



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**GEOLOGÍA Y MINERALIZACIÓN EN EL
PROYECTO LA Balsa, MUNICIPIO DE LÁZARO
CÁRDENAS, ESTADO DE MICHOACÁN**

T E S I S

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO GEÓLOGO**

P R E S E N T A :

JOSÉ ALFREDO VIZUETH GARCÍA



**DIRECTOR DE TESIS:
DR. CARLOS E. GARZA GONZALEZ
2015**

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer totalmente a mis padres quienes estuvieron apoyando todo el tiempo en esta importante etapa de mi vida. También a mis hermanos Carlos y Alberto agradezco sus ánimos cuando parecía que me iba a rendir.

A mis compañeros del cubículo 6, de la generación 2007 y de la Agencia Especializada en Servicios Integrales para el Campo, quienes me apoyaron a escribir y concluir esta tesis.

Especialmente al Dr. Carlos Eduardo Garza, director de mi tesis quien me exigió al límite de mis habilidades de redacción y estuvo al tanto de las correcciones y dudas que salieron en el proceso.

Al Ing. Miguel Vera quien me motivo en el primer paso para titularme.

Al Ing. Fernando Rosique que ha sido un amigo y consejero, por prestarme su cubículo y computadora en momentos importantes en la edición de las imágenes y mapas de mi tesis.

A los sinodales quienes estudiaron mi tesis y la aprobaron.

Particularmente agradezco al señor Juan José, que concentró sus conocimientos en la enseñanza y la elaboración de las láminas delgadas y superficies púldas para la realización de la petrografía y mineragrafía de mis muestras; punto crucial en el desarrollo de este trabajo.

A la compañía Minera Montoro que concedió la información necesaria para la realización de esta tesis.

A mis maestros quienes nunca desistieron a enseñarme y que continuaron depositando su esperanza en mí.

RESUMEN

El proyecto La Balsa está localizado en el Estado de Michoacán, México aproximadamente a 11.2 Km al noroeste de Lazaro Cárdenas, en las inmediaciones de la localidad de Guacamayas.

El proyecto consiste en zonas de brechas hidro-magmáticas mineralizadas de cobre encajonado sobre rocas intrusivas porfídicas que varían entre cuarzomonzonita y cuarzodiorita (pórfido adamelítico) con afinidad a sistemas de pórfidos cupríferos; limitado por coladas masivas de andesita-basalto al norte, al sur por grauvaca con sedimentos marinos y al este por cuerpos de granodiorita. La mineralización de cobre tiende a manifestarse superficialmente en forma de carbonatos y óxidos de cobre y hierro que se encuentran mayormente alojados a lo largo de las fracturas; así como en sulfuros secundarios (covelita y calcocita) en ocasiones en forma de reemplazamientos diseminados y rellenos entre los intersticios de las brechas. Mientras las mineralizaciones de cobre hipogénicas se manifiestan en forma de sulfuros de Cu y Fe (pirita, calcopirita y bornita) que están como diseminaciones sobre toda la roca, en rellenos de vetillas, a lo largo de fracturas y rellenos en los bordos y intersticios de las brechas.

La mineralización de cobre esta principalmente contenida en tres depósitos: La Virgen, Iguana Prieta y Playa Azul. El depósito La Virgen es un cono invertido que va estrechándose hasta inclinarse hacia el oeste debido al contacto intrusivo entre la cuarzomonzonita mientras Iguana Prieta es una chimenea que tiene forma en niveles someros de un elipsoide que va estrechándose a profundidad hasta los 60 m pero continúa a profundidad. Asimismo en el lote de Playa Azul consiste en cuerpos lenticulares que están en contacto con la grauvaca presentando un alineamiento N70E y es la continuación lateral del cuerpo de Iguana Prieta.

La principal alteración hidrotermal asociada con la mineralización es la cuarzo-sericitica (fílica) que se extiende por todo el área del proyecto La Balsa. El cuarzo generalmente está presente tanto en los stockworks como en rellenos de grano fino; la sericita por su parte, se manifiesta en reemplazamientos de color blanco sobre las plagioclasas, así como en rellenos de vetillas asociados con mena. Asimismo se manifiesta alteración potásica en forma de masas lenticulares y vetillas de feldespatos potásicos a profundidades entre los 15 y 50 m que están íntimamente relacionados con la mineralización de calcopirita y bornita; sin embargo solo se ha identificado en el centro del cuerpo de Iguana Prieta con estudios petrográficos que muestran reemplazamientos parciales y en ocasiones totales de feldespato potásico sobre fenocristales de plagioclasas a profundidades que en ocasiones son cubiertos parcialmente por sobreimpresiones de sericita-cuarzo con mena. El basalto y la andesita (Kab) y la granodiorita que afloran en el noroeste y este del área de estudio, generalmente muestran una alteración propílica.

En los depósitos de Iguana Prieta, La Virgen y Playa Azul las reservas medidas e indicadas suman 11.4 millones de toneladas con una ley de 0.77% de cobre; el volumen determinado de mineralización hipogénica asciende a 7.66 millones de toneladas con una ley de 0.67% de cobre. Sin embargo se puede expandir las reservas conocidas probablemente a través de barrenación adicional a lo largo de las extensiones del depósito de Playa Azul hacia el Norte-Noroeste y también identificar a profundidad el cuerpo principal de la mineralización (posible pórfido de cobre sepultado).

ABSTRACT

The project La Balsa is located in the state of de Michoacan, Mexico approximately 11.2 Km al northwest from Lazaro Cárdenas, in the near town of Guacamayas.

The project consist in copper hidromagmatic breccias mineralized zones encased on intrusive porphyry rocks between quartz-monzonite and quartz-diorite (adamelitic porphyry) having affinity with the copper porphyry systems; limited for andesite-basalt massive flows to the north, to the south greywacke with marine sediments and to the east microgranodiorite. The copper mineralization tends to the manifest superficially in carbonates form and copper and iron oxides that are found mainly to the along of the fractures; as well as secondary sulfide (covelite y calcocite) that sometimes in demonstrations of spread replacements and breccias fillings between interstices. While the copper hipogene mineralization manifest en sulfide of copper and iron forms (pyrite, chalcopirite y bornite) that are like spread about all rock, en fillings of veinlets, along of fractures and fillings in the breccias edges and interstices. The copper mineralization is contained principally in three deposits: La Virgen, Iguana Prieta and Playa Azul. La Virgen deposit is an inverted cone which narrows to lean toward due to the intrusive contact between the cuarzomonzonite and the greywacke, while Iguana Prieta is a pipe in shallows levels shaped of ellipsoid that narrow to depth, until 60 meters, but continue the brecciation a high depth. Also in the Playa Azul deposit consist in lenticular bodies that they are in contact with mainly greywacke showing alignment to the N70E and it is the lateral continuation of Iguana Prieta body.

The principal hydrothermal alteration associated with the mineralization is the quartz-sericite (philic) that it extends for all area of the project La Balsa, particularly about the quartz-monzonite. The quarts generally is present such in the stockworks like displays of fine grained fillings; meanwhile the sericite manifest in white color replacements on plagioclase, as well as veinlets associated with the ore. Also there are alteration potassic manifestation in lenticular masses and veinlets of potassic feldspar associated with ore, identified to depth between the 15 and 50 meters that are intimately relationed with the chalcopirite and bornite mineralization; though it has been identified only in the body Iguana Prieta center with petrographic studies that show feldspar potassic partial replacements and total sometimes on plagioclase phenocrystals to depth about 40 meters that often they are partially covers for sericite-quartz overprints with ore. The basalt and andesite (Kab) and the microgranodiorte outcropping in the northwest and east of the study area, generally show a propylitic alteration.

In Iguana Prieta, La Virgen and Iguana Prieta deposits; the measure and indicated resources add 11.4 million tons with a 0.77% copper grade; the determinate volume of hipogenic mineralization amount to 7.66 million tons with a 0.67% copper grade. However can extend the know resources probably through of additional drilling along of the Playa Azul deposit extensions to the North-northwest and also identify to depth the mineralization principal body (copper porphyry system buried).

INDICE

1. GENERALIDADES	7
1.1. Objetivos del estudio.	7
1.2. Localización y extensión del área.....	7
1.3. Vías de comunicación.....	9
1.4. Población y cultura.....	10
1.5. Clima y vegetación.	10
1.6. Método de trabajo	17
2. FISIOGRAFIA	20
2.1. Provincia fisiográfica	20
2.2. Geomorfología	22
2.3. Hidrología	23
3. GEOLOGÍA REGIONAL	26
3.1. Estratigrafía regional	26
3.1.1. Rocas metamórficas pre-cretácicas	27
3.1.2. Rocas intrusivas del Jurásico Medio-Superior.....	29
3.1.3. Las secuencias vulcanosedimentarias del Cretácico	29
3.1.4. Rocas plutónicas del Cenozoico-Paleógeno	30
3.1.5. Depósitos recientes.....	31
3.2. Evolución tectónica.....	31
3.3. Geología Estructural.....	38
4. YACIMIENTOS MINERALES	41
4.1. Bosquejo histórico de la exploración en el proyecto “La Balsa”	41
4.2. Marco geológico local.	43
4.2.1. Coladas Masivas de Basalto-Andesita (Kab).....	46
4.2.2. Grauvaca (Kgw)	47
4.2.3. Toba (Kwt)	49
4.2.4. Microgranodiorita (Tkgd)	51
4.2.5. Cuarzomonzonita y cuarzodiorita (Tmp).....	52
4.2.6. Riolita porfídica e ignimbritas (Tr).....	56
4.2.7. Andesita post-mineral (Ta).....	56
4.2.8. Aluvión (Qal).....	57

4.3.	Rocas Encajonantes.....	58
4.4.	Estructuras Mineralizadas.....	59
4.4.1.	La Virgen.....	63
4.4.2.	Iguana Prieta	65
4.4.3.	Playa Azul	69
4.5.	Alteraciones hipogénicas	70
4.6.	Petrografía de las alteraciones hidrotermales.....	73
4.7.	Mineralización e ideas del zoneamiento.....	88
4.7.1.	Paragénesis.....	88
4.7.2.	Mineragrafía.....	91
4.7.3.	Paragénesis y sucesión	95
4.7.4.	Distribución de la mena	96
4.7.5.	Ideas del zoneamiento.....	98
4.8.	Hipótesis genéticas.....	99
5.	POTENCIAL ECONÓMICO-MINERO.....	110
5.1.	Barrenación con diamante.....	110
5.1.1.	Antecedentes	110
5.1.2.	Primera fase	111
5.1.3.	Segunda fase	113
5.2.	Tipos de reservas.....	115
5.2.1.	Definición del modelo de bloque	115
5.2.2.	Clasificación de reservas	117
5.3.	Prospectos.....	119
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	124
	Bibliografía.....	127
	ANEXOS	133

1. GENERALIDADES

1.1. Objetivos del estudio.

Con base en el conocimiento geológico y la información económica adquirida, el objetivo fundamental de la presente investigación consiste en generar nueva información sobre la paragénesis y alteraciones hidrotermales del depósito cuprífero del proyecto La Balsa, con miras a reconocer perspectivas de exploración y aprovechamiento de los recursos minerales.

En el contexto geológico del depósito, la información generada tuvo sustento en la consumación de los siguientes objetivos específicos:

- Desarrollo de trabajo cartográfico para precisar contactos y conocer mejor la distribución de las diversas unidades litológicas
- Elaborar un modelo de distribución de las alteraciones hidrotermales y analizar sus relaciones con la mineralización.
- Conformar un modelo de génesis de la mineralización que permita tomar decisiones en la exploración y evaluación de los cuerpos mineralizados.
- Proponer una actualización en los perfiles geológicos para mejorar el análisis del modelo de los cuerpos mineralizados.

1.2. Localización y extensión del área.

El proyecto La Balsa se encuentra ubicado en los límites del Municipio de Lázaro Cárdenas, Estado de Michoacán, a aproximadamente a unos 11 Km hacia el noreste de la ciudad del mismo nombre, y 4.82 kilómetros rectos al Noroeste de la población de Guacamayas (figura 1 y 1a).

El Municipio de Lázaro Cárdenas limita al Este con el Estado de Guerrero, al Sur con el Océano Pacífico y al Norte y Oeste con los municipios de Arteaga y Aquila, respectivamente. Presenta una área de 1,160.24 km² y representa un 1.97 % del total del Estado. Su distancia a la capital del Estado es de 401 km por carretera.

El centro del área donde se localiza el proyecto, se ubica en coordenadas geográficas 18° 03' 41.238" de Latitud Norte y 102° 12' 59.387" de Longitud Oeste a una altura de 180 metros sobre el nivel del mar, con una superficie de 57-32-98.50 hectáreas correspondientes a los lotes mineros de Iguana Prieta, Playa Azul y La Virgen respectivamente, localizados al norte de la Localidad de Guacamayas, Municipio de Lázaro Cárdenas, Michoacán, a una distancia de 5.100 km. sobre el tramo carretero Guacamayas-Las Minitas.

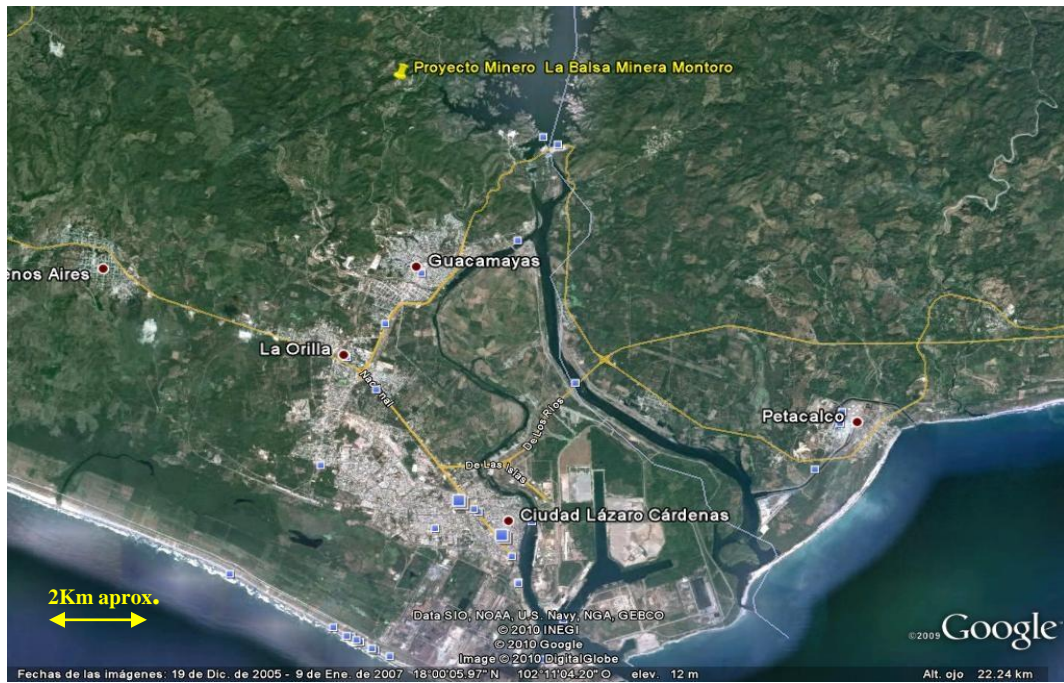


Figura 1. Localización del proyecto “La Balsa”

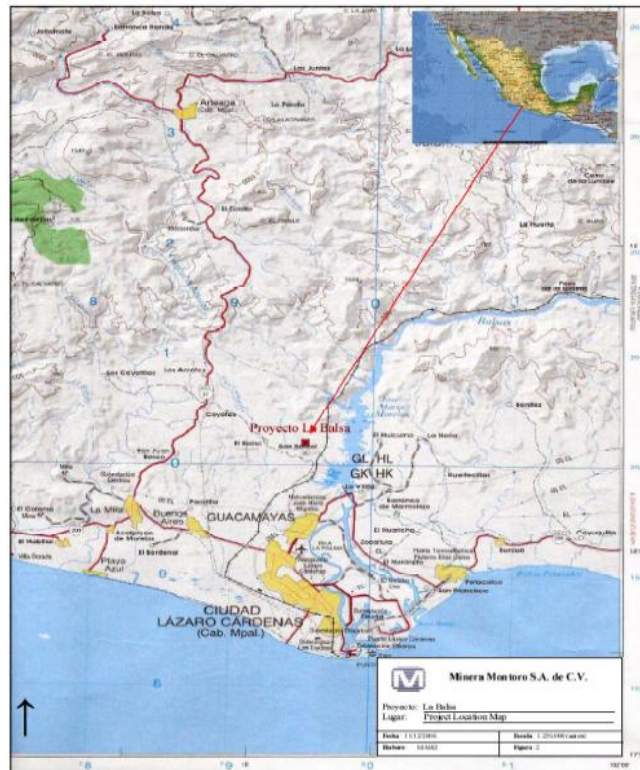


Figura 1a. Localización del proyecto “La Balsa”.

1.3. Vías de comunicación.

El área de estudio se comunica por la carretera Morelia-Lázaro Cárdenas en sus tramos Morelia-Uruapan y Uruapan-Playa Azul, que entronca con la vía La Mira-Lázaro Cárdenas y la carretera costera; la misma se comunica con Colima y Guerrero. También se presenta un boulevard playero pavimentado de Playa Azul a Playa Erendira a 5 km de la zona urbana, con una longitud de 14 Km.

Cuenta con servicio de ferrocarril de carga que circula desde Lázaro Cárdenas a Kansas City, E.U.A. La vía del ferrocarril también pasa por las cercanías del área del proyecto “La Balsa” a una distancia de 20 m (Figura 2).



Figura 2. Vista que muestra el servicio del ferrocarril.

En Lázaro Cárdenas se cuenta con servicio de transporte colectivo en diferentes rutas que dan la ventaja de comunicarse con varias colonias, tenencias, e incluso con comunidades de Guerrero; además cuenta con un ruta colectiva que se comunica con rancherías cercanas al proyecto La Balsa, la que empieza desde el centro de Lázaro Cárdenas y atraviesa por las inmediaciones de la localidad de Guacamayas, recibiendo el nombre de Ruta 2, Guacamayas y Miguel M. Ponce.

El municipio de Lázaro Cárdenas cuenta con el Aeropuerto Nacional de Ciudad Lázaro Cárdenas, ubicado en la tenencia de Las Guacamayas,

Las instalaciones del Puerto Lázaro Cárdenas están equipadas y calificadas para cubrir con eficiencia, seguridad y productividad todas las actividades

comprendidas en un puerto industrial y comercial de su magnitud. El puerto está acondicionado para recibir navíos de grandes dimensiones y todo tipo de cargas. Dicho puerto es el único de México con 18.00 metros de profundidad en su canal de acceso y 16.50 metros de profundidad en la dársena principal de ciaboga (área marítima dentro del puerto donde los buques realizan las maniobras de giro y revide con el fin de enfilarse hacia las distintas zonas del puerto). Es además, el único puerto protegido que puede recibir embarcaciones de hasta 165 mil toneladas de desplazamiento.

1.4. Población y cultura.

Recientemente, en el conteo de población y vivienda realizado en el 2010 por el [INEGI](#), el municipio de Lázaro Cárdenas contaba en ese año con una población de 315 mil habitantes.

La población ha alcanzado en su proceso de urbanización un nivel de servicios intermedio, abajo del nivel de un centro estatal y una ciudad prioritaria, que le son establecidas en el Programa Estatal de Desarrollo Urbano.

Lázaro Cárdenas se identifica como centro concentrador de servicios y equipamiento regional estatal, del que dependen varias localidades. Dejando a lado lo anterior, la ciudad de Lázaro Cárdenas no ha resuelto su problemática urbana propia, limitando su capacidad para participar en el mayor desarrollo de su municipio y localidades vecinas.

No obstante, en Lázaro Cárdenas se presenta una situación deficitaria en los ámbitos de edificios para la cultura, recreación, deporte, salud y asistencia social, así como su distribución con tendencias a la concentración y consecuente distorsión en la relación funcional con la población servida, aunado a que algunas instalaciones se encuentran mal ubicadas respecto de los usos del suelo en su entorno, como lo es la zona industrial portuaria y el comercio informal.

1.5. Clima y vegetación.

El clima predominante de la región es de tipo semicálido a subhúmedo con temperatura media anual de 22°C (figura 3).

Con respecto a la clasificación climática de Köppen modificado por Enriqueta García (1981), el clima corresponde a Aw (cálido a semicálido), con subtipo 1i(w), subhúmedo con régimen de lluvias en verano y porcentaje de lluvias invernal a 5, ya en conjunto se tiene Aw1i(w) (una clasificación de clima).

Se presenta una temperatura mayor anual de 26°C; en el mes más frío está sobre los 18°C. Así mismo, la oscilación anual de las temperaturas medias mensuales es menor de 5°C (isoterma) de acuerdo a datos de la CNA en 1999.

De acuerdo a las cartas de efectos climáticos del INEGI (1989), en la región en donde se ubica el proyecto, presenta un marcado contraste entre la cantidad de precipitación que ocurre en el lapso comprendido entre mayo y octubre y aquella que se da en el resto del año, situación que no se observa en la variación de las temperaturas entre ambos intervalos de tiempo, lo que indica que fundamentalmente existe una sola época de lluvia en el año y que siempre prevalecen condiciones cálidas.

