez, A.E.: Estudio Metalogenético del Yacimiento de Guaynopa Municipio de Madera Chihuahua: hacia una tipología del yacimiento del espécimen óxido de hierro, cobre y oro (IOCG), Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, Posgrado en ciencias de la tierra, Centro de Geociencias, 2015, 105 pp.
- [13]. Hedenquist, J.W. and Lowenstern, J.B.: The role of magmas in the formation of hydrothermal ore-deposits. *Nature*, v. 370, p. 519-527
- [14]. Hitzman, M. W., Oreskes, N., & Einaudi, M. T.: Geological characteristics and tectonic setting of Proterozoic iron oxide (Cu-U-Au-REE) deposits, 1992, *Precambrian Research* 58, pp. 287-241.
- [15]. Lentz, D.R.: Petrogenetic and Geodynamic Implications of Extensional Regimes in the Phanerozoic Subduction Zones and their Relationship to VMS-forming Systems, 1998, *Ore Geology Reviews* 12, pp. 327-289.
- [16]. Marschik R, Fontbote L.: Copper (-iron) mineralization and superposition of alteration events in the Punta del Cobre Belt, Northern Chile: in Camus E, Sillitoe R H, Peterson R (Eds), *Andean Copper Deposits*, 1996. New Discoveries, Mineralisation, Styles and Metallogeny Soc. *Econ. Geol. Spec Pub no. 5* pp. 190-171.
- [17]. Mumin A. H., Somarin A. K., Jones B., Corriveau L., Ootes L., and Camier. J.: The IOCG-Porphyry-Epithermal Continuum of Deposits Types in the Great Bear Magmatic Zone, Northwest Territories, 2010, Canada. *Short Course Notes*, vol. 20.
- [18]. Ordoñez, A.: Las barrancas de las Minas y de Tatatila (México), 1904, *Soc. Geol. Mex, Boletín* 1, pp. 133-119.
- [19]. Ortega-Gutiérrez, F., Mitre-Salazar, L. M., Roldán-Quintana, J., Aranda Gómez, J. J., Morán-Zenteno, D. J., Alaniz-Álvarez, S. A., Nieto Samaniego, Á. F.: Carta geológica de la República Mexicana, quinta edición escala 1:2.000,000: México, D. F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología; Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, Consejo de Recursos Minerales, 1992.
- [20]. Pearce, J. A., Harris, N. W. & Tindle, A. G.: Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks, 1984, *Journal of Petrology* 25, pp. 983-956.
- [21]. Pollard, P. J.: An intrusion-related origin for Cu–Au mineralization in iron oxide– copper–gold (IOCG) provinces, 2006, *Mineralium Deposita* 41, pp.187-179.

- [22]. Ramirez-Fernandez., J.A., Keller J. and Hubberten, H.W.: Relación genética entre las carbonatitas y las rocas nefeliniticas del complejo Picacho, Sierra de Tamaulipas, NE de México, 2000, Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, vol. 7, no, 1, pp. 55-45.
- [23]. Salinas-Rodríguez, J.M., Lenus-Buston, O.: Carta geológica Minera y Geoquímica perote, E14-B26, escala 1:50,000, estado de Veracruz Pachuca, Hidalgo, México, Servicio Geológico Mexicano, informe técnico, 2007, 156 pp.
- [24]. Sillitoe. R.H.: Characteristics and controls of the largest porphyry copper-gold and epithermal gold deposits in the circum-Pacific region: Australian Journal of Earth Science, 1997, v.44, p. 373-388
- [25]. Sillitoe, R.H.: Iron oxide-copper-gold deposits: And Andean view, 2003, Mineralium Deposita 38, pp. 812-877
- [26]. Streckeisen, A. L.: Classification and nomenclature of igneous rocks, 1967, Neues jahrbuch fur mineralogy 07, pp. 240-114.
- [27]. Tritlla, J., Camprubi, A., García, C., et. al.: Estructura y Edad del depósito equivalente de Peña Colorado (Colima) un posible equivalente fanerozoico de los depósitos de tipo IOCG, 2003, Revista mexicana de Ciencias Geológicas V, 20, núm. 3, pp. 201-182.
- [28]. Viera-Décida, F., Ramírez-Fernández, J.A., Velasco-Tapia, F. & Orozco-Esquivel, M.T.: Relaciones petrogenéticas del magmatismo en la Provincia Alcalina Oriental Mexicana, Ciencia, UANL, 2009, Vol. XII, No. 1, p. 49-42.
- [29]. Williams, P. J., Barton, M. D., Johnson, D. A., et. al.: Iron Oxide Copper- Gold Deposits: Geology, Space Time Distribution, and Possible Modes of Origin. Society of Economic Geologists, 2005, Inc. Economic Geology 100th Anniversary Volume, pp. 399-371.