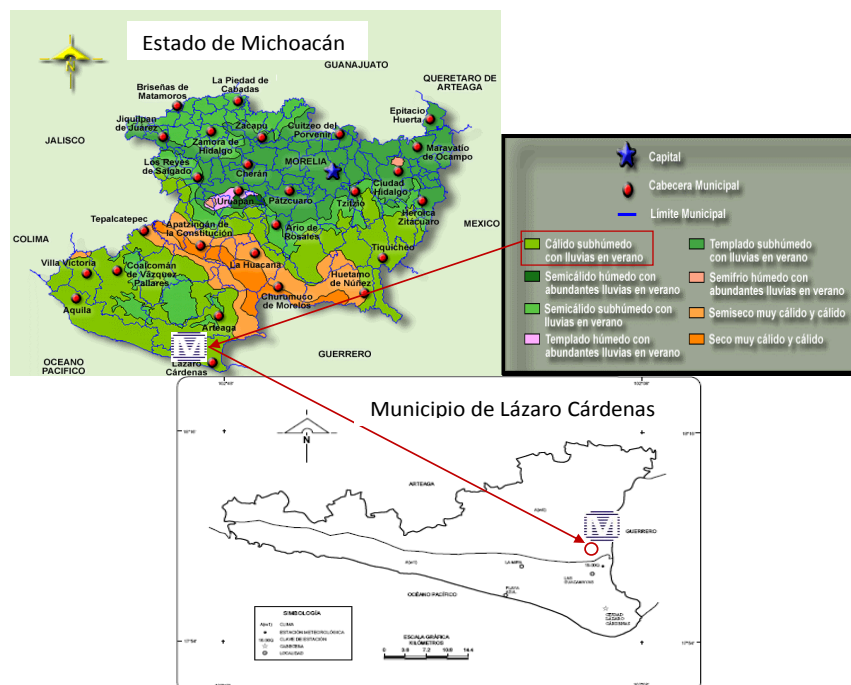


Figura 3. Distribución de tipo de clima del área proyecto la Balsa. (FUENTE: INEGI, 2005)

Según la estación meteorológica denominada La Villita, ubicada aproximadamente a 4 km al este junto a la cortina de la presa de almacenamiento José María Morelos, en las coordenadas 18° 02' 54" de latitud Norte y 102° 12' 54" de longitud Oeste, la cual es operada por la Comisión Federal de Electricidad (CFE), se tienen los siguientes datos (Tabla 1):

Tabla 1. Datos meteorológicos de la estación La Villita, Presa José María Morelos, distrito de riego 098 (valores promedio basados en observaciones de 1976 al año 2000).

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Temperatura máxima (°C)	34.14	34.75	34.75	35.49	36.06	36.02	35.98	36.00	34.95	34.96	35.08	34.28	35.205
Temperatura mínima (°C)	18.84	19.16	18.82	19.4	20.86	22.24	22.10	22.5	22.08	22.44	21.54	20.5	28.039
Temperatura media (°C)	26.28	26.74	26.89	27.51	28.71	29.13	28.97	29.01	28.41	28.52	28.18	27.25	28.015
Evaporación (mm)	120.95	137.34	185.15	196.36	200.87	172.56	157.05	151.74	123.33	123.48	117.85	110.67	1797.350
Precipitación (mm)	24.29	0.88	1.22	0.00	13.36	198.06	249.45	239.33	342.66	161.42	34.7	5.62	1270.99

Fuente: Comisión Nacional del Agua

La precipitación pluvial muestra una oscilación entre los 0 a los 342 mm; se presenta en su gran mayoría en verano, manifestándose en escasos aguaceros. La precipitación media anual es de 1270 mm, entre la mínima media mensual de 0.00 mm a la máxima media mensual de 342 mm, presentándose en los meses de Junio, Julio, Agosto, Septiembre y un poco en Octubre (Figura 4).

También según la estación, se tiene que de mayo a octubre la temperatura media máxima es superior a 33°C y la temperatura media mínima es por arriba de los 21°C, mientras que la precipitación se encuentra entre los 1,000 y los 1,200 mm, ocurriendo entre 60 y 89 días con lluvias apreciables, es decir por arriba de los 0.1 mm. Por otra parte, de noviembre a abril la precipitación se reduce sensiblemente a valores entre 50 y 75 mm, con menos de 29 días de lluvia, siendo la temperatura media máxima de noviembre a enero mayor a 30°C y la media mínima por arriba de los 18°C para el mismo período.

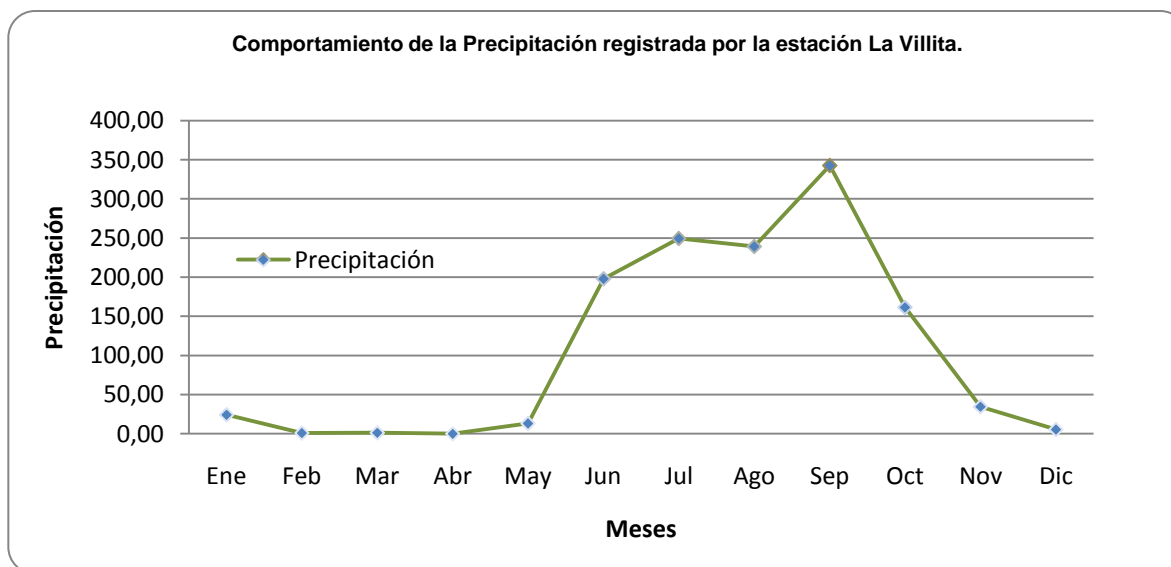


Figura 4. Comportamiento de la Precipitación en la región del proyecto La Balsa (FUENTE: Comisión Nacional del Agua, 2005).

Se analizó la vegetación y la flora del sitio del proyecto basándose en el conocimiento de las especies presentes y el arreglo poblacional de cada una de ellas; además de considerar los rasgos morfológicos de las especies más importantes y las características ambientales de la zona (Minera Montoro, 2010).

Los tipos de vegetación que se desarrollan en las inmediaciones del sitio del proyecto fueron delimitadas con base en la consulta bibliográfica de la región de Lázaro Cárdenas, Michoacán y de los mapas de uso del suelo y cartografía disponible editada por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 1983), así como la verificación en campo para comprobar la coincidencia de tales arreglos entre especies.

Englobando la parte del estado de Michoacán, en donde se localiza el proyecto "La Balsa" basado en el Estudio Técnico Justificado de Cambio de Suelos que realizó Minera Montoro en el 2012 se encuentra que la vegetación está dentro del *Reino Neotropical, de Selva Baja Caducifolia con asociación de encinos* la cual se distribuye en la mayor parte de la cuenca del Balsas teniendo en cuenta la referencia de Jerzy Rzedowski (1978), usando la clasificación establecida por INEGI.

La *Selva Baja Caducifolia* se desarrolla en condiciones climáticas en donde predominan los tipos cálidos subhúmedos, semisecos o subsecos. El más común es el Aw, aunque también se presenta BS y Cw. El promedio de temperaturas anuales es superior a 20°C. Las precipitaciones anuales que soporta dicha selva, son de 1200 mm como máximo, teniendo como mínimo a los 600 mm con una temporada seca bien marcada, que puede durar hasta 7 u 8 meses y que es muy severa. Se le puede encontrar desde el nivel del mar hasta los 1,700 m.s.n.m., rara vez hasta los 1,900 m.s.n.m., principalmente sobre laderas de cerros con suelos de buen drenaje. Esta selva presenta corta altura de sus componentes arbóreos (normalmente de 4 a 10 m, muy eventualmente de hasta 15 m o un poco más). El estrato herbáceo es bastante reducido y solo se le puede apreciar después de que ha empezado claramente la época de lluvias y retoñan o germinan las especies herbáceas.

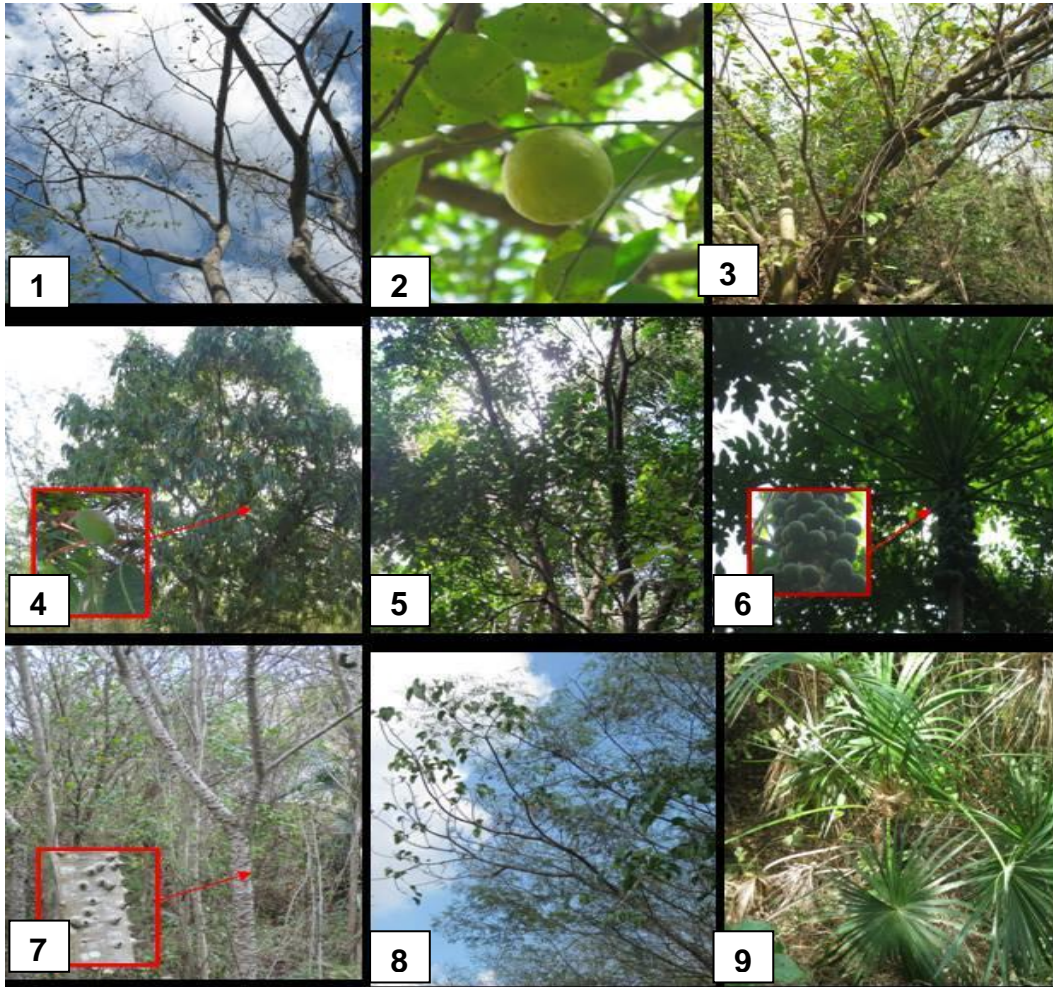


Figura 5. Especies forestales que se distribuyen dentro del proyecto “La Balsa”, tales como (1) Parotillo buba (*Enterolobium cyclocarpum*), (2) Limonero (*Citrus limonum*), (3) Tablote (*Guazuma ulmifolia*), (4) Mango (*Mangifera indica*), (5) Toronjo (*Citrus paradisi*), (6) Papayo (*Carica papaya*), (7 y 8) Habillo (*Hura poliandra*) y (9) Palma real (*Brahea nítida*).

La comunidad de la *Selva Caducifolia* consiste en el dominio de especies de gran altura por arriba de los 15 m, desarrollándose preferentemente sobre suelos someros de laderas de cerros bajos de buen drenaje, en las partes altas de los lomeríos de baja altura sobre material geológico compuesto por granito y tobas. Su distribución es amplia, principalmente sobre toda el área del proyecto. Las especies representativas de esta comunidad vegetal son: Espino (*Pithecellobium lanceolatum*), Huizachillo (*Acacia cymbispina*), Cazahuate (*Ipomoea murucoide*), Crusillo (*Randia rhagocarpa*), Palo Santo (*Aralia regeliana*), Frutilla (*Lantana frutilla*), Encino Chaparro (*Quercus ilex*), Zuzucua (*Salpianthus purpurascens*), Laurel (*Litsea glaucens*), Falso Pimentero japonés (*Operculicarya decaryi*), Frijolillo (*Caesalpinia platyloba*), Cóbano (*Swietenia humilis*), carnezuelo (*Acacia cochliacantha*), Periquito (*Sennapallida*), Parotillo buba (*Enterolobium cyclocarpum*), Hediondillo (*Acacia acatlensis*), Lechosa (*Stemmadenia obovata*),

Tablote (*Guazuma ulmifolia*), Copal (*Bursera coyucensis*), Palma real (*Brahea nítida*) y Habillo (*Hura poliandra*), entre otras (Figura 5).

La asociación de los encinos en el área se distribuye como una asociación importante con la Selva Baja Caducifolia (Tabla 2), sobre la mayor parte del área de estudio principalmente sobre el área menos perturbada por actividades agrícolas y frutícolas, ocupando una superficie de 32-79-03.856 hectáreas de los lotes mineros Iguana Prieta, Playa Azul y La Virgen, respectivamente, lo que representa el 57.20% de la superficie total del área del proyecto (Figura 6 y Tabla 2.a).

La densidad y diversidad de especies forestales existentes es más abundante sobre las exposiciones norte, noreste y noroeste las que están representadas por área cerril, mientras que el género *Quercus* se distribuye en grupos o solitarios con alturas por arriba de los 15 m.

El género *Quercus* consiste en bosques que generalmente se encuentran como una transición entre los bosques de coníferas y las selvas, pueden alcanzar altitudes que van desde los 4 hasta los 30 m más o menos abiertos o muy densos; se desarrollan en muy diversas condiciones ecológicas desde casi el nivel del mar hasta los 3,000 metros de altitud, salvo en las condiciones más áridas, y se les puede encontrar en casi todo el país.



Figura 6. Vegetación característica de selva baja caducifolia en asociación con encinos compuestas por especies como *Espino* (*Pithecellobium lanceolatum*), *Huizachillo* (*Acacia cymbispina*), *Crusillo* (*Randiarhagocarpa*), *Palo santo* (*Aralia regeliana*) entre otras especies de amplia distribución.

Tabla 2. Especies de flora silvestre existente dentro del área del proyecto. (Informe inédito. Estudio Técnico Justificativo de cambio de suelos, Minera Montoro, 2012)

Nombre Común	Nombre Científico	Forma biológica	Estado actual			Estatus
			Común	Frecuente	Escasa	
Espino	<i>Pithecellobium lanceolatum</i>	Arbórea	X			N.E
Huizache	<i>Acacia cymbispina</i>	Arbórea	X			N.E
Mango	<i>Mangifera indica</i>	Arbórea			X	N.E
Cazahuate	<i>Ipomoea murucoide</i>	Herbácea		X		N.E
Crusillo	<i>Randiar hagocarpa</i>	Arbustiva		X		N.E
Palo santo	<i>Aralia regeliana</i>	Arbórea		X		E
N.D.	<i>Gleditsiatricanthos</i>	Arbustiva			X	N.E
Frutilla	<i>Lantana frutilla</i>	Herbácea		X		N.E
Encino chaparro	<i>Quercusilex</i>	Arbórea			X	N.E
Zuzucua	<i>Salpianthus purpurascens</i>	Arbustiva		X		N.E
Laurel	<i>Litsea glaucens</i>	Arbustiva		X		N.E
Falso pimentero japonés	<i>Operculica ryadecaryi</i>	Arbustiva			X	N.E
Ciruelo	<i>Spondias mombin</i>	Arbórea		X		N.E
Frjolillo	<i>Caesalpinia platyloba</i>	Arbórea		X		N.E
Cóbano	<i>Swietenia humilis</i>	Arbórea	X			N.E
Carnezuelo	<i>Acacia cochliacantha</i>	Arbustiva	X			N.E
Periquito	<i>Sennapallida</i>	Herbácea		X		N.E
Parotillo buba	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Arbórea		X		N.E
Hediondillo	<i>Acacia acatensis</i>	Arbórea		X		N.E
Lechosa	<i>Stemmadeni aobovata</i>	Arbórea	X			N.E
Limonero	<i>Citrus limonum</i>	Arbórea			X	N.E
Tablote	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Arbórea	X			N.E
Copal	<i>Burceracoyucensis</i>	Arbórea		X		N.E
Toronjo	<i>Citrus paradisi</i>	Arbórea			X	N.E
Papayo	<i>Carica papaya</i>	Arbórea			X	N.E
Palma real	<i>Braheanitida</i>	Arbustiva			X	N.E
Habillo	<i>Hura polyandra</i>	Arbórea		X		

Nota: N.E. No Endémico; E = Endémico

Tabla 2.a. Tipos de vegetación existentes en el área (Informe inédito: Estudio Técnico, Cambio De Uso de Suelo. Realizado por Minera Montoro, 2012).

TIPO DE VEGETACIÓN	Clave	Extensión en km ²	PORCENTAJE EN %
Selva Baja Caducifolia con encinar	(SBC-q)	32.7903856	57.20
Áreas sin vegetación aparente	(Asv)	24.53946	42.80
Total		57.32985	100

1.6. Método de trabajo

Con motivo de un trabajo realizado por el suscrito en la empresa Minera Montoro S.A. de C.V. durante 6 meses, desde principios de agosto del 2011 hasta finales de febrero del 2012, se realizó un análisis de los núcleos de barrenos con diamante, por lo que se decidió realizar una recopilación y análisis sobre la geología y la mineralización que se ubican dentro del área del proyecto La Balsa, con el propósito fundamental de definir estrategias de exploración.

Para lograr la consumación de los objetivos planteados, las actividades se desarrollaron de acuerdo al programa de la figura 7:

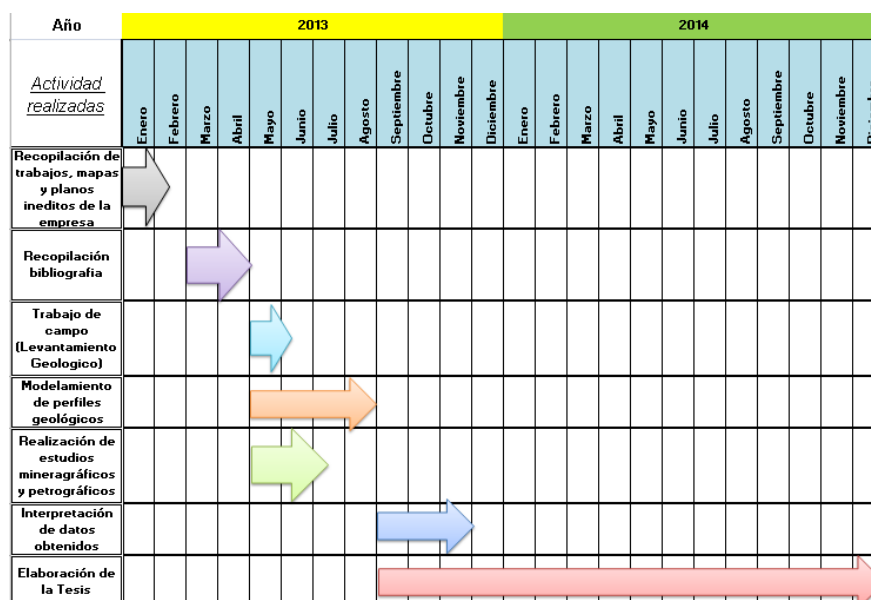


Figura 7. Programa de actividades realizadas vs tiempo.

Se hizo una meticulosa recopilación y análisis de mapas, trabajos y reportes inéditos realizados en el área por Minera Montoro. Por su importancia, dicha información se presenta como referencias específicas:

- Estudio Petrográfico de dos muestras de roca, por la Compañía Minera Cuicuilco en 1979.
Que muestra las características petrográficas de rocas asociadas a la mineralización, pero no se mencionan las coordenadas en donde fueron colectadas las muestras.
- Estudio tecnificado de Uso de Suelos realizado por Minera Montoro, en el año 2010.
Estudio muy detallado que contiene datos muy específicos sobre el clima, la vegetación, y la localización del área de “La Balsa”.
- Technical Report La Balsa Copper Project Municipality of Lázaro Cárdenas State of Michoacán, México, Rogue River Resources, 2008.
Es un reporte muy detallado que engloba las actividades que se realizaron desde el 2005 hasta finales del 2007, entre la información contenida en el reporte destaca la Geología local y un modelo de mineralización.
- Exploration results from the La Balsa Project-, octubre Del 2005, Brian K. Jones de Rogue Rivers Resources.
Compilación de información obtenida de estudios geofísicos, barrenación y estudios geoquímicos.
- Resumen geológico y Cálculo de Reservas del depósito de cobre “La Virgen” realizado en 1991 por Minera Virgo.
Uno de los primeros reporte del yacimiento, mostrando un primer cálculo de recursos y reservas, primeros trabajos de exploración y la primera etapa de barrenación.
- Exploration results from the La Balsa Project- en abril del 2008, realizado por Brian K. Jones de Rogue Rivers Resources.
Compilación de la etapa de barrenación, estudios geoquímicos y muestras petrográficas.
- Mapa Topográfico del proyecto “La Balsa” realizado por Minera Montoro en el 2005
- Mapa Geológico del proyecto “La Balsa” realizado por Brian K. Jones en el 2005
- Mapa Geoquímico del Proyecto “ La Balsa” realizado por Minera Montoro en el 2005
- Información de la tercera etapa de Barrenación de los depósitos de La Virgen, Iguana Prieta y Playa Azul hechos por Minera Montoro.

➤ Informe Preventivo de Impacto Ambiental.

Asimismo, se realizó una recopilación bibliográfica que consistió en la búsqueda refinada de artículos relacionados con la zona del proyecto, así como boletines técnicos y textos clásicos.

La recopilación bibliográfica de artículos, mapas, libros, informes y boletines relacionados con la zona permitió redefinir el marco geológico regional, principalmente en lo relativo a la evolución tectónica, esquema de gran importancia para entender el contexto de emplazamiento de la mineralización. Estas ideas no se tenían en claro, además de que la información no era suficiente.

La recopilación de trabajos inéditos de la compañía Minera Montoro como algunos informes y artículos relacionados con el proyecto, permitió la adecuada planeación del trabajo cartográfico. En primer término se realizó un reconocimiento de campo durante una semana, que consistió en el análisis y confirmación de datos geológicos propuestos, principalmente por Minera Montoro. La información geológica fue actualizada en un mapa topográfico a escala 1:1000 y esencialmente consistió en detallar los contactos litológicos, las estructuras mineralizadas y los tipos de alteración hidrotermal. Los recorridos fueron realizados a pié por caminos y por veredas; se utilizó la brújula Brunton y cinta métrica. Cabe destacar, que no fue posible utilizar fotografías aéreas o imágenes de satélite, en virtud de que no estaban disponibles.

En la siguiente fase, se llevó a cabo una actualización y desarrollo de nuevos perfiles geológicos. Estos perfiles fueron rescatados de los informes de la empresa desde 1999 hasta el 2008 y complementados con información disponible de más de 200 barrenos realizados en el área de estudio. Dichos perfiles muestran el comportamiento de las estructuras mineralizadas y las litologías de cada uno de los depósitos cupríferos; sin embargo, solamente 5 perfiles muestran el comportamiento de las leyes de cobre a profundidad (Anexo 7, perfiles de la primera fase). La mayoría de los perfiles generalmente fueron ubicados en las zonas centrales de los tres depósitos (La Virgen, Iguana Prieta y Playa Azul) porque sus extensiones manifiestan un gran rango de estructuras mineralizadas y son representativos para la conformación de un modelo de mineralización.

Asimismo fueron desarrollados tres nuevos perfiles a partir de la información de sondeos cercanos al centro de los respectivos depósitos y trazados sobre la intersección de los barrenos MM-117, MM-118 (van juntos), MM-133 y MM-216 (Anexo IV secciones de muestreo); Algunas muestras fueron colectadas de estos barrenos para estudios petrográficos y minerográficos con el objetivo de identificar

alteraciones hipogénicas y paragénesis. También se incluyeron en los perfiles, fotografías de núcleos de los sondeos, en el que se manifiestan las estructuras mineralizadas para mostrar los rasgos más sobresalientes de los cuerpos mineralizados.

Se desarrolló un perfil longitudinal orientado este-oeste que contiene a los tres depósitos mineralizados (Anexo 2, Perfil D-D); su construcción dispuso de la información de sondeos cercanos o que interceptaban la línea del perfil, de los contactos litológicos y de estructuras mineralizadas representados en el mapa de la geología local. La información recabada de los sondeos consistió principalmente en las descripciones de las alteraciones hidrotermales a profundidad, lo que permitió imprimir en el perfil un modelo de zoneamiento de dichas alteraciones.

Las actividades de campo culminaron con la recolección estratégica de muestras de los núcleos de sondeos de pasadas campañas de barrenación, para la realización de estudios petrográficos y mineragráficos. Los barrenos elegidos fueron el MM-117, MM-118 (pertenecientes al lote de Iguana Prieta), MM-133 (lote de La Virgen) y MM-216 (lote Playa Azul) dado que presentan las manifestaciones más conspicuas de óxidos, mixtos (óxidos+sulfuros) y sulfuros de cobre y hierro.

En total se reconocieron en los núcleos de barrenación 14 zonas estratégicas de muestreo; 4 zonas para el barreno MM-117, 3 para el barreno M-118, 4 para el barreno MM-216 y 3 para el barreno MM-133. De estas zonas, con base en la profundidad y rasgos geológicos, se eligieron 6 muestras para estudios petrográficos de las alteraciones hidrotermales; 3 muestras del barreno MM-117 y 3 muestras del barreno MM-118.

De igual manera se obtuvieron 10 muestras para estudios mineragráficos de los núcleos de los barrenos, 3 muestras en cada uno de los barrenos MM-117 y MM-118 y 2 para cada uno de los barrenos MM-133 y MM-216 (capítulo 4). El análisis, integración e interpretación de la información previa, juntamente con la que se pudo generar permitió proponer un nuevo modelo de génesis de la mineralización, así como la definición de un programa de exploración, con miras a incrementar reservas y recursos minerales.

2. FISIOGRAFIA

2.1. Provincia fisiográfica

El área del proyecto “La Balsa”, se localiza en la Provincia Fisiográfica denominada **Sierra Madre del Sur**. Esta provincia limita al norte con la Faja

Neovolcánica Trans-Mexicana, al este con la Llanura Costera del Golfo Sur, las Sierras de Chiapas, Guatemala, y la Cordillera Centroamericana. Esta provincia comprende partes de los estados de Nayarit, Michoacán, Guerrero y parte de Oaxaca. La Sierra Madre del Sur es una región de geología complicada y cubre el 54.46% de la superficie del Estado de Michoacán, mientras que el área restante está cubierta por rocas de la provincia de la Faja Neovolcánica Trans-Mexicana, (Figura 8). . Esta gran región, considerada menos conocida del país, debe muchos de sus rasgos particulares a la estrecha relación que guarda con la Placa de Cocos, una de las placas móviles que integran la litósfera o corteza terrestre exterior. Se desplaza de 2 a 3 cm al año (INEGI, 1983). A ello se debe la fuerte sismicidad que se manifiesta en esta provincia, en particular sobre las costas guerrerenses y oaxaqueñas. Litológicamente, es una región de gran complejidad en la que las rocas intrusivas cristalinas, especialmente los granitos y las metamórficas, tienen una gran importancia.

El proyecto “La Balsa” se ubica dentro de la subprovincia Costas del Sur, la que constituye una angosta llanura costera, que inicia en el límite entre Michoacán y Colima, se continúa por Guerrero y llega finalmente a Salina Cruz, Oaxaca (Figura 9); esta región se caracteriza principalmente por sierras bajas de origen sedimentario, volcánico y metamórfico, así como por algunos valles y llanuras formados con materiales aluviales.



Figura 8. Mapa de distribución de las provincias fisiográficas del territorio mexicano (Tomado de Michalangelo Martini, 2008).

Esta subprovincia en su mayoría los suelos que sustenta están limitados en cuanto a su profundidad por una capa continua y coherente de roca denominada fase lítica. Por ejemplo los regosoles ocupan aproximadamente un 30% de la superficie total de la región, son poco desarrollados, por ser jóvenes, presentan texturas francas y arenosas, de ahí que la permeabilidad sea alta y el drenaje muy rápido. Son pobres en materia orgánica, por lo que regularmente tienen colores claros.

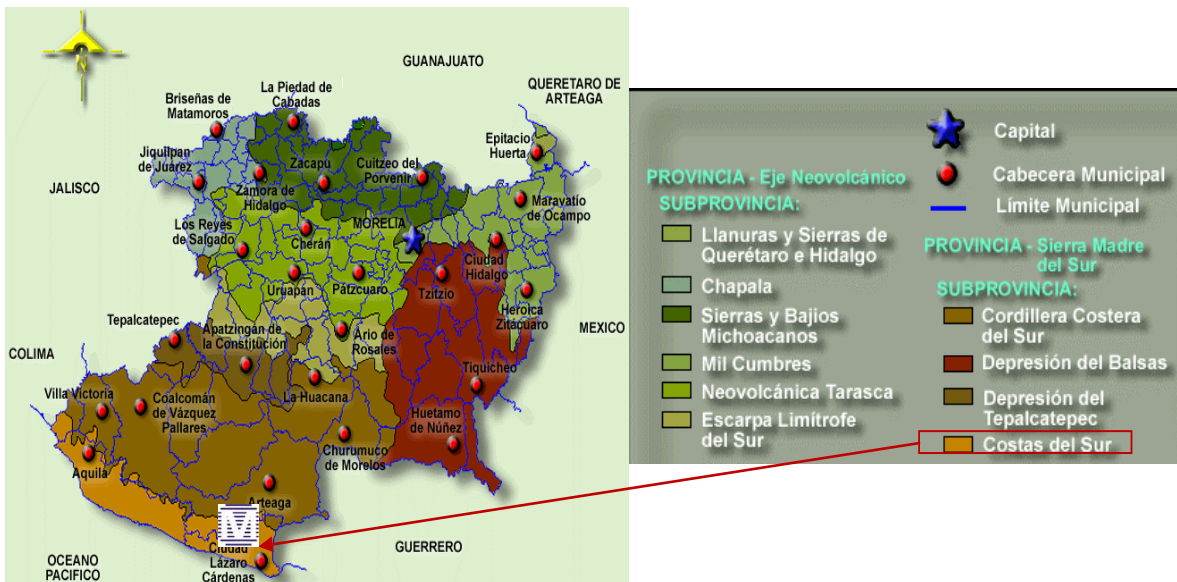


Figura 9. Mapa de la subprovincia Costa del Sur. (INEGI, 2005).

2.2. Geomorfología

El relieve en el área del proyecto se considera del tipo **endógeno modelado**. Dicho relieve consiste en lomeríos de baja pendiente de forma redondeada u ondulada a irregulares, desarrollados en rocas volcánicas y plutónicas (brechas y pórfido monzonítico) con una altura máxima de 180 m.s.n.m. y una mínima de 100 m.s.n.m. Estos rasgos se han modificado moderadamente por los procesos exógenos (INEGI, 1983).

En la parte norte se encuentran particularmente topofomas de tipo lomerío (Figura 10), moderadamente escarpadas con áreas onduladas a ligeramente planas que pertenecen a rocas intrusivas (granodiorita) y coladas masivas de andesita basalto las alturas varían entre los 100 y los 180 m.s.n.m. y una pendiente de 25 a 35%.

En la parte sur del proyecto se presentan escasas mesetas con elevaciones entre 90 a 140 m.s.n.m. que mantienen un relieve ligeramente ondulado con pendientes

que varían entre los 20 y 25%, y corresponden con una distribución de areniscas y lutitas (secuencias vulcanosedimentarias).



Figura 10. Panorama de parte del sitio del proyecto donde la geomorfología está representada por lomerío suave.

Específicamente en el área del proyecto se presentan altitudes que van desde los 90 a los 180 metros sobre el nivel del mar con una pendiente entre el 25% al 35% situados principalmente en la parte norte, mientras que en la parte sur del área de estudio se encuentran otros rasgos que alcanzan altitudes que oscilan entre los 90 m.s.n.m. a los 1,40 m.s.n.m. Tales rasgos presentan una topografía ligeramente ondulada con pendientes que varían entre los 20 y 25% (Informe inédito; Estudio técnico Justificativo para el cambio del uso del suelo, Proyecto La Balsa del 2010). Destaca en el sector del proyecto la mayor elevación que alberga mineralización de interés (La Virgen), una topoforma que tiene un tren aproximado entre 65 y 70° al NE, común al grano topográfico regional. Igual orientación tienen el conjunto de lomas vecinas (inmediatas al S) compuestas de la secuencia vulcanosedimentaria.

2.3. Hidrología

El área de estudio se localiza dentro de la **Región Hidrológica** (R18) denominada Balsas (Figura 11). La superficie hidrológica total de esta región es de 117,045 km² atravesando varios estados (Figura 11). Asimismo, el proyecto “La Balsa” se ubica dentro de la cuenca **R. Balsas-Infiernillo** (36D). Específicamente en la subcuenca **R. Balsas – La Villita** (Tabla 3). Los escurrimientos fluviales son

efímeros y torrenciales, la mayor parte del año los cauces están secos y únicamente llevan agua cuando se presentan tormentas (INEGI, 1985).

Tabla 3. FUENTE. INEGI 1985

REGIÓN	CUENCA	SUBCUENCA
RH 18 (Balsas)	36D (Río Balsas-Infiernillo)	36d Río Balsas-La Villita

Se localizan algunas corrientes intermitentes sobre la porción norte y al sur del área de estudio, así como en la parte este se ubica el vaso de la presa derivadora José María Morelos (La Villita). Si bien, por las características del proyecto no se interferiría directamente con estos sistemas.

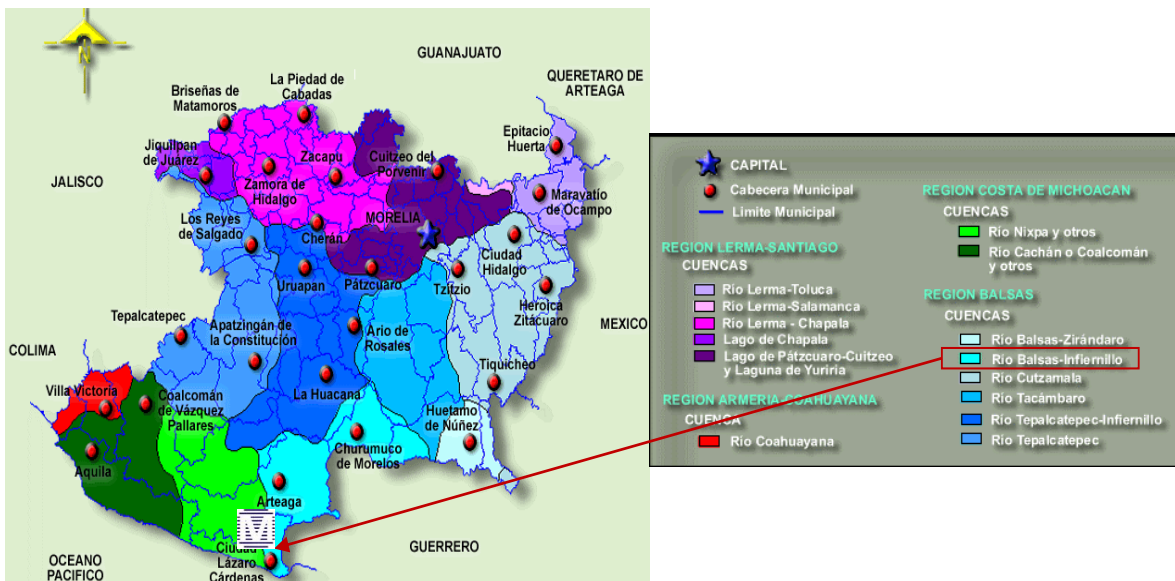


Figura 11. Mapa del contexto Hidrológico del proyecto "La Balsa" (INEGI, 1989).

De manera particular el proyecto minero "La Balsa" está ubicado al oeste de la localidad conocida como las Minitas, aproximadamente a 1 km del brazo de agua más cercano de la presa derivadora La Villita. Los sistemas ambientales que albergan el sitio del proyecto, corresponden con los sistemas de la presa La Villita y con el delta del Río Balsas.

La red del drenaje se clasificó del tipo dendrítico y su escurrimiento es intermitente; las aguas son vertidas hacia la parte oeste del área del proyecto, las que tienen su nacimiento en la parte alta situada al suroeste de la localidad de San Rafael; presenta una longitud desde su nacimiento hasta el límite del polígono del proyecto, de 1.25 km. Los escurrimientos existentes dentro del área propuesta para cambio de uso de suelo son considerables en temporada de lluvias, aunque

la zona de captación es de poca superficie (90 hectáreas aproximadamente), misma que es ocupada por esta microcuenca; no obstante, la aportación de agua durante la época de lluvias es significativa.

Se tiene un área de microcuenca (Figura 12) con escurrimientos que se dirigen hacia el oeste del área, el que tiene su nacimiento sobre la parte alta, al suroeste de la localidad de San Rafael y presenta una distancia desde su nacimiento hasta el límite del polígono del proyecto de 1.25 km. Los escurrimientos existentes dentro del área son de considerable caudal en temporada de lluvias, aunque la zona de captación es de poca superficie (90 hectáreas aproximadamente), lo que da una aportación significativa de agua durante la época de lluvias (figura 12).



Figura 12, Escurrimientos hacia W de la microcuenca que se muestra en área de estudio (INEGI 1985, Modificado por Minera Montoro).

La aportación del primer escurrimiento y de los tributarios de este último forman un volumen importante el que tiene su fin en la porción suroeste del sitio, la pendiente media de esta corriente es de 30%, con evidencias de escurrimientos moderados a fuertes, mientras que la pendiente del escurrimiento que se ubica al suroeste del área de estudio es de 20%.

3. GEOLOGÍA REGIONAL

3.1. Estratigrafía regional

El depósito cuprífero “La Balsa” está localizado en la porción SE del Terreno Guerrero (Coney P.J y Campa U.M.F,1981), en la parte SSE del Subterreno Zihuatanejo (Figura 13 y 14). El Terreno Guerrero está constituido por secuencias vulcanosedimentarias, que se extienden desde Baja California hasta Acapulco, y representan los remanentes de acreciones de arcos de isla, constituidas principalmente por lentes de calizas interestratificados con limonitas y conglomerados interbandeados con brechas, lava y tobas andesíticas, que más tarde fueron acrecionados al cratón Norteamericano y al cratón del norte de Sudamérica desde el Jurásico Tardío al Cretácico Tardío (Miranda-Gasca 2000).

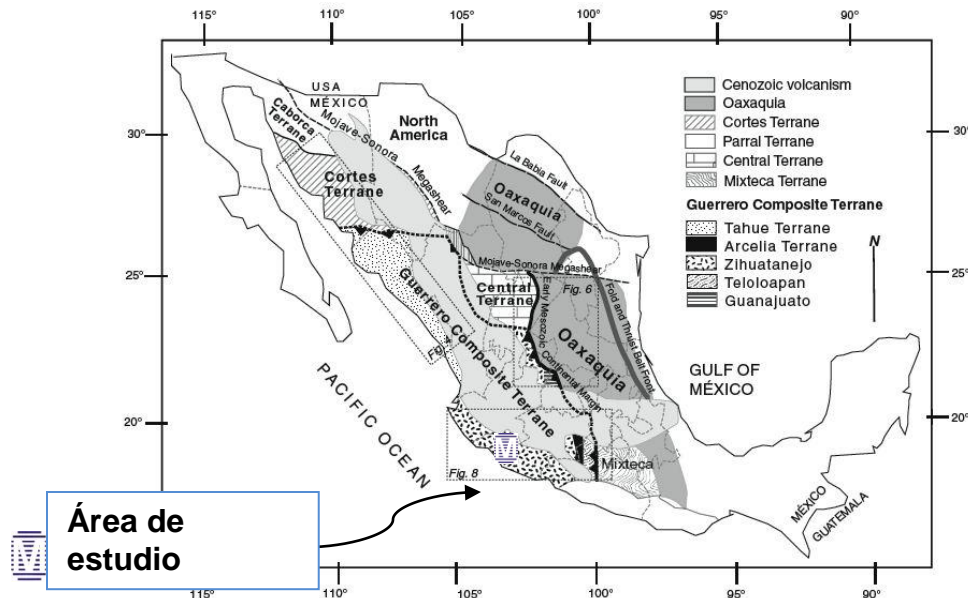


Figura 13. Mapa que muestra los terrenos tectono-estratigráficos y sus fallas regionales. El cuadro que se indica corresponde con el subterreno Zihuatanejo pero el título expresado como figura 8 es parte de otro texto. (Centeno-García *et al.*, 2008).

Mientras el Subterreno Zihuatanejo es el terreno más grande, se extiende al sur del cinturón Neovolcánico Transversal y se ubica a lo largo del margen pacífico entre Guerrero y Colima (Centeno-García *et al.*, 1993; Talavera-Mendoza *et al.*, 1995).

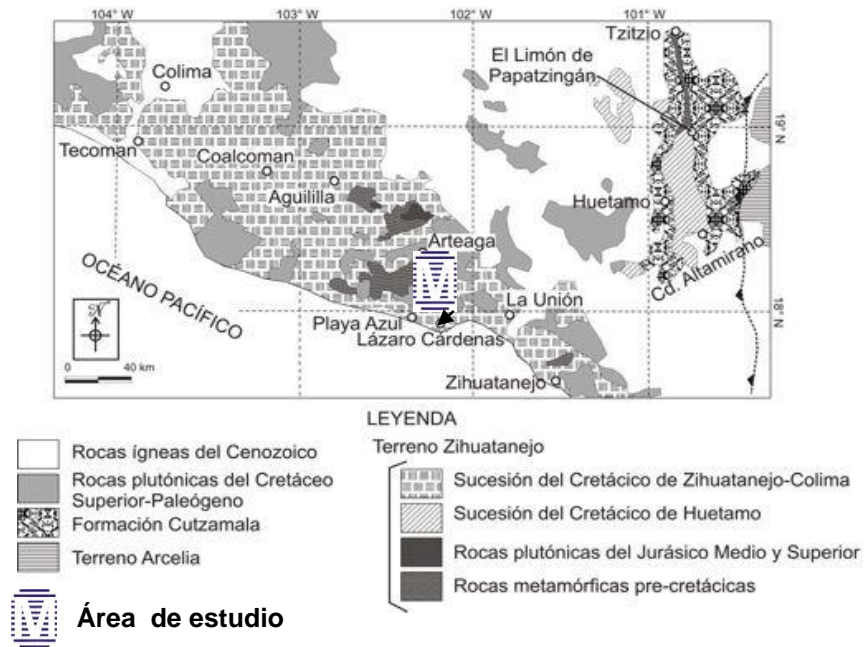


Figura 14. Terreno Zihuatanejo, donde se muestra la distribución geográfica de las sucesiones cretácicas de Huetamo y Zihuatanejo-Colima (Centeno-García *et al.*, 1994).

3.1.1. Rocas metamórficas pre-cretácicas

Las rocas que constituyen al basamento, están conformado un gran paquete de turbiditas ricas en cuarzo (lutitas y areniscas) del Triásico que están tectónicamente imbricadas (Campa *et al.* 1982; Centeno-García *et al.*, 1992a, 1993b). Las turbiditas forman una matriz que está compuesta de bloques y bandas de lavas almohadilladas, basalto, diabasas y bandas de gabro, pedernal y calizas. Esta asociación de rocas ha sido llamada en diferentes afloramientos como Complejo Las Ollas, Complejo Arteaga y Formación Zacatecas (Burckhardt y Scalia, 1906; Ranson *et al.*, 1982; Cuevas-Pérez, 1983; Monod y Calvet, 1991; Centeno-García y Silva-Romo, 1997; Talavera-Mendoza, 2000; Centeno-García *et al.*, 2003). La deformación de estas rocas varió de una suave foliación en los estratos a texturas de cizalla en la matriz y sus rangos de metamorfismo variaron de un valor nulo a facies de esquistos verde-anfibolita (Centeno-García *et al.*, 2003).

Existen algunos afloramientos de los basamentos de este terreno cercanos al proyecto La Balsa que pertenecen al Complejo Arteaga (Figura 15), cuyos afloramientos están hacia el noroeste de Lázaro Cárdenas, generalmente están en una posición infrayacente por contacto discordante a las rocas del Cretácico del Terreno Zihuatanejo (Centeno-García, 1994).

El complejo Arteaga aflora en los alrededores del poblado de Aguilillas y Arteaga (Figura 15), está en contacto discordante con las rocas cretácicas del terreno

Zihuatanejo (Centeno-García, 1994) y se caracteriza por rocas de grado metamórfico desde las facies de esquistos verdes hasta anfibolitas (Centeno-García *et al.*, 2008); este complejo está conformado por una alternancia rítmica de lutitas negras, areniscas ricas en cuarzo, pedernal negro y conglomerado (litofacies Varales, Centeno-García *et al.* 2008). En dichas turbiditas se alojan bloques de lavas basálticas almohadilladas y gabro bandeado, cuyos porcentajes de elementos mayores y traza muestran el mismo comportamiento de rocas de piso oceánico (MORB), además de pedernal y olistolitos de caliza (estructuras esferoidales) (Centeno-García *et al.*, 1993, 2003). Campa *et al.* (1982) han reportado una fauna de radiolarios del Triásico Superior (Ladiniano-Carnico) para un nivel de pedernal interestratificado con la sucesión turbídita.

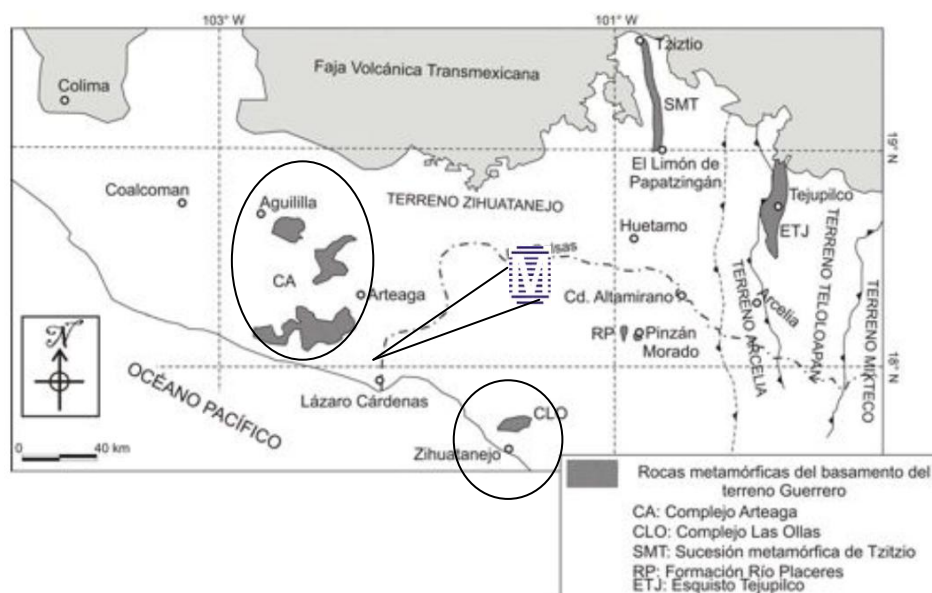


Figura 15. Mapa que presenta las localidades en donde aflora las rocas metamórficas del basamento. En un ovalo se muestra específicamente el complejo Arteaga y a lado de él se muestra la ubicación del proyecto La Balsa (Tomado de Martini, 2008).

En el complejo por lo menos se ha identificado una fase de acortamiento principal, anterior al inicio de la sedimentación de la sucesión cretácica, caracterizada por la formación de numerosos pliegues, cabalgaduras y el desarrollo de imbricación tectónica en los bloques de su matriz (Centeno-García *et al.*, 2003 y 2008). Con base a su patrón estructural y en su procedencia, tanto de una fuente continental como oceánica, el Complejo Arteaga ha sido interpretado por Centeno-García *et al.* (1993 y 2008) como un complejo de subducción.

3.1.2. Rocas intrusivas del Jurásico Medio-Superior

Aflora en los alrededores de Tumbiscatío (intrusión del granito Tumbiscatío) y está representado por metadiorita, metatonalita y metagranitos de dos micas, de naturaleza peraluminosa, datados por Grajales y Lopez (1984) con edades que varían de 127 ± 3 Ma a 158 ± 5 Ma, que lo ubican en un rango Jurásico Superior-Cretácico Inferior. Estas rocas intrusionan a las metasecuencias turbidíticas del Complejo Arteaga (Figura 14).

3.1.3. Las secuencias vulcanosedimentarias del Cretácico

Son parte del terreno Zihuatanejo y conforman las sucesiones de Zihuatanejo-Colima hacia el suroeste (Figura 14) Estas sucesiones manifiestan en su estratigrafía, cambios abruptos y que por tanto, no definen una columna estratigráfica única para cada región, cuyo caso puede ser explicado por cambios laterales de facies (Martini, 2008).

La sucesión vulcanosedimentaria está conformada en la base por un paquete de conglomerado, microbrecha y arenisca, designado como miembro Posquelite, cuya fracción clástica está compuesta principalmente por cuarzo, gneis y metagranito (Vidal-Serratos, 1986 y 1991). Hacia la cima, la sucesión continúa con un conjunto de rocas volcánicas y volcánicas de composición andesítico-basáltica a riolítico-riodacítica, en las que se interestratifican calizas con fósiles del Albiano, designadas como miembro Ixtapa, y con capas rojas, agrupadas en el miembro La Unión. Más tarde Talavera-Mendoza y Guerrero-Suástegui (2000) adoptaron la geología hecha por Vidal-Serratos (1986), y reportaron un espesor mínimo de 1500 m de lavas andesíticas dacíticas en la base de esta sucesión (Figura 16). Pero en los alrededores de la bahía de Zihuatanejo está conformada por lavas andesíticas, arenisca volcánica, lutita y toba, por lo que se ha considerado este conjunto litológico como un depósito turbidítico marino de aguas someras, asociado a la actividad de un arco volcánico (Centeno-García *et al.* 2003).

Grajales y López, 1984 y Centeno-García *et al.*, 2003 han reportado edades K/Ar de 80 ± 6 y 78 ± 6 Ma para algunos derrames de lava interestratificados con las rocas de la Formación Cerro la Vieja, lo que le asignaría una edad del Campaniano. Ferrusquía-Villafranca *et al.* (1978) han reportado el hallazgo de huellas de dinosaurios en las rocas de esta sucesión, cerca de Lázaro Cárdenas. Estos autores atribuyen los fósiles a los subórdenes Theropoda y Ornithopoda, lo que indicaría una edad del Jurásico Tardío-Cretácico Temprano, pero Talavera-Mendoza *et al.* (2007) han reportado una edad U-Pb de 82 Ma con un pico en 85

Ma, para zircones detríticos procedentes de una arenisca colectada en las turbiditas volcanoclásticas de la bahía de Zihuatanejo.

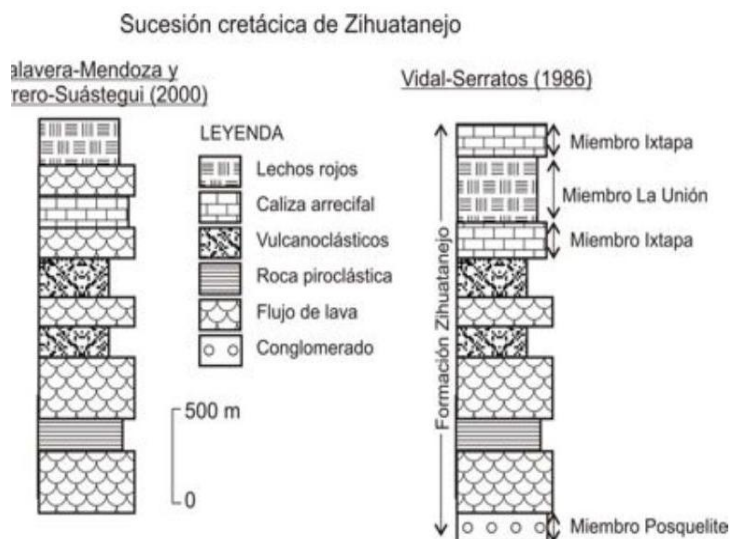


Figura 16. Columnas estratigráficas esquemáticas propuestas para la sucesión del Cretácico de la región de Zihuatanejo (modificada por Martini, 2008).

Estas secuencias vulcanosedimentarias presentan una cubierta volcánica silícica terciaria que representa a la Sierra Madre del Sur y una cubierta cuaternaria correspondiente o relacionada a la Faja Neovolcánica Trans-Mexicana.

3.1.4. Rocas plutónicas del Cenozoico-Paleógeno

Lo constituyen emplazamientos de cuerpos plutónicos de naturaleza granítica, granodiorítica y diorítica con variaciones a monzonita y a tonalitas que conforman al batolito de Guerrero-Michoacán y aflora a través de varios troncos y apófisis como son La Mira, San José de Chila, y Aquila entre otros, con edades que varían desde los 84 a 38 Ma. (Servicio Geológico Mexicano, 2002) (Figura 14). Cabe señalar que los cuerpos intrusivos y rocas porfídicas tienen una relación estrecha con los yacimientos de plata, oro, hierro, zinc y cobre desde el Cretácico al Terciario Medio, por ejemplo los yacimientos de La Verde, Inguarán y La Sorpresa que son cuerpos con leyes de 0.7% a 1.5% de cobre. Destaca también el yacimiento de Las Truchas conocido por ser uno de los más grandes depósitos de hierro de México.

Intrusivo La Mira. Es un cuerpo intrusivo de composición granodiorítico-diorítico. Aflora al norte del poblado de La Mira, de forma irregular y con una orientación general E-W. En muestra de mano la roca es de color gris con tonos verdes, presenta una estructura compacta y textura fanerítica y se le observan

ferromagnesianos. Este cuerpo intrusiona al Complejo Arteaga, las andesitas del miembro Ixtapa mixto y al miembro La Unión. En la parte central del intrusivo se tienen edades que varían de 60 a 65 Ma (Paleoceno); no obstante, en su periferia se tiene una datación de 84 Ma (IMP, 1984 inédito, en Garduño M.V.H., *et al.*, 1999). Cabe destacar que en la porción sur de este intrusivo ocurre el distrito minero de Las Truchas.

Intrusivo Aquila. Cuerpo burdamente rectangular de composición granodiorítica y que aflora en la localidad de Aquila. Intrusiona el miembro Ixtapa Mixto y la Formación Tepalcatepec. Presenta una edad entre 61 y 84 Ma (IMP, 1978 y 1984 inédito, en Garduño M.V.H., *et al.*, 1999) que le dan una variación en edad del Santoniano-Paleoceno.

Intrusivo San José de Chila. Es un intrusivo granítico de forma irregular que aflora en una franja NE-SW. Está intrusionando al NW y al SE a rocas metamórficas de la Formación Varales y también a rocas andesíticas del miembro Ixtapa mixto; por las rocas que intrusiona y que lo cubren se le asigna una edad Eoceno-Paleoceno.

Intrusivo Arteaga. Con este nombre se designa a un intrusivo granítico que aflora en el poblado de Arteaga en forma de troncos irregulares con una orientación NW – SE (Morán Z.D. *et al.*, 2000). Intrusiona al metavolcánico-sedimentario, a las formaciones Jaltomate y Varales así como a andesitas del miembro Ixtapa mixto. Presenta edades que varían de 44 a 62 Ma (IMP 1984 inédito y Schaaf P., 1990, en Garduño M.V.H., *et al.*, 1999) ubicándose en el Eoceno – Paleoceno.

3.1.5. Depósitos recientes.

En el delta del río Balsa están expuestos en su alrededor conglomerados polimícticos y areniscas (QptAr-Cgp), así como depósitos lacustres (Qe) no consolidados recientes al oeste del delta acumulados sobre planicies aluviales y arroyos (SGM, 2002).

3.2. Evolución tectónica.

Los episodios tectónicos más importantes, consistieron en el desarrollo de una serie de arcos insulares que se acrecionaron al Cratón Norteamericano desde el Jurásico Superior al Cretácico; sin embargo, para poder explicar tal desarrollo de una manera adecuada hay que recurrir a la Geología entre el basamento del Terreno Guerrero y las secuencias litoestratigráficas del Subterreno Zihuatanejo,

pues encierran la clave para comprender los posibles episodios que se desarrollaron desde un inicio (Centeno- García, 2008).

En las rocas deformadas del Paleozoico del Terreno Tahue indican una historia muy temprana de acreción a el Terreno Guerrero, sin embargo no existe evidencia cercana al área del proyecto (Centeno-García, 2008) (Figura 17).

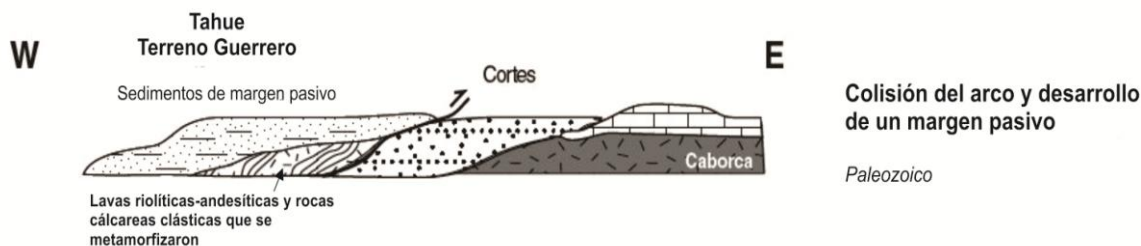


Figura 17. Colisión de arco y desarrollo de un margen pasivo (Centeno-García et al., 2008).

Después de la temprana acreción del Terreno Guerrero que se desarrolló desde el Ordovícico (Centeno-García., 2008), el episodio tectónico posterior se manifestó en las secuencias del complejo Arteaga, en el Complejo Las Ollas, las secuencias metamórficas de Tzizio y Río Placeres que son partes representativas del basamento del Terreno Zihuatanejo. Estas secuencias generalmente metaturbidíticas, con base a su afinidad litológica y metamórfica son correlacionables estratigráficamente (Centeno-García et al., 2003), por lo que pudieran representar partes diferentes de la formación de un abanico turbidítico de grandes proporciones (abanico de San Luis Potosí), depositado durante el Triásico a lo largo del margen occidental de Oaxaquia. Este sistema actuó durante este periodo como un margen pasivo contribuyendo a la formación de una cuenca marginal oceánica que sirvió como depósito del abanico, más tarde empezaría las deformaciones y el metamorfismo durante el Jurásico Temprano, anterior a los 180 Ma, producto de la acreción de un arco insular intraoceánico, representado probablemente por el arco Alisitos (Centeno-García et al., 2003) (Figura 18).



Figura 18. Acreción y desarrollo de una cuenca oceánica marginal con vulcanismo de rift activo durante el Triásico Carniano-Noriano (Centeno-García et al., 2008).

Dickinson y Lawton (2001) han considerado que las sucesiones del Triásico-Cretácico Temprano se formaron en un ambiente intraoceánico, lejos del margen continental de Oaxaquia y que fueron acrecionados sucesivamente hacia el continente durante el Cretácico Superior, consecuencia de la subducción progresiva tanto para el este como para el oeste de una placa oceánica nombrada

Mezcalera. Estos autores también consideraron que las turbiditas del Complejo Arteaga representarían un prisma de acreción del Jurásico, formado durante la subducción hacia el oeste a lo largo del margen oriental del terreno Guerrero.

Por su parte, Talavera-Mendoza y Guerrero-Suástegui (2000) y Talavera-Mendoza *et al.* (2007) entre otros autores están de acuerdo que las sucesiones en el Cretácico del terreno Guerrero representaron un registro de un sistema complejo multiarco, desarrollado durante el Cretácico Inferior y el inicio del Cretácico Superior en parte sobre la corteza oceánica (terrenos Teloloapan y Arcelia) y en parte sobre las metaturbiditas de los complejos Arteaga y Las Ollas (terreno Zihuatanejo). De acuerdo con este modelo, durante el Cretácico Inferior se desarrollaron cuatro arcos magmáticos que se distinguen de este a oeste: el arco de Taxco formado a lo largo de la margen continental de Norte América, los arcos de Teloloapan, Arcelia y Zihuatanejo.

De acuerdo con este modelo, la acreción y amalgamación de los arcos cretácicos a lo largo de la margen de Norte América ocurrió entre el Cenomaniano Tardío y el Turoniano para los arcos de Arcelia y Teloloapan, y en el Maastrichtiano-Paleoceno para el arco de Zihuatanejo (Figura 19). La imposibilidad de subducir estos elementos morfotectónicos (porciones más flotantes de la litósfera oceánica, que pueden ser representados por dorsales asísmicas, arcos insulares, mesetas oceánicas o bloques continentales) desencadenó una acreción a la margen continental, lo que determinó el progresivo crecimiento de las masas continentales (Martini, Michalangelo, 2008 y Moran-Zenteno, 2005).

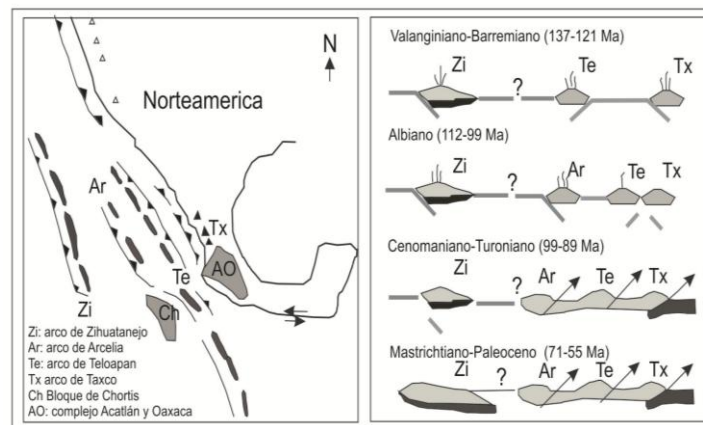


Figura 19. Modelo propuesto por Talavera-Mendoza et al. (2007) para la evolución tectónica del terreno Guerrero entre el Valanginiano y el Paleoceno (Tomado de Michalangelo-Martini, 2008).

Del Cretácico Superior al Terciario se tuvo como consecuencia de la acreción, un episodio de acortamiento que consistió en una deformación que originó cabalgaduras, pliegues y una serie de fallas laterales de movimiento izquierdo por esfuerzos compresivos, el que está emparentado con la **Orogenía Laramide** (episodio de deformación de la Cordillera Norteamericana;) (Campa *et al.*, 1976;

Salinas-Prieto *et al.*, 2000; Dickinson *et al.*, 1988; Nieto-Samaniego *et al.*, 2006)). La edad de la deformación laramídica ha sido delimitada en la cordillera norteamericana entre 75 y 35 Ma (Dickinson *et al.*, 1988; Bird, 1998) con un máximo de deformación en el Eoceno en el frente orogénico de la Sierra Madre Oriental (Eguiluz de Antuñano *et al.*, 2000 y referencias citadas en ese trabajo). En el sur de México, se ha interpretado que el acortamiento comienza con el “asimilamiento” de las plataformas de carbonatos y el inicio de la sedimentación clástica que se ha ubicado en la frontera Cenomaniano–Turoniano (ca. 93 Ma) (Hernández-Romano *et al.*, 1997; Aguilera-Franco y Hernández-Romano, 2004)

Este episodio abarcó tanto las rocas metamórficas del basamento del terreno Guerrero, como las sucesiones vulcano-sedimentarias cretácicas que afloran desde Huetamo hasta la Plataforma Guerrero-San Luis Potosí. Se caracterizó por deformaciones moderadas a intensas sobre las secuencias formando un cinturón de pliegues y cabalgaduras de bajo ángulo con una orientación dominante ~N-S (Figura 20) (Elías-Herrera *et al.*, 2000; Salinas-Prieto *et al.*, 2000; Talavera-Mendoza y Guerrero-Suástegui, 2000; Cabral-Cano *et al.*, 2000a, Cerca *et al.*, 2007).

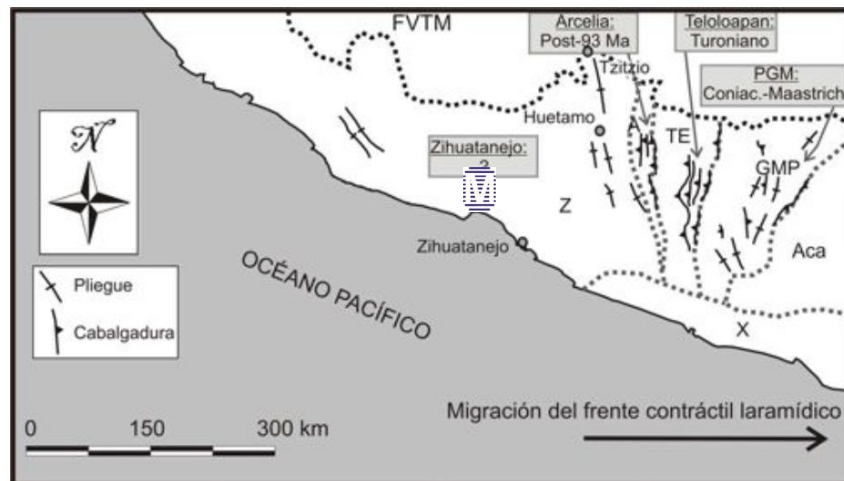


Figura 20. Mapa esquemático de las estructuras de acortamiento laramídicas desarrolladas durante el Cretácico Superior entre la PGM y la costa pacífica del sur de México; la flecha indica el desplazamiento de los esfuerzos de acortamiento hacia el oriente que propone Michalangelo Martini, 2008 (recopilada de Nieto-Samaniego *et al.*, 2006 y Cerca *et al.*, 2007). Aca: Complejo Acatlán; PGM: Plataforma Guerrero-Morelos; X: terreno Xolapa; TE: terreno Teloloapan; A: terreno Arcelia; Z: terreno Zihuatanejo; FVTM: Faja Volcánica Transmexicana (Tomado de Martini, 2008).

Posteriormente, se desarrolló un régimen tectónico caracterizado por fallas laterales cuyas direcciones preferenciales tanto de las trazas principales como del acortamiento y extensión asociados variaron en el tiempo, pero también en espacio (Dante Morán, 2005).

No hay certeza cuándo terminó la deformación Laramide y cuándo comenzó el régimen lateral generalizado que predominó durante el Cenozoico, pero en el Eoceno Tardío se registra una actividad tectónica expresada principalmente en fallas laterales izquierdas de orientación NW-SE y E-W. Ésta se reconoce principalmente en la parte norte-central de la Sierra Madre del Sur y a lo largo de la margen continental actual, entre Zihuatanejo y Puerto Escondido. Sin embargo, se puede documentar para inicios del Oligoceno, un cambio en el régimen de la deformación que provocó la reactivación de fallas con orientación N-S y desplazamiento también lateral izquierdo en fallas de orientación similar, en sectores ubicados desde el norte de Guerrero hasta la parte central de Oaxaca (Alaniz-Álvarez et al., 2002; Silva Romo et al., 2001).

Nieto-Samaniego *et al.* (2006), con base en su orientación y cinemática, agrupan a las zonas de cizalla reconocidas en el sur de México en dos grupos principales, uno caracterizado por una extensión NW-SE y otro por una extensión NE-SW.

El origen de dicha deformación es todavía bastante controvertible. Con base en la cinemática y en la aparente migración hacia el este de la deformación lateral izquierda, muchos autores han sugerido que la fase de transcurencia asociada con una extensión NW-SE representa el resultado del despegue del bloque de Chortis de la placa de Norte América, a partir de una posición inicial entre Puerto Vallarta y el Istmo de Tehuantepec, y su sucesiva migración hacia el este a partir del Eoceno, hasta llegar a su posición actual (Morán-Zenteno et al., 1996; Meschede et al., 1997; Tolson, 1998; Cerca et al., 2004; Nieto-Samaniego et al., 2006; Cerca et al., 2008) (Figura 21).

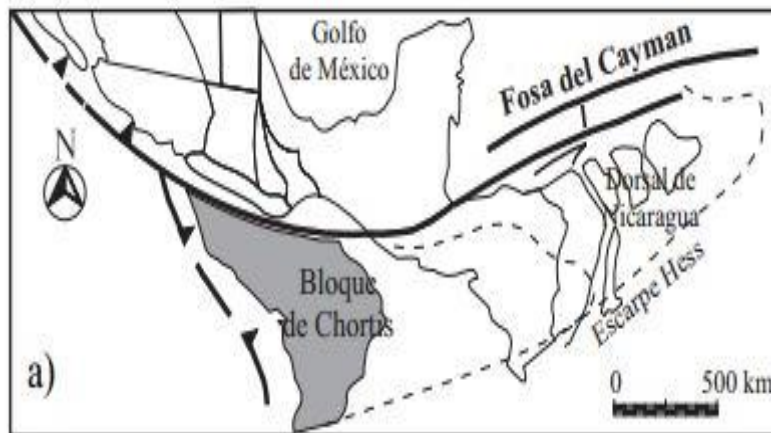


Figura 21. La figura (a) corresponde a la reconstrucción de Schaaf et al. (1995), en el que se muestra el desplazamiento del bloque de Chortis a partir de una posición inicial entre Puerto Vallarta y el Istmo de Tehuantepec (Modificado Dante Moran por 2005).

Asimismo hay datos cronológicos de rocas ígneas de la Sierra Madre del Sur que permitieron sugerir la evolución de un arco magmático desde el Paleoceno hasta el Eoceno (entre los 38 y 48 Ma) que abarca las regiones de Michoacán y

Guerrero (Moran Z. D. et. al, 2005) (Figura 22). Posteriormente el magmatismo migró al oriente de Guerrero y parte occidental de Oaxaca en el Oligoceno, y entre el Oligoceno Tardío y el Mioceno migró al oriente de Oaxaca, representando todos estos eventos el 75% del conjunto de la Sierra Madre del Sur (SGM, 2002) (Figura 22 y 23).

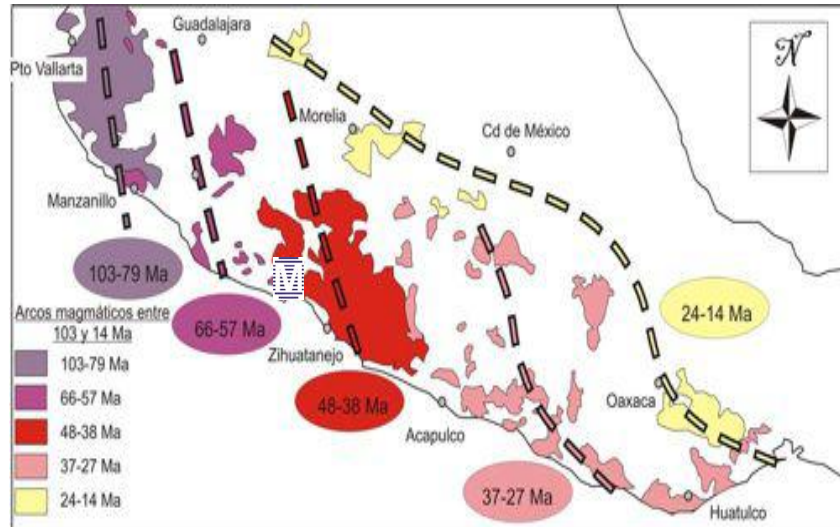


Figura 22. Mapa esquemático que muestra la migración hacia el este del magmatismo de la SMS, de acuerdo con el modelo propuesto por Schaaf et al. (1995) (modificado de Ferrari et al., 2007). Ferrari et al. (2007) agrupan las rocas ígneas de esta provincia magmática en cinco grupos de edad, que marcarían la progresiva migración de un eje magmático principal con una orientación NNW (Tomado de Michalangelo Martini, 2008).

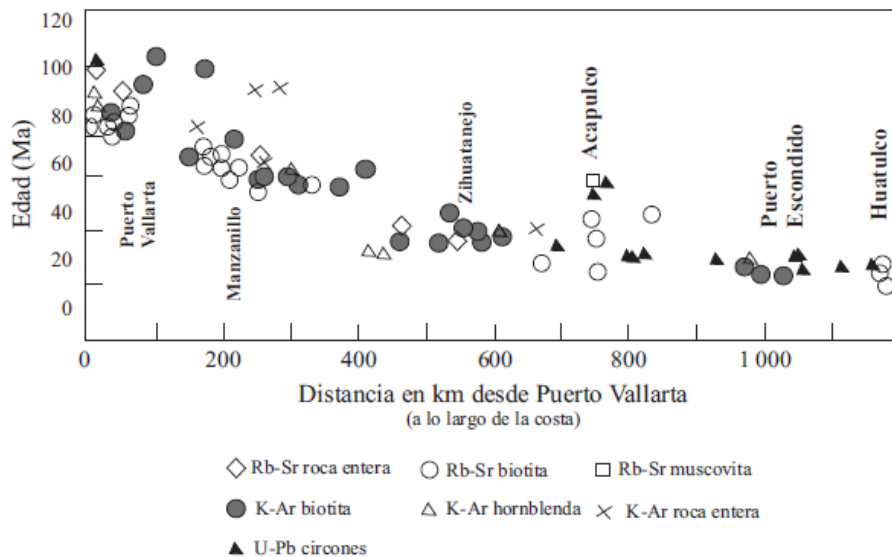


Figura 23. Gráfica que muestra la variación de las edades de los intrusivos a lo largo de la margen continental desde Puerto Vallarta, en el estado de Jalisco, hasta Huatulco, en el Estado de Oaxaca. (Tomado de Morán-Zenteno, 2005).

El magmatismo se caracterizó por rocas de composición granodioríticas, sujetas a los límites del batolito Zihuatanejo-Guerrero representado por emplazamientos de grandes y pequeños cuerpos intrusivos calcialcalinos, además de lavas basáltico-andesíticas a riolíticas e ignimbritas que dio lugar a una extensa cubierta de rocas volcánicas interestratificada con depósitos sedimentarios continentales que cubren

más de 20,000 Km², y que incluye la zona de la Presa de Infiernillo (Moran et. al., 2005). Esta cubierta representa un importante pulso de volcanismo de composición intermedia y silícica para el que se han reportado algunas edades, aunque las relaciones estratigráficas generales no han sido estudiadas. Por ejemplo existen reportes de edades de K–Ar desde 61.2 ± 1.3 (Pantoja-Alor, 1986) hasta 33 Ma (Frank et al., 1992), sin embargo típicamente las edades reportadas de los derrames y los diques intermedios varían de 43 a 46 Ma (Kratzeisen et al., 1991; Frank et al., 1992; Garduño-Monroy et al., 1999).

Las rocas volcánicas de composición riolítica que localmente yacen sobre muchas unidades es una importante guía para dar seguimiento al episodio magmático. Estas rocas generalmente consisten en flujos de ignimbritas de color rosa a roja intemperizada, con pequeños cristales de cuarzo en una matriz vítrea. Específicamente una pequeña caldera ha sido mapeada por los geólogos de Minera Montoro cerca de un 1 km al noroeste del área de estudio que posiblemente sea correlacionable con las edades de las riolitas, sin embargo no se han fechado estas rocas hasta el momento (Anexo 1).

La composición predominantemente silícica y el gran volumen de las rocas plutónicas distribuidos en la margen continental, sugiere que la fuente de los magmas debió ser una capa máfica recientemente adherida a la base de la corteza y alterada por metasomatismo (Moran-Zenteno, 2005). Debido a la imposibilidad petrogenética de generar grandes volúmenes de rocas plutónicas silícicas directamente de la cuña del manto, recientemente Pitcher en 1993 interpretó como un proceso en dos etapas o que pudo ser continuo (Kemp y Hawkesworth, 2004) pero que involucró, (1) la formación de una capa de composición basáltica en la base de la corteza (*underplating*) o la hibridización de la base de la corteza continental por la intrusión de magmas máficos provenientes del manto y, (2) la posterior fusión parcial de la base máfica metasomatizada o hibridizada de la corteza por el nuevo arribo de magmas máficos, y la mezcla de estos con los productos de la fusión parcial de la base de la corteza (Morán-Zenteno et.al., 2005). Esto dio pie a las condiciones y factores que principalmente controlaron la formación del yacimiento de chimeneas de brechas magmáticas-hidrotermales que se desarrollaron en el área de estudio del proyecto La Balsa.

Sucesivamente a este evento se desarrollo una etapa de distensión que origino un fallamiento escalonado evidenciado por el graben Apatzingan representado por basculamiento al nororiente, así como fallas laterales y normales. Consecutivamente sucede la extinción del magmatismo en la Sierra Madre del Sur en el Oligoceno y su reaparición en la posición de la Faja Volcánica Transversal Mexicana a partir del Mioceno debido a un cambio en la geometría de la placa subducida; caracterizado por lahares provenientes del volcán Colima en la porción noroeste y por basaltos en la porción noreste. La idea dominante hasta ahora ha

sido que el cambio en la geometría fue provocada por el paso del punto triple trinchera- trinchera-transforme que acompañó al bloque de Chortis, y también que se relaciona con la exhumación de la margen continental (Dante-Moran, 2005).

3.3. Geología Estructural

Las estructuras regionales dúctiles se desarrollaron principalmente en los gneisses y esquistos de la Formación Jaltomate y en metareniscas y filitas de la Formación Varales en el complejo Arteaga, rocas que sufrieron dos fases de deformación según el Servicio Geológico Mexicano (2002). Consisten en la formación de pliegues en formas suaves, chevron, cerrados y en abanicos, así como isoclinales verticales e inclinados; en las unidades cretácicas se presentan anticlinales, sinclinales y cabalgaduras tales como:

-**El Anticlinal Coalcomán** del tipo asimétrico con longitud de 60 km y un rumbo de N40°W, así como el anticlinal de Villa Victoria con una longitud de 30 Km en la misma dirección (SGM, 2002).

-**La cabalgadura Los Pozos** está caracterizada por el sobrepalme de la Formación Jaltomate sobre la secuencia metavulcanosedimentaria, está orientada aproximadamente hacia el E-W y tiene una extensión de 50 Km; el plano de despegue ha sido erosionado dejando una ventana que muestra el núcleo de las rocas metavulcanosedimentarias (SGM, 2002).

-**La cabalgadura Playitas** con un rumbo E-W y con un traza de 30 km, se caracteriza por el cabalgamiento de la secuencia metavulcanosedimentaria, sobre el miembro de la Formación La Unión, que consiste en una secuencia vulcanosedimentaria con intercalaciones de areniscas, lavas andesíticas, limolitas y tobas con lentes de calizas del Albiano (SGM 2002).

-**La cabalgadura Apo** con rumbo N40°W aproximadamente y una traza de 50 Km, en donde el miembro La Unión de la Formación Zihuatanejo, cabalga sobre el complejo Arteaga, así como varias unidades cretácicas. Esta estructura juntamente con la cabalgadura Playitas forman una escama tectónica y están relacionadas con el plano de despegue de la cabalgadura Los Pozos según la explicación de la carta geológica-minera de Lazaro Cárdenas del SGM, 2002.

Las estructuras frágiles están representadas por fallas normales de rumbo NW 45° SE en forma de manifestaciones de fosas y pilares, de los cuales el Graben de Apatzingán y el Horst de Arteaga están delimitados por las fallas Tepalcatepec y Aguilillas. Estas estructuras se les atribuye a una fase de distensión que desarrolló basculamiento de rocas volcánicas al norte-oriental entre el Eoceno Tardío y el Oligoceno Temprano (SGM, 2002). Asimismo se observa un régimen de fallas

laterales orientadas hacia el NW-SE que tienen un comportamiento homogéneo que varía de 40° a 55° y se muestran desde el puerto de Lázaro Cárdenas hacia el intrusivo de Ostula, mientras las fallas de NE-SW varían entre 40° a 50°, predominan en la porción noroeste, desde Ostula a Estapilla (SGM, 2002).

Las fallas laterales principales de comportamiento homogéneo NW-SE son:

- **La Falla lateral siniestral Los Amates** (Figura 24) que presenta un rumbo NW50° con echado de 83° NE y una extensión de 25 km aproximadamente, que corta al batolito Guerrero-Michoacán y las secuencias metamórficas del complejo Arteaga ubicadas desde del poblado del Reino al Calvario (SGM, 2002).
- **La Falla lateral siniestral La Mira** (Figura 24) que presenta un comportamiento similar a la Falla Los Amantes ubicada hacia el SW en las inmediaciones del poblado de La Mira.
- **La Falla lateral siniestral Las Juntas** con una orientación NW 49° presente al Norte de la Falla Los Amantes, y al NE del municipio de Arteaga, cortando principalmente al batolito Guerrero Michoacán y parte de la secuencia vulcanosedimentaria del Cretácico, sin embargo esta fuera del área de la figura 24.
- **La Falla lateral siniestral Benitez** (Figura 24) con una orientación de SW48° presente en las cercanías del Río Balsas, cortando solamente a las secuencias vulcanosedimentarias; sin embargo hacia el norte, enseguida de esta estructura se presenta otra falla lateral que presenta la misma orientación y la extensión de 15 Km, aproximadamente.

Esta interpretación coincide con el patrón estructural del régimen de falla lateral izquierda que se presenta en la carta 1:50,000 de la región de Playa Azul, Michoacán del Servicio Geológico Mexicano (2002) (Figura 25) lo que demuestra el desarrollo del episodio tectónico que se manifestó durante el cenozoico posterior a la Orogenia Laramide.

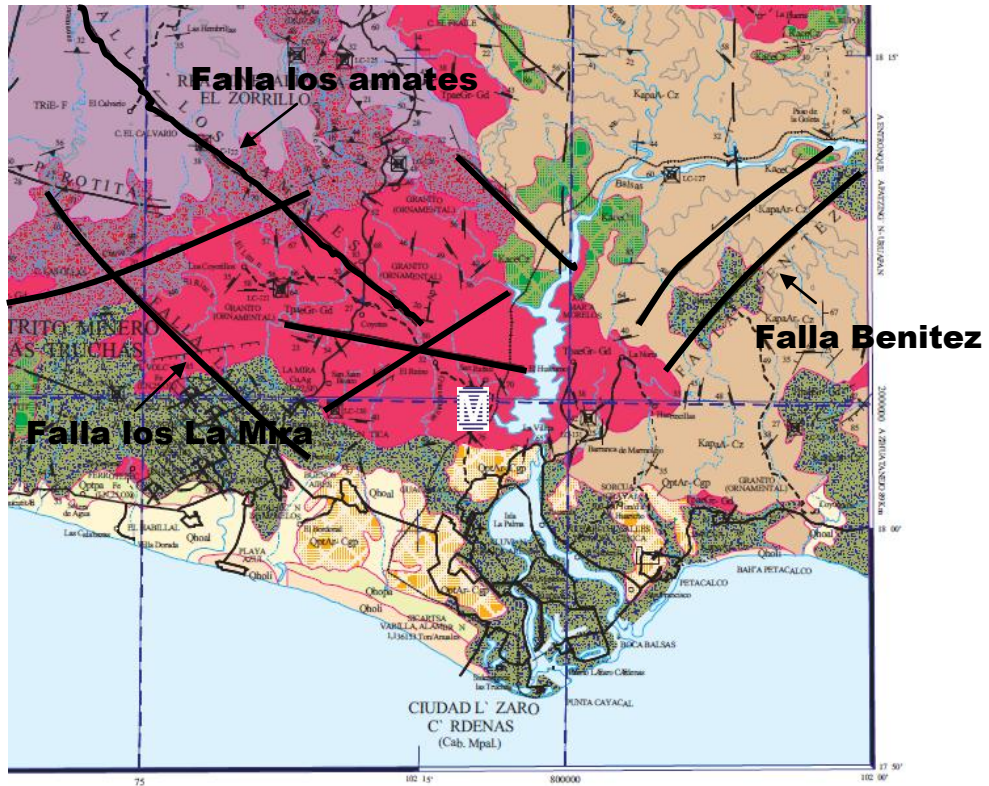


Figura 24. En la carta geológica se muestra las trazas de las estructuras regionales, en el que se manifiesta un régimen lateral izquierdo formando un sistema de cizalla en dos grupos principales, uno caracterizado por una extensión NW-SE y otro por una extensión NE-SW según Nieto-Samaniego et al. (2006), Alaniz-Álvarez et al., 2002; Silva Romo et al., 2001.

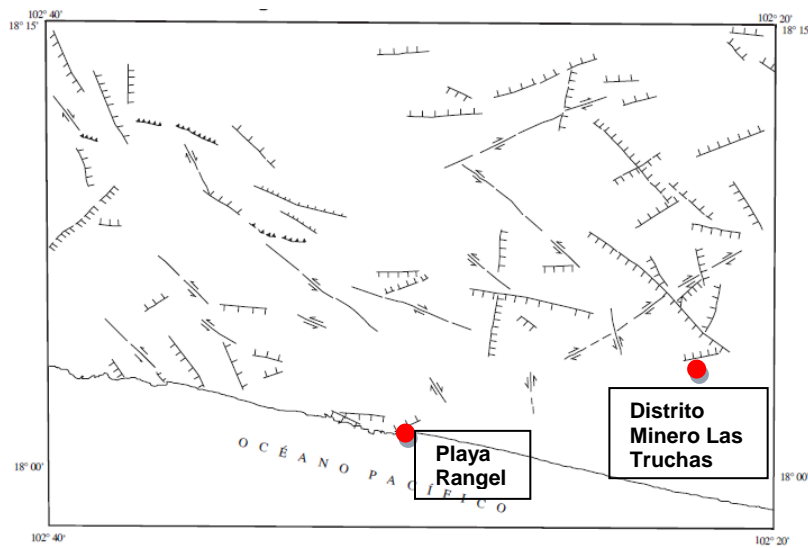


Figura 25. Esquema Estructural de la carta geológica de Playa Azul, Michoacán. El área del proyecto está fuera de la carta, hacia el este (Tomado del Servicio Geológico Mexicano, 2002).

4. YACIMIENTOS MINERALES

4.1. Bosquejo histórico de la exploración en el proyecto “La Balsa”

La mineralización del yacimiento de cobre de la Balsa fue descubierta en la propiedad de la Virgen (primer depósito descubierto) en 1950 por ASARCO quien llevó a cabo una limitada exploración y abandonó las concesiones (Minera Montoro no pudo localizar los resultados de aquel trabajo).

A continuación se presenta en orden cronológico las exploraciones realizadas desde 1950 a 1991 recopilados en un informe Minera Cuicuilco.

- **1950.** ASARCO realizó la perforación de barrenos pocos profundos, pero los resultados no se encuentran disponibles.
- **1969.** La St. Lucie Exploration Company realizó la perforación de barrenos de percusión poco profundos. No se tiene información disponible acerca de los resultados respectivos de la exploración.
- **1970 – 1977.** Las demandas excesivas por parte del propietario de la concesión impidieron los trabajos de exploración de St. Lucie Exploration y otras compañías. Lo que provocó que la propiedad estuviera inactiva hasta 1977. Subsecuentemente, los lotes se liberaron bajo la nueva Ley Minera Mexicana.
- **1977-1978.** Minera Cuicuilco adquirió las concesiones de La Virgen y desarrolló muestreo de suelo, reconocimientos geológicos y estudios de polarización inducida (IP) y Magnetometría.
- **1979.** Minera Cuicuilco realizó la perforación con diamante de 13 barrenos.
- **1987.** Se realizó la perforación de 35 barrenos de percusión por Minera Cuicuilco.
- **1988.** La empresa Brown & Root U.S.A, Inc. integró el estudio de factibilidad de lixiviación, extracción por solventes y deposición electrolítica (ES-DE) de los óxidos de cobre.
- **1989.** Minera Cuicuilco realizó la perforación con diamante de 22 barrenos totalizando 506 metros barrenados. La estimación de reservas de óxidos de cobre cercanos a la superficie en las zonas A y C se calcularon en 1,047,000 toneladas con una ley de 1.25% de Cu soluble¹ y 1.59% de Cu total con una ley de corte de 0.4%. La relación de descapote se calculó de 0.4 toneladas de estéril por una de mineral.

¹ %Cu soluble. Porcentaje destinado al contenido de cobre que pueden extraerse por medio de ácido sulfúrico.

- **1990-1991.** Minera Virgo, S.A. de C.V, en ese periodo condujo la evaluación geológica de la propiedad.

La exploración con mayor detalle fue realizada por las empresas Minera Cuicuilco S.A de C.V. (Cyprus), Minera Virgo S.A de C.V., Nevada Star Resources y Fischer Watt Gold Co., pero fue Minera Cuicuilco quién realizó la mayoría de la exploración (en la actualidad, Minera Montoro retiene la mayoría de los datos de perforación y algunos resultados de exploración en la superficie hechos por estas empresas).

Rouge River Resources inició operaciones en La Balsa en los inicios del 2006 con la barrenación inicial para definir los límites de los depósitos reconocidos que consistieron en 175 barrenos, para un total de 275 barrenos en los depósitos La Virgen, Iguana Prieta y Playa Azul. La fase I de la barrenación en el proyecto La Balsa fue completada por Minera Montoro el 30 de septiembre del 2006. Esta fase consistió en 144 barrenos en los dos principales depósitos (La Virgen e Iguana Prieta) con el objeto de que fueran más correctamente delineados, cubriendo un total de 19,569 metros.

La fase II de barrenación empezó en enero del 2007 para delimitar los yacimientos ya existentes. Adicionalmente, se hizo barrenación en nuevos prospectos generados en otra parte de la concesión minera. La estimación preliminar por Minera Montoro definió un inventario total de mineral (óxidos y sulfuros) de aproximadamente de 200 millones de libras de cobre (B.K. Jones, 2006, 2007). Los estudios de factibilidad preliminar por la compañía Cyprus y Fischer Watt en el 2008 sugirieron que el proyecto era económicamente viable.

A continuación se mostrará una tabla de las actividades más importantes que se han desarrollado en el proyecto desde 1955 al 2007 (Tabla 4).

A mediados del 2011 se realizó una tercera etapa de perforación de barrenos cortos, que se desarrolló fuera de los depósitos de La Virgen, Iguana Prieta y Playa Azul para explorar si los depósitos podrían unirse a menor profundidad para aumentar las reservas. Con el programa de barrenación se efectuó una descripción de los núcleos de los barrenos (*logeo*) y se completó la descripción litológica para los barrenos largos. Esto último inició en agosto del 2011 y finalizó en febrero del 2012.

En la actualidad la empresa Minera Montoro continúa realizando estudios y realizando el informe de impacto ambiental para proceder a la construcción de la mina.

Tabla 4. Actividades más importantes de exploración en el proyecto La Balsa, Mich.

Compañía	AÑOS		ACTIVIDADES	RESULTADOS
	De	A		
Asarco Inc.	1950	?	Exploraciones preliminares	Descubrimiento de la mineralización de Cu en La Virgen.
Minera Cuicuilco, S.A de C.V. Subsidiaria Mexicana de Cyprus Inc	1977	1987	Magnetometría de suelo, levantamientos Geoquímicos de suelo de roca y barrenación de 76 sondeos (entre los 20-40 metros de profundidad).	La estimación de reservas históricas de mineral en 160 millones de libras de cobre.
	1987	1990	Estudio de factibilidad favorable (conforme a la norma 43-101).	Propiedad vendida a Minera Virgo, no se alcanzo los objetivos de la Corporación Cyprus.
Minera Virgo S.A de C.V	1990	1996	Estudio de factibilidad favorable comisionado (conforme a la norma 43-101).	Fondos requeridos para iniciar la producción.
Nevada Star Resources	1996	1996	Se barrenaron 16 sondeos y realizaron una recopilación de la información del recurso conforme NI 43-101 en 200 millones de libras.	El precio de Cobre en los últimos 12 años bajo 0.60 por libra y debido a los altos impuestos anuales de la propiedad, la propiedad fue regresada a Minera Virgo.
Fischer Watt Gold Corp	1996	1996	Propiedad adquirida por Fischer-Watt, completando 8 sondeos de barrenación para confirmar intersecciones de altas leyes de Cu. Concesión de la propiedad adquirida hasta 2005.	Continúa los bajos precios del Cu desalentando la inversión en la propiedad. Inicio de adquisición hasta el 2005.
	2000		Propiedad rescatada por Minera Montoro S.A de C.V, subsidiaria de Fischer-Watt renombrandola La Balsa	Pruebas metalúrgicas iniciadas. Estudio de factibilidad financiado por K.D Engineering Mintec Inc, y Golder Associates.
Rogue River Resources	2006	2007	Al principio del 2006. La empresa inició operaciones en La Balsa con una barrenación inicial de por lo menos 175 sondeos (para un total de 276 pozos en el proyecto centrados en los depósitos existentes en la propiedad).	Plantas e instalaciones han sido compradas. Permisos en progresos con los estudios ambientales base completos.
	2007		100% de la propiedad adquirida el 7 de Octubre, después de la entrega oportuna del pago final.	Informe de pre-factibilidad en progreso. Financiamiento y presupuesto para el informe de factibilidad.

4.2. Marco geológico local.

El área de la Balsa generalmente está conformada por prominentes rasgos topográficos con tendencia al norte-noreste caracterizada por una marcada silificación y alteración sericítica de las rocas que albergan la mineralización, la que está relacionada con el patrón de la mineralización de cobre (Brian K. Jones, 2008).

Estos prominentes rasgos topográficos consisten en dos cerros que están alineados hacia el este-noreste con vegetación escasa. En las partes altas de los cerros se observa la presencia de mineralización de cobre en forma de coloraciones verdosas (presencia de carbonatos de cobre) con tintes marrones rojizos (óxidos de hierro) que se muestran entre las fracturas. Estas fracturas con presencia de mineralización de cobre están ampliamente distribuidas en los cuerpos mineralizados Iguana Prieta, La Virgen y Playa Azul (Anexo 2, Geología de detalle) (Figura 26).



Figura 26. Afloramiento del lote de La Virgen que muestra la presencia de mineralización en forma de carbonatos de cobre en rocas porfídicas de composición adamelíticas.

Las rocas presentes en el área de la mineralización de La Balsa son del tipo ígneo y sedimentario, aunque existe cuerpos lentiformes de roca orientados hacia el este-oeste entre los contactos de las rocas ígneas y sedimentarias, que muestran evidencia de metamorfismo de contacto (hornfels formados a baja presión y \pm temperatura) (Anexo 2, Geología de detalle).

Las rocas ígneas consisten en coladas masivas de andesita-basalto del Cretácico (Brian K. Jones, 2008) y granodiorita, cuarzomonzonita-cuarzodiorita, andesita post mineral y coladas y domos riolíticos de edad Terciaria que se muestra fuera del área del estudio aproximadamente a un 1km hacia el NW-W (Anexo 1, Mapa geológico local).

Las rocas sedimentarias están representadas por grauvaca con sedimentos de origen volcánico y de aguas profundas del Cretácico-Jurásico; las grauvacas están intercaladas con toba blanca y sobre ellos descansa conglomerado polimíctico y aluvión de edad Cuaternario-Reciente (Anexo 1, Mapa geológico regional). Se muestra la columna litológica del proyecto La Balsa basada principalmente, en los datos obtenidos del barreno MM-323 (Figura 27).

El arco magmático que se generó entre los 46 y 38 Ma en el Terreno Zihuatanejo, conformada generalmente por rocas ígneas intrusivas de composición granodiorítica y cuarzomonzonítica-cuarzodiorítica que afloran en el área del proyecto “La Balsa” y en sus alrededores condicionó el escenario tectónico ideal para el emplazamiento de los depósitos de cobre en la región; esto es parte de la metalogénesis que se desarrolla en un típico arco magmático marginal encima de una zona subducción (Figura 28).

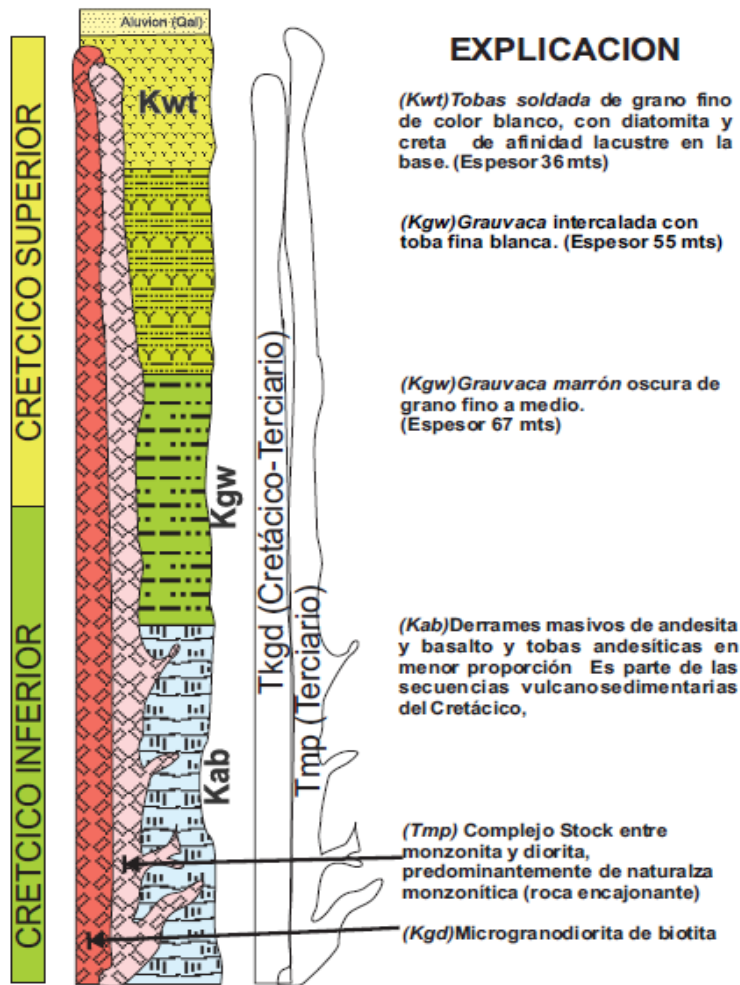


Figura 27. Columna litológica del proyecto La Balsa, Mich., conforme a datos de superficie y del barreno MM-323 (reporte inédito, Minera Montoro, 2007).

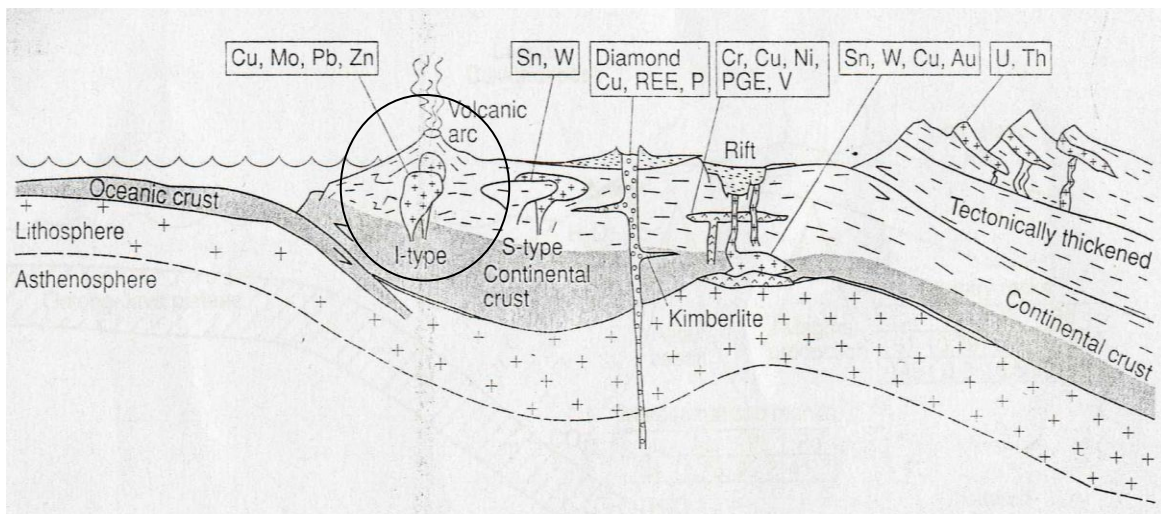


Figura 28. Arquitectura de la corteza terrestre que muestra los diferentes tipos de depósitos relacionados con la actividad ígnea. En un círculo se muestra la ubicación la región en donde se idealiza a el área de estudio (Tomado de Introduction to ore forming processes, Laurence Robb, 2005).

4.2.1. Coladas Masivas de Basalto-Andesita (Kab)

Las coladas masivas de andesita y basalto cubren un tercio aproximadamente del área estudiada; afloran hacia el norte y se extienden al oeste por varios kilómetros y son las rocas más antiguas que se presentan en el área (Anexo 2. Geología de detalle). Estas rocas están en una posición infrayacente por contacto irregular con la unidad vulcanosedimentaria (Kgw); ésta última consiste en una delgada capa de andesita en su base y hacia el techo consta de la sucesión granodecresciente de grauvaca (Figura 27). Las coladas presentan un *espesor aparente* de 434 m, que podría ser mayor, pero la intrusión del cuerpo monzonítico dificulta precisar el espesor (información recabada en el barreno MM-323).

Los derrames de basalto-andesita se correlacionan con las sucesiones turbidíticas de aguas someras presentes en la margen costera de Zihuatanejo que se mencionaron en el anterior capítulo (lavas andesíticas, arenisca volcánica, lutita y toba sucesivamente asociada a un arco volcánico).

Las rocas presentan un color azul con tonalidades grises al fresco, deleznales, pero al intemperismo manifiestan un color ocre a marrón; muestran un intenso fracturamiento y exhiben vetillas de calcita, clorita entre las fracturas, epidota en forma de diseminaciones escasas y oxidación que, en ocasiones está asociada a calcopirita y pirita a profundidades en donde hay un cambio litológico a monzonita (Figura 29).



Figura 29. En la parte señalada se muestra un cambio de color de gris claro y ocre (perteneciente a la intrusión de la cuarzomonzonita) a gris oscuro azulado que representan a las coladas de andesita-basalto. Barreno MM-265 de 7.7 a 9.6 m.

Estudios petrográficos muestran una textura porfídica a afanítica. Los fenocristales tienen gemelaciones de las leyes de Carlsbad-periclino y los microlitos presentan típico hábito tabular; las plagioclasas son euedrales, con maclas polisintéticas y alteración débil a sericita. El feldespato potásico no está maclado es homogéneo y prácticamente no está alterado. La matriz es microlítica pero también puede ser una variante de granofídica, se compone de plagioclasas, cuarzo (en gran parte secundario) y feldespato potásico. La limonita es producto de la alteración de piritita. En ocasiones se observa cuarzo en forma de megacristales corroídos y fracturados. Las plagioclasas forman fenocristales alterados por sericita (Informe inédito de Minera Cuicuilco, 1994).

Su abundancia relativa es cuarzo 5%, plagioclasas 65%, feldespato potásico 15%, clorita 5%, epidota 5% y calcita 4% clasificada por tanto, como traquiandesita porfídica.

4.2.2. Grauvaca (Kgw)

Aflora al sur del área del proyecto, específicamente a lo largo del lado sur-occidental de las vías del ferrocarril; aunque también se observan en el flanco contrario con afloramientos más limitados y más cercanos a la mineralización de cobre; la roca se extiende generalmente hacia el SW-W (Anexo 1 y 2).

Consisten en una sucesión de rocas que presentan intercalaciones y cambios laterales entre grauvaca, litarenita y conglomerados de color marrón oscuro al fresco y marrón claro a la intemperie que afloran en las parte bajas de los cerros en el límite sur del área del proyecto. Predomina la grauvaca de grano fino con clastos de líticos de composición riolítica y andesítica de forma subangulosa a angulosa, con presencia de calcita en forma de vetillas; la inclinación de los estratos varía de 40 a 80° hacia el sur (Figura 30); La inclinación de la grauvaca es bastante constante hacia el lado poniente de la vía del ferrocarril.

Estas rocas son parte de la intercalación de rocas sedimentarias marinas y rocas volcánicas de composición intermedia a básica de edad Cretácica, correlacionables con la sucesión turbidítica del margen costero de Zihuatanejo que consiste en lavas andesíticas, arenisca volcánica, lutita y toba.



Figura 30. Afloramiento de grauavaca ubicado entre los depósitos de Iguana Prieta y Playa Azul al lado de la línea del ferrocarril.

En algunos sondeos se observa que la sucesión de la grauavaca se presenta a niveles muy superficiales (de 10 a 30 m de profundidad); esto es el resultado de un fallamiento complejo a pequeña escala a lo largo del contacto con el cuerpo monzonítico, básicamente debido a los esfuerzos que rigieron la intrusión del cuerpo monzonítico. Además se observan foliaciones en la grauavaca en el contacto con la monzonita, que pudieran confundir la orientación de las capas de grauavaca debido a un metamorfismo de contacto que modificó la textura y la asociación mineralógica de la grauavaca (Figura 31).



Figura 31. Contacto entre la grauavaca y la monzonita (barreno MM-216 a 15 m de profundidad desde la superficie del collar del barreno).

El contacto entre la grauavaca (Kgw) y las coladas de basalto y andesita (Kab) es irregular, sinuoso; la grauavaca descansa encima de las coladas masivas de

andesita y basalto. Las grauvacas están intrusionadas por un cuerpo de naturaleza monzonítica a cuarzomonzonítica (Tmp).

En el barreno MM-323 se observan en la grauvaca intercalaciones de toba blanca de afinidad riolítica a una profundidad de unos 40 m. El espesor para la grauvaca intercalada con la toba es de 55 m, mientras el paquete de grauvacas sin intercalaciones presenta un espesor de 67 m (las intercalaciones de toba en la grauvaca están hacia la cima del paquete de grauvaca en el barreno MM-323); por lo tanto se tiene un espesor neto de grauvacas (Kgw) de 122 m.

En esta secuencia creciente de afinidad turbidítica y sedimentos finos de aguas someras existen cuerpos lentiformes de rocas metamórficas (hornfels) alineados a lo largo del contacto entre la grauvaca (Kgw) y el cuerpo intrusivo (Tmp). En estos cuerpos en su mayoría lentiformes, la mineralización generalmente es hematita especular, goethita, rellenos de calcita, mármol, en ocasiones magnetita y algunas ocurrencias de cobre en forma de malaquita y crisocola que están a lo largo de fracturas cerca del contacto con el cuerpo intrusivo (Tmp) (Figura 32).

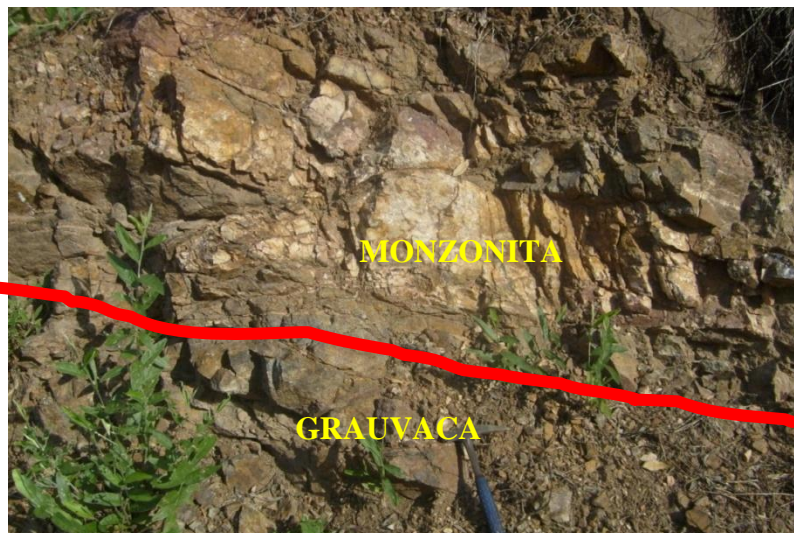


Figura 32. Hornfels ubicado en el contacto entre la monzonita y la grauvaca hacia el W del proyecto, en ella se observa calcita recristalizada + mármol, hematita especular y en menor proporción malaquita a lo largo de las fracturas en la zona de contacto al sur.

4.2.3. Toba (Kwt)

Estas rocas afloran en una pequeña área ubicada al noreste del área del proyecto y también en esporádicos afloramientos hacia al oeste y noreste fuera del área de estudio (Anexo 1, Mapa geológico local). Caracterizada por ser una toba estratificada con afinidad depositada en un medio acuoso constituida por marga y diatomita.

Estas rocas también están presente en algunos afloramientos afuera del área de estudio de la base de la secuencia vulcanosedimentaria como tobas soldadas.

Estas44 rocas conforman la cima de la sucesión vulcanosedimentaria de afinidad turbidítica del cretácico (Figura 27), por lo que descansa en contacto concordante con la grauvaca (Kgw); cabe destacar que las tobas se encuentran en contacto discordante con la cuarzomonzonita (Figura 33); la interpretación del contacto litológico expresa una estructura de discontinuidad por el emplazamiento del cuerpo intrusivo.

En el barreno MM-323 el paquete de tobas presenta un espesor aparente de 36 m (debido a la erosión y al intemperismo). La razón por la que no aparece la toba en el mapa geológico de detalle (Anexo 2), es porque aflora en una extensión muy pequeña, por lo que fue integrada a la sucesión vulcanosedimentaria de la grauvaca (Kgw), sin embargo en el mapa geológico local si se muestra (Anexo 1).

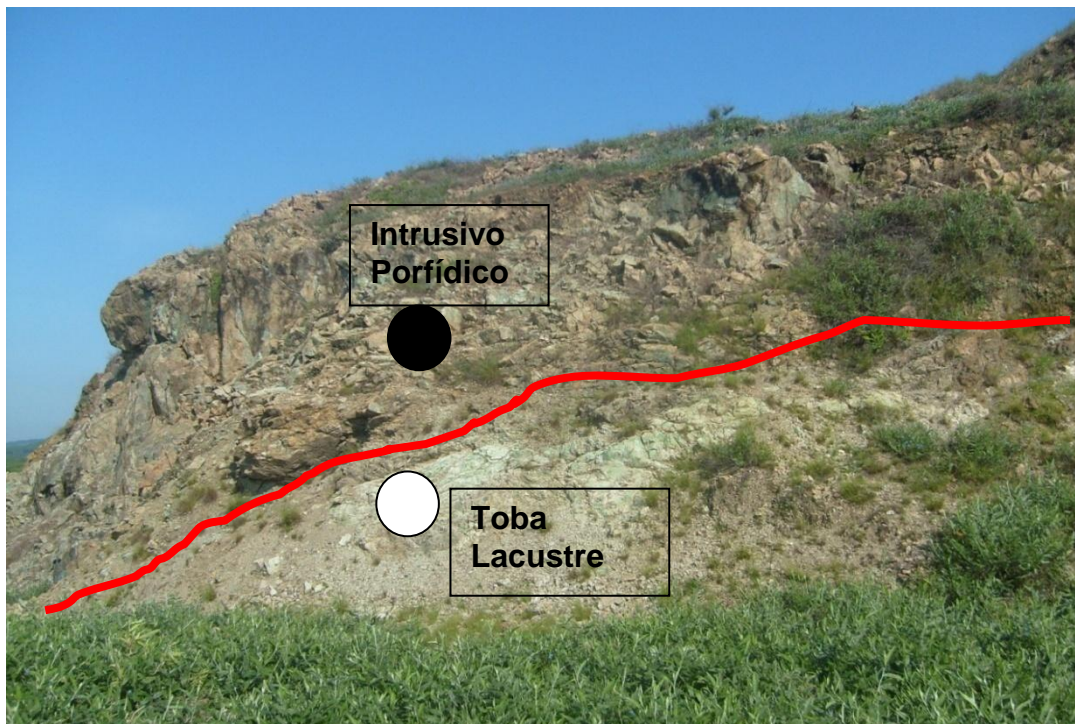


Figura 33. Contacto intrusivo que limita al depósito La Virgen entre la roca porfídica y la toba de afinidad lacustre; sin embargo interpretaciones anteriores han manifestado un contacto por falla inversa, en el que cabalga la cuarzomonzonita sobre la toba.

La toba se muestra a profundidad en sondeos cercanos a la traza del límite de la intrusión como una toba de grano fino de naturaleza riolítica, por lo que es una importante guía para localizar la traza de la discontinuidad (Figura 34). La mineralización de cobre está ausente en la toba, aunque presenta indicadores del emplazamiento de los cuerpos mineralizados debido a que existen indicios de

estrías en la superficie de la toba que aseveran un post-fallamiento intrusivo proveniente del NW.



Figura 34. Toba riolítica intensamente fracturada, a 70 m de profundidad en el sondeo MM-130 se localiza el contacto intrusivo con cuarzomonzonita.

4.2.4. Microgranodiorita (Tkgd)

Esta roca aflora hacia el límite noreste del área del proyecto (Anexo 1. Mapa geológico local, Anexo 2. Geología de detalle) y contiene a lo largo de las fracturas óxidos de cobre en forma de malaquita y crisocola cerca del contacto con la monzonita; aunque continúa aflorando fuera del proyecto, pero sin mostrar algún indicio significativo de mineralización cuprífera (Figura 35). Según los laboratorios METCOM (2005), esta roca contiene 2% de sulfuros y 0.4% de cobre; presenta textura porfídica, y está constituida principalmente de feldespatos con pirita diseminada.

La microgranodiorita está en contacto intrusivo con el pórfido adamelítico (Tmp), posicionando a la monzonita arriba de la granodiorita en el lote de La Virgen; asimismo, la microgranodiorita intrusión a las grauvacas, que seguramente se trate de una intrusión-posfallamiento que evidencia la zona copular de un stock (Anexo 2, sección B-B') siendo junto a la cuarzomonzonita un remanente de un apófisis.



Figura 35. Muestra de mano de microgranodiorita intemperizada localizada cercana al contacto intrusivo con la cuarzomonzonita y la microgranodiorita en el lote de La Virgen. En ella se observa mineralización supergénica de malaquita y crisocola entre las fracturas.

Estudios petrográficos realizados por Minera Cuicuilco (1989) muestran una textura porfídica con 60% de fenocristales. La mineralogía consiste en 55% de plagioclasas, cuarzo con un 20%, calcita con 5%, clorita 5%, minerales opacos 5% y feldespatos potásicos 10%. Los cristales de plagioclasas son euedrales y gemelados y algunas secciones se encuentran fracturadas indicando que la roca ha sido sometida a esfuerzos. Otras secciones están parcialmente alteradas por calcita. En ocasiones los fenocristales forman conjuntos de cristales más pequeños. Hay pocas secciones de minerales ferromagnesianos que se encuentran invariablemente alterados a clorita.

La matriz de la roca es microcristalina, de cristales equiaxiales compuesta de plagioclasas, cuarzo, feldespatos potásicos, calcita y poca clorita. Los minerales opacos están disseminados (pirita?).

4.2.5. Cuarzomonzonita y cuarzodiorita (Tmp)

La roca presenta un color gris claro al fresco a marrón con tonalidades rojizas y en ocasiones verde a la intemperie; de textura holocristalina fina a porfídica; en ocasiones en partes intemperizadas se observa un color pardo muy claro en la roca, producto de una argilización avanzada que está relacionada con procesos hidrotermales (Figura 36); por lo general, en los afloramientos se observa una intensa silicificación-oxidación con abundantes fracturas, que generalmente muestran un color rojizo debido a la intensa oxidación (Figura 37).

Aflora en la parte central del área de estudio con una distribución de este a oeste y con un rasgo característico en forma de un conjunto de cerros alineados que pertenecen al área de la Balsa; estas rocas logran extenderse hacia el NW-W

fuera del área de estudio por más de un 1 kilómetro (Anexo I, Mapa geológico local “La Balsa”).



Figura 36. Cuarzomonzonita que muestra una coloración parda a lo largo de las fracturas, entre los fragmentos se observa argilización avanzada (barreno MM-117 entre los 19.5 y 20.8 m de profundidad).



Figura 37. Afloramiento de monzonita intensamente fracturada y brechada con presencia de óxidos de hierro y escasa malaquita a lo largo de las fracturas en el lote de Iguana Prieta.

Son las rocas que presentan mayor importancia en el área de estudio. Sus afloramientos se denominaron cuerpo mineralizado de Playa Azul, Iguana Prieta y

La Virgen que se alinean en una dirección general NE-SW que coincide con la orientación del conjunto de cerros La Balsa, mismos que se prologan hacia el noroeste. Se encuentran intrusionando a las grauvacas hacia el sur y las coladas masivas de basalto-andesita hacia el norte y también a la microgranodiorita (Tkgd) y la toba (Kwt) en un complejo post-fallamiento debido a la intrusión del stock (Anexo 2, Geología de detalle “La Balsa” y sección C-C’).

Solo en el área del depósito de Iguana Prieta se presenta mejor desarrollada la mineralización de cobre; sin embargo, el depósito de la Virgen tiene una mayor cantidad de cobre soluble. Mientras el depósito de Playa Azul es una continuidad lateral del cuerpo de Iguana Prieta que contiene una menor mineralización que en los otros.

Los estudios petrográficos realizados por Minera Cuicuilco sobre el barreno V-2 a 97.85 metros de profundidad reportan una textura porfídica con 50% de fenocristales; su mineralogía consta de 65% de plagioclasas, 15% de cuarzo, 5% de minerales opacos, 3% de clorita, 1% de sericita y 4% de apatita. La roca se clasifica como una cuarzomonzodiorita (Figura 38). Las plagioclasas forman fenocristales euedrales gemelados, presentando poca alteración a sericita, turmalina y vetillas de calcita que cruzan otras partes de la roca. La matriz es microcristalina, conformada por microcristales de plagioclasas, cristales anedrales de cuarzo y zonas alteradas a clorita, calcita y la pirita está diseminada en toda la roca. A 47 metros, Minera Cuicuilco reporta un 60% de fenocristales y una mineralogía que corresponde con 55% de plagioclasas, 20% de cuarzo, 5% de clorita, 5% de minerales opacos y 10% de feldespatos potásicos clasificándola como granodiorita aproximándose a cuarzomonzodiorita (Figura 38). Los cristales de plagioclasas son euedrales y gemelados; en algunas secciones se manifiesta microfracturamiento, evidencia de que la roca estuvo sometida a esfuerzos. Otras secciones están parcialmente alteradas por calcita. En ocasiones los fenocristales forman aglomerados de cristales más pequeños y asimismo se presenta áreas restringidas ferromagnesianos que se encuentran invariablemente alterados a clorita.

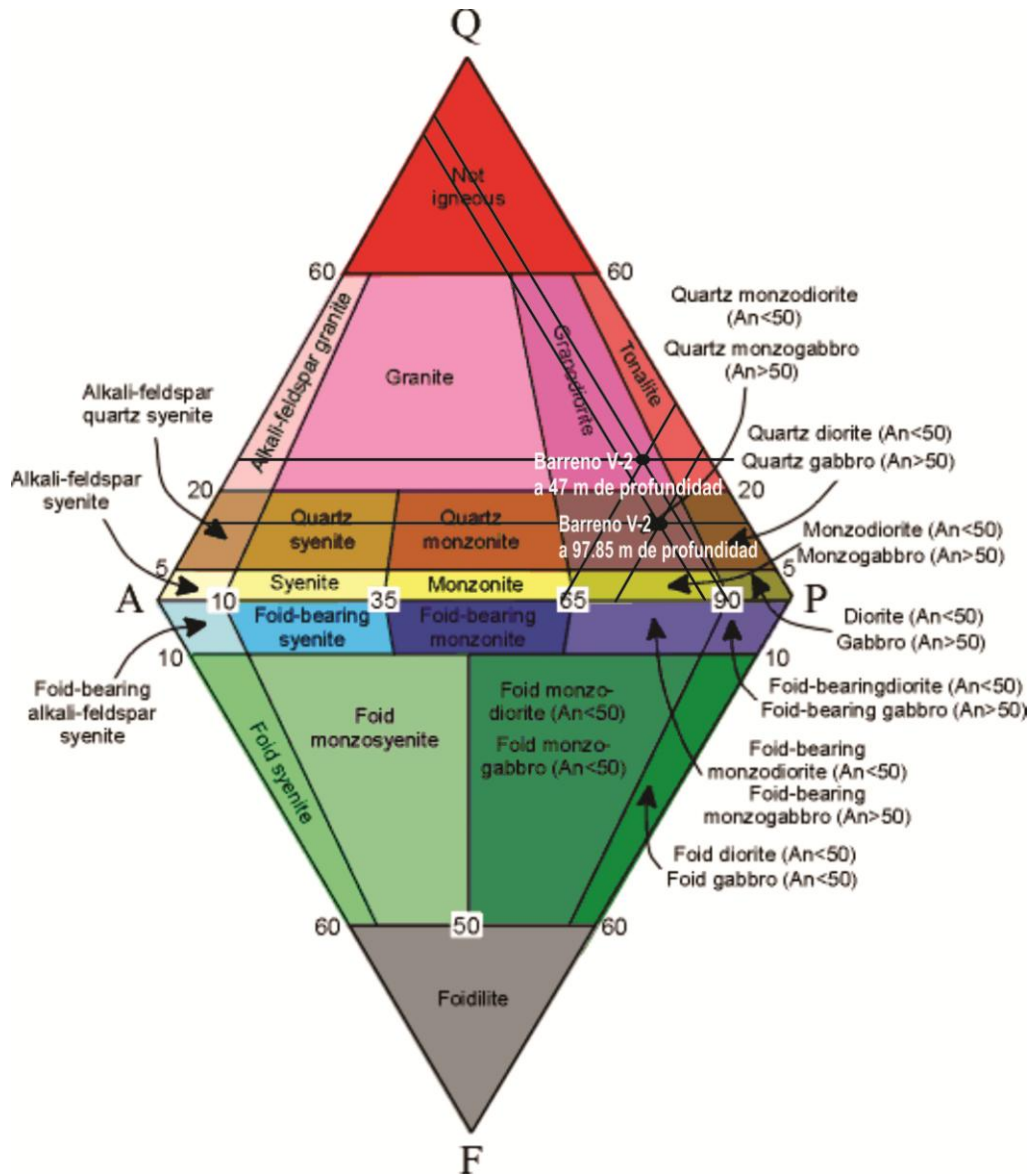


Figura 38. Clasificación de acuerdo con Lamaitre (2002). Las líneas negras que cruzan el interior del triángulo representan la determinación por porcentajes de plagioclasas (P), feldespatos alcalinos (A) y cuarzo (Q) para las muestras petrográficas del sondeo V-9 a dos distintas profundidades.

Estas rocas posiblemente se correlacionan con rocas intrusivas del episodio magmático comprendido entre los 46 y 38 millones de años, que correspondió al emplazamiento de grandes cuerpos plutónicos de composición intermedia y silícica, así como lavas basáltico-andesíticas e ignimbritas; ya que hay fechamientos isotópicos de rocas magmáticas aproximados al intervalo que están cerca del área del estudio (Figura 39) sin embargo, todavía no se cuenta con fechamientos de las rocas intrusivas del proyecto.

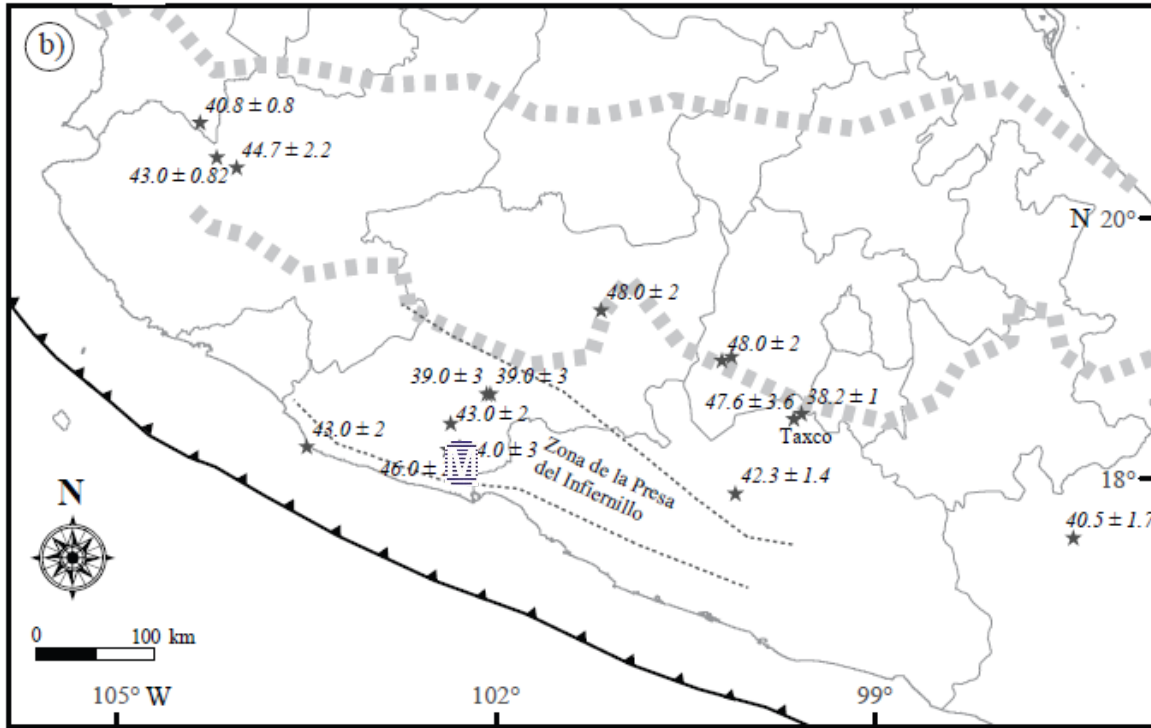


Figura 39. Distribución espacio-temporal de las rocas magmáticas terciarias del sur de México. Compilación de edades agrupadas en intervalos en este caso de 48 a 38 Ma (b). El símbolo (Minera Montoro) demuestra la localización del proyecto La Balsa. Datos tomados de Schaaf *et. al.* (1995); Moran Zenteno *et. al.*(1999); Ferrari *et. al.* (1999); Garduño-Monroy *et. al.* 1999; Cerca (2004).

4.2.6. Riolita porfídica e ignimbritas (Tr)

Es una roca de grano fino, de color rosa al fresco a marrón debido a la meteorización, de textura afanítica con fenocristales de cuarzo y una matriz vítrea. Se presentan como derrames y domos que se relacionan con actividad volcánica explosiva.

La riolita no aflora en el área del proyecto, pero se presentan afloramientos hacia el noroeste (Anexo I, Mapa geológico local). Una pequeña caldera ha sido mapeada por los geólogos de Minera Montoro cerca de un 1 km al noroeste, que posiblemente sea correlacionable con las edades del arco magmático que se desarrolló entre 46 y 38 Ma.

4.2.7. Andesita post-mineral (Ta)

Estas rocas afloran en la parte central de la zona de Iguana Prieta, en forma de diques irregulares. Presentan un color gris claro con tonalidades marrones debido

a la meteorización y azul grisáceo al fresco; la roca tiene una textura afanítica y en ocasiones porfídica, en donde se observan fenocristales ovalados de plagioclasas. Fuera del área de estudio afloran también diabasas que cortan a las secuencias vulcanosedimentarias.

Estos diques corresponden con intrusiones tardías y son inmediatamente posteriores a la cuarzo-monzonita (Qmp); claro ejemplo se tiene en el cuerpo de andesita afanítica en el centro del cuerpo mineralizado de Iguana Prieta, que se observa en los barrenos MM-167, MM-136 y MM-224 y otro que se manifiesta en los barrenos MM-203, MM-146 justo en medio de los lotes de La Virgen y Playa Azul (Anexo 2 (sección B-B'), Anexo 3 (sección IP-IP')).

Los diques generalmente presentan alteración propilítica, masas de feldespatos potásicos secundarios en forma de vetas entrelazadas muy cercano al contacto con la cuarzomonzonita y en la superficie de las fracturas se presenta calcita + clorita (Figura 40). Estos diques están intensamente fracturados hacia la superficie y a profundidades mayores, se manifiestan en forma de bloques estables de gran espesor.



Figura 40. Andesita porfídica ubicada en el centro del cuerpo mineralizado de Iguana Prieta; se presenta un cambio a monzonita con un intenso fracturamiento (señalado en el cuadro rojo) en el contacto y una gran oxidación (se presenta óxidos de hierro y cobre) (barreno MM-167 entre los 11.0 y 12.6 m).

4.2.8. Aluvión (Qal)

Es la unidad más reciente constituida por aglomerados y conglomerados formados por rocas andesíticas, calizas y basaltos de tamaño variables, afloran en una pequeña parte al noroeste del área mineralizada y se extienden hacia el NE hasta los alrededores del Lago Balsas.

4.3. Rocas Encajonantes

Las rocas encajonantes en las que reside la mineralización, consisten de múltiples intrusiones, generalmente porfídicas, que varían entre cuarzomonzonita, monzonita y cuarzodiorita (Tmp). Todas estas rocas están sericitizadas en la totalidad del cerro La Balsa y principalmente en la parte central del área del proyecto (Anexo 2, Mapa geología local). Estas rocas en la superficie por lo general, se presentan con *stockworks*, en donde también se observa mineralización supergénica en forma de carbonatos, óxidos de hierro-cobre y en menor proporción otros sulfuros secundarios de cobre como covelita y calcocita (Figura 41).



Figura 41. Afloramiento de cuarzomonzonita que muestra mineralización supergénica (malaquita y óxidos de Fe) principalmente a lo largo del enjambre de fracturas en el cuerpo de La Virgen.

La intrusión porfídica se comporta como un sill que se inclina hacia el sur de 40° a 30°, aproximadamente (Anexo 3, Perfiles de muestreo, IP-IP'). En la construcción de perfil de acuerdo a la información de los barrenos y la geología; dentro del sill se manifestaron cambios litológicos complejos que en la mayoría corresponden a diques andesíticos porfídicos (Ta) que es común en la zona copular de una intrusión. Hacia el norte el sill intrusiona a los derrames de andesita-basalto; mientras que al sur está intrusionando a las grauvacas (Kgw) (Anexo 3, Perfiles de muestreo IP-IP'). Sin embargo particularmente se logro visualizar en el perfil un bloque irregular de gran tamaño de composición andesítica que posiblemente sea una asimilación a profundidad o exhumación de los derrames de andesita-basalto por la cercanía que existe entre ellos.

La monzonita y la cuarzomonzonita son las rocas predominantes que principalmente contienen mineralización; sin embargo también existe mineralización a lo largo de la zona de contacto entre la grauvaca y la monzonita, aunque con una presencia no significativa. Cabe señalar que las evidencias de mineralización se extienden unos pocos centímetros hasta varios metros de profundidad en la grauvaca, la que consiste en carbonatos de cobre que ocurren a lo largo de fracturas.

En los límites entre las coladas masivas de basalto-andesita (Kab) y la cuarzomonzonita (Tmp) (Anexo 2, Geología de detalle “La Balsa”) hay leves síntomas de fracturamientos en las rocas andesíticas-basálticas que suelen contener malaquita y hematita; dichas fracturas se extienden unos pocos metros solamente después del contacto entre ambas rocas.

Con respecto a los pequeños diques de andesita porfídica (Ta) y los bloques exóticos de la misma composición (Kab) que se presentan a una mayor profundidad, solamente en el depósito de Iguana Prieta (Anexo 3, perfil IP-IP’), la mineralización de sulfuros está presente en forma de vetillas entrelazadas de bornita y calcopirita que se presentan en los límites del contacto entre la monzonita y los diques a profundidades mayores a 50 m; sin embargo, en el depósito de la Virgen estos diques no contienen mineralización significativa.

4.4. Estructuras Mineralizadas

Los principales cuerpos irregulares en el que residen estructuras en forma de brecha, están alineados de este-oeste en un conjunto de cerros que presentan un relieve abrupto; dicho conjunto recibe el nombre de cerro “La Balsa”.

Estos cuerpos mineralizados están alojados en rocas porfídicas de composición cuarzomonzonítica a cuarzodiorítica (Tmp) (Anexo 2, Geología de detalle La Balsa). Sus nombres son La Virgen, Iguana Prieta y Playa Azul, aunque el último solo es una continuación lateral del cuerpo de Iguana Prieta, según Brian K. Jones (2007) (Anexo 2; perfiles A-A’, B-B’ y C-C’). En los tres cuerpos ocurre una variedad de estructuras de brechas de origen magmático-hidrotermal, en donde reside la mayoría de las concentraciones de sulfuros de cobre de origen hipogénico.

Generalmente en las zonas someras de los tres depósitos, se presentan *stockworks*, en donde reside la mineralización supergénica como carbonatos de cobre (malaquita y crisocola), otros sulfuros secundarios (covelita, calcocita,

cuprita) y oxidaciones de hierro en forma de goethita y hematita; los óxidos de hierro y cobre se presentan principalmente en el depósito de La Virgen. A profundidad la mineralización hipogénica se presenta generalmente en forma de sulfuros de cobre, como calcopirita y bornita en los límites de las brechas y sus intersticios, así como en vetillas y en disseminaciones en toda la roca (reemplazamientos sobre fenocristales de plagioclasas y minerales máficos); sin embargo, las principales mineralizaciones ocurren en los cuerpos de Iguana Prieta y La Virgen.

Burham (1988) menciona que estos cuerpos de brechas están comúnmente localizados en las partes más exteriores y en los alrededores de los márgenes laterales de los plutones o stocks; estos cuerpos normalmente se expresan como yacimientos en forma de chimeneas de brecha, comúnmente asociados a la evolución de los arcos magmáticos. En los yacimientos de La Balsa se muestra que, efectivamente, se presentan estos cuerpos en las partes más externas y laterales del intrusivo de granodiorita. La litología de los fragmentos de las brechas coincide con la naturaleza de las rocas circundantes (Tmp) para definir brechas monolitológicas principalmente. En los cuerpos mineralizados del proyecto La Balsa, ocasionalmente las brechas constan de fragmentos de algunas rocas circundantes; como los fragmentos de andesita-basalto (Kab) que son a veces frecuentes. Brechas de estos fragmentos (incluyendo las monolitológicas) son de grano fino y presentan fragmentos subredondeados de tamaños desde 2 cm hasta de 1 metro. En general solo algunas de estas brechas contienen una significativa mineralización de cobre en forma de calcopirita y bornita; las demás contienen piritita en su matriz solamente.

Es interesante señalar un ejemplo teórico que haga posible distinguir las características específicas en cada depósito de brechas mineralizadas; la representación se muestra en el esquema de la figura 43 en donde se indican dos fases relacionadas con el mecanismo de formación que son:

- ✓ **Brechas de intrusión**
- ✓ **Brechas de colapso**

Las brechas de intrusión son rocas que se originan en condiciones de un intenso flujo de fluidos durante la explosión de volátiles inyectados desde la intrusión entre las rocas encajonantes. Las brechas pertenecientes a esta clase incluyen roca molida (*rock flour*) (Sillitoe, 1985), brechas y localmente *tufisitas* (Mt Leyshon, al este de Australia; Paull et al., 1990; Orr, 1995, aunque este término es también usado en brechas freatomagmáticas). Las *tufisitas* comprenden material tobáceo que está molido, alterado y en capas a masivo; son característicos de brechas de

diatrema y pueden manifestarse como la roca dominante. La fuente proviene de fragmentos encajonantes y material intrusivo.

Estas brechas son generalmente soportadas por una matriz de un molido de roca y cementante hidrotermal, así como fragmentos de intrusión que fueron triturados durante el transporte. Como ya fue precisado el proceso de molienda toma lugar en ambientes magmáticos altamente fluidizados. Los fragmentos de estas brechas muestran redondeamiento (Sillitoe, 1985; Baker y Andrew, 1991) y también pueden ser llamadas brechas de descompresión, las que se forman durante la rápida despresurización de fluidos o masas de roca. Estas brechas exhiben particularmente fragmentos casi esféricos a subredondeados, acompañados por fragmentos tabulares y curvados, separados por un espacio abierto menor, que pudiera estar relleno por mineralización hidrotermal (Figura 43). Otro tipo de brechas de intrusión puede contenerse en diques intrusivos como en San Cristóbal, Chile (Baker et al. 1986) (Figura 43). Tanto en Kidston como en San Cristóbal, diques félsicos tempranos asociados con las brechas de intrusión son cortados por intrusiones cuarzo-feldespática porfídicas, posiblemente reflejando una fusión de lo más profundo dentro de la cámara magmática (G. Corbett y T Leach, 1997).

El término genético de **brechas de colapso**, es aplicado a un grupo de brechas con abertura formada durante la relajación de los esfuerzos, después de la explosión inicial de las brechas de intrusión, las que se encuentran mejor expuestas particularmente en las partes más superiores de las chimeneas de brechas. Asimismo hacia los márgenes de las chimeneas, las brechas de intrusión son progresivamente cortadas por brechas de colapso.

Únicamente pequeños rastros de transporte de rocas encajonantes son reconocidas en varias brechas monolíticas, del tipo rompecabezas (Sillitoe, 1985) o rotas (Baker et al., 1986) que pueden mezclarse entre sí por el retiro del cementante hidrotermal, y contrastar con fragmentos de la fase de naturaleza intrusiva. En Kidston, al este de Australia, el contacto geológico de la roca encajonante puede ser trazado desde fuera hacia dentro de la chimenea de brecha, con la presencia de grandes bloques tabulares en una posición casi acostados, indicador de una transición a los márgenes del sistema.

Las fases de **brechas de colapso**, también muestran brechas tipo dominó, mosaico o imbricadas, formadas por un rompimiento regular o laminar cerca de los márgenes de la chimeneas (Sillitoe y Sawkins, 1971) típicamente por colapso. Las brechas de mosaico son una transición a brechas angulares quebradizas (shatter) según Baker et al. (1986). Pueden inclinarse por encima del centro de la chimenea y siguen con la disminución de la inclinación hacia los márgenes de la misma (Sillitoe, 1985) (Figura 42). Las brechas de mosaico en una posición vertical puede formarse por el aprovechamiento de minerales hidrotermales tardíos, en fracturas

laminares pre-minerales dentro de corredores estructuras. De igual manera el colapso a lo largo de la superficie marginal de la chimenea puede provocar la formación de fracturas que pueden ser aprovechadas por fluidos para formar brechas como es el caso de la chimenea de brechas de Chile (Figura 43).

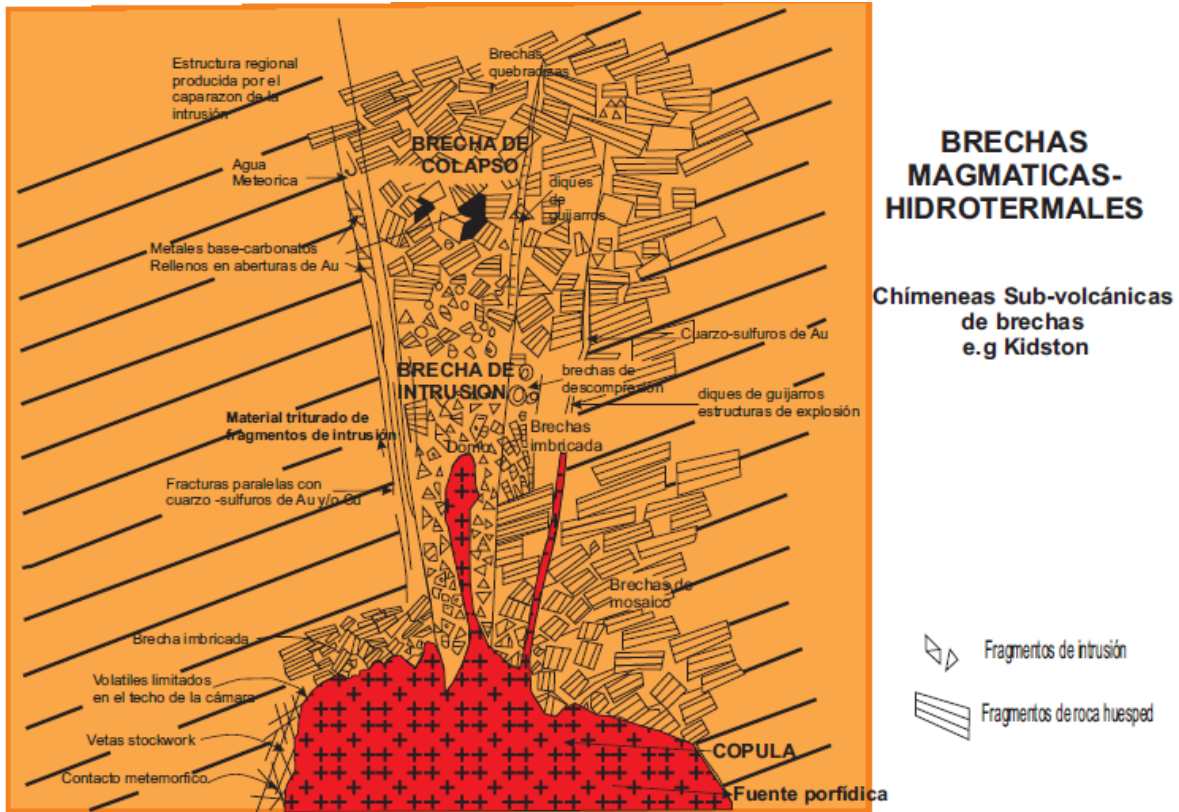


Figura 42. Anatomía de una chimenea de brechas hidrotermales (Tomado de Short course manual: Southwest Pacific rim gold-copper systems: Structure, alteration y mineralization, G. Corbett y T Leach, 1997).

Diques de guijarros. Constituyen cuerpos de fragmentos bien redondeados, comúnmente transportados en una matriz molida formada por la explosión debido a la despresurización de volátiles a lo largo de fallas o juntas. Son comunes en ambientes porfídicos (e.g. Salvador, Chile; Guastafson and Hunt, 1975), pueden mostrar dimensiones extensas (Sillitoe, 1985) y localmente pueden ser interesantes guías para localizar vetas de alta de sulfuración de oro-cuarzo. Sillitoe (1985) sugiere que los diques de guijarros están comúnmente relacionados a una edad post-mineral (e.g. Salvador, Guastafson and Hunt, 1975). En estos diques predominan los fragmentos los que son a su vez soportados por fragmentos molidos.

En el proyecto La Balsa se tienen cuatro tipos de brechas. 1) **Las brechas de mosaicos o brechas imbricadas** (pertenecientes a las brechas de colapso), que presentan un rumbo promedio de N70°E; 2) **brechas subangulosas a redondeadas** con una orientación aleatoria y contienen fragmentos subangulosos

a redondeados inmersos en una matriz de roca molida con intensa alteración potásica (brechas de intrusión); 3) **brechas subredondeadas** con ligera rotación de los fragmentos (aparecen con el símbolo de triángulos en el mapa del anexo 2, geología de detalle) y 4) **brechas monolitológicas** con fragmentos redondeados a subredondeados (brechas xenolíticas o segregaciones magmáticas) con presencia en el depósito de La Virgen (Anexo 2, Geología de detalle) e Iguana Prieta, mismos que podrían pertenecer a la clase de brechas de intrusión.

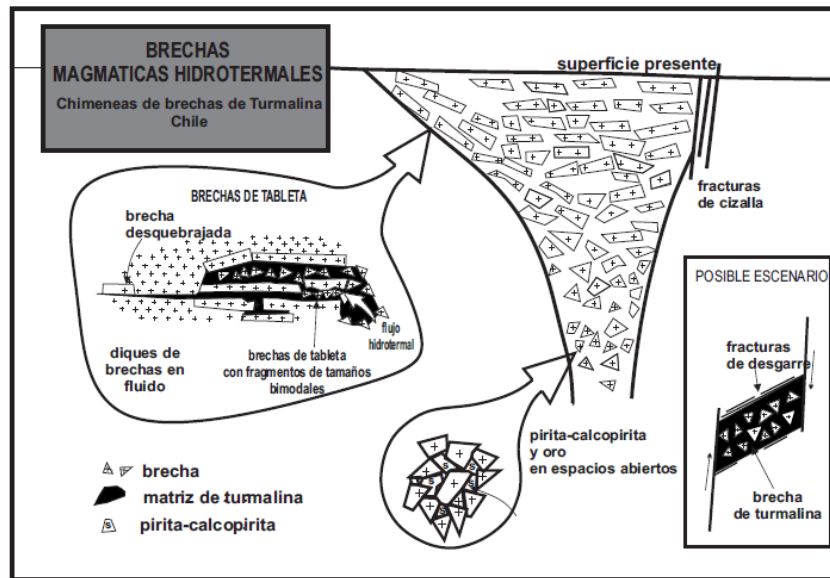


Figura 43. Anatomía de una chimenea de brechas hidrotermales en Santiago, Chile (Tomado de Short course manual: Southwest Pacific rim gold-copper systems: Structure, alteration and mineralization, G. Corbett y T Leach, 1997).

4.4.1. La Virgen

El depósito de La Virgen parece ser una chimenea de brecha con mineralización cuprífera, que parece estar inclinada a profundidad debido al contacto a la roca intrusiva con la litología de la toba blanca y la microgranodiorita (Anexo 3, Perfil con muestreo V-V'). La traza de la discontinuidad presenta una zona de 2 a 10 m de espesor de material cataclástico y se inclina hacia el oeste cerca de 30 ° (Figura 44). En el techo de la estructura, los sondeos han atravesado a la toba blanca cizallada disgregada (Kwt) y ya en una posición por debajo de la toba, se muestra la andesita-basalto (Kab).

La deformación asociado con el contacto del intrusivo con las otras litologías evidencia un significativo desplazamiento, debido a los cambios de roca y la ausencia de mineralización de cobre debajo de ella. Además en la superficie se observan pequeños lentes mineralizados de carbonatos y óxidos de cobre y hierro que se prolongan hacia el noroeste que pudieran relacionarse con una extensión o un desplazamiento del cuerpo mineralizado por medio de la discontinuidad.

Según Brian K. Jones menciona que es probable que sea una estructura de falla inversa (régimen de compresión) que se extienda cerca de los depósitos de Iguana Prieta y Playa Azul (Anexo 3, secciones de muestreo V-V'). Por lo tanto, el cerro de La Balsa pudiera ser un bloque alóctono, que ha sido transportado a una significativa distancia de la fuente original de la alteración y mineralización según Brian K. Jones, 2007 (informe inédito, Exploration result from the La Balsa copper Project, 2007). Sin embargo esta hipótesis es muy arriesgada, ya que el régimen tectónico (fallamiento de cizalla lateral) que se manifestó en el Terciario (Eoceno-Oligoceno) no concuerda con la estructura mencionada por Brian K. Jones (fallamiento inverso), más bien se expresa como un fallamiento post-mineral consecuencia del emplazamiento de la intrusión que asignó el arreglo actual de las litologías presentes en lo que parece un remanente de apófisis.

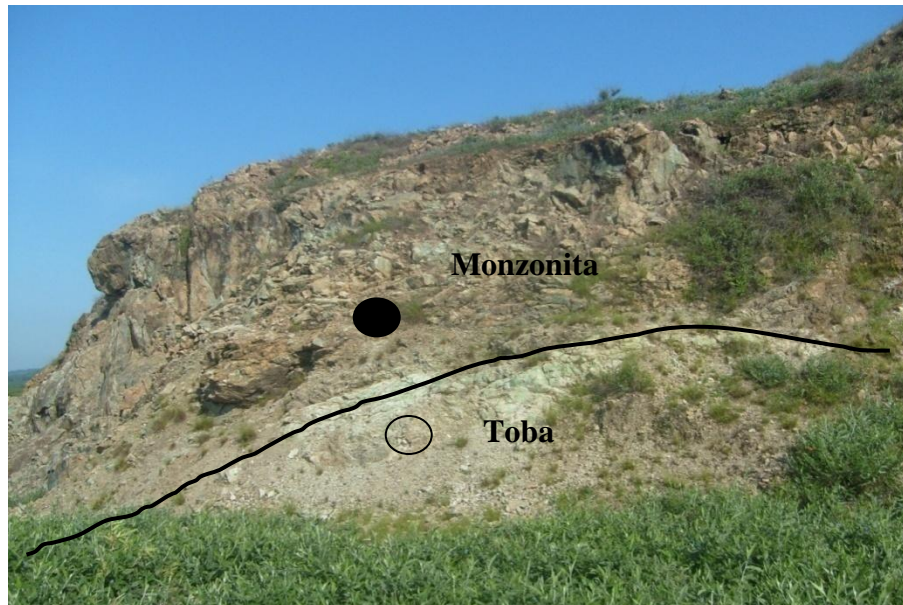


Figura 44. Paisaje hacia el NW-SE, en donde se observa el contacto intrusivo entre la monzonita y la toba blanca.

El cuerpo de brechas que ocurre en el lote La Virgen no presenta la posición usual del rango de brechas observado en el modelo postulado anteriormente (Figura 42). Sin embargo, comparte dos características en donde se presenta la mineralización; una de ellas corresponde con una zona de *stockwork* y otra de brechas monolitológicas de textura afanítica de composición de la misma roca encajonante (Tmp); la mayoría de los fragmentos están redondeados a subredondeados, aunque en ocasiones, los fragmentos finos son de composición andesítica (llamados brechas xenolíticas por la compañía Minera Montoro) (Anexo 2; Geología de detalle y sección geológica A-A').

La mineralización se presenta como reemplazamientos de calcopirita y bornita a lo largo de vetillas, diseminaciones y reemplazamientos sobre los márgenes de los

fragmentos de las brechas monolíticas. En los afloramientos la mineralización está presente en fracturas y *stockworks* abiertos con la presencia de óxidos y carbonatos de cobre y hierro.

El depósito de La Virgen es cortado por sistemas de fracturas que se orientan hacia el norte y se inclinan hacia el oeste y que permitieron que las aguas meteóricas se filtraran hacia la falla inversa para oxidar la mineralización de sulfuros de cobre a mayor profundidad que en los cuerpos de Playa Azul e Iguana Prieta. El barrenos MM-130, MM-150 y MM-172 son buenos ejemplos de las características del depósito. Como resultado, la mayor reserva de cobre soluble en el proyecto La Balsa está en La Virgen y el espesor a profundidad de la oxidación es de 60 m aproximadamente.

4.4.2. Iguana Prieta

La intrusión porfídica en el que reside el cuerpo de Iguana Prieta tiene una forma de sill que se inclina hacia el sur cerca de 40°. Según sondeos cercanos, esta intrusión muestra algunos bloques exóticos que se han separado de las rocas volcánicas (Kab) y un sistema de diques y diabasas de una época posterior a la mineralización (Ta) (Anexo 3, Perfil de muestreo IP-IP').

La mineralización del cuerpo de Iguana Prieta está limitada por un par de fallas laterales paralelas que se ubican en la parte central, con un rumbo norte-noroeste y que colindan con el cuerpo mineralizado de La Virgen (Figura 45) (Anexo 2, Geología de detalle "La Balsa").

Estas fallas laterales, muy cercanas entre sí, presentan una fuerte inclinación hacia el oeste; se caracteriza por ser fallas de movimiento dextral que están limitando al cuerpo de Iguana Prieta del de la Virgen; sin embargo, estas estructuras tienen una cantidad moderada de carbonatos de cobre, pero abundante en óxidos de hierro.

Los sondeos indican también que en el cuerpo de Iguana Prieta, existen estructuras con alto ángulo de inclinación que no afloran en superficie (Anexo 3, Perfil de muestreo, IP-IP) en el que se caracterizan por un gran acarreo de material disgregado que se extiende verticalmente más de 100 metros aproximadamente, sin embargo solo se identificó dos estructuras que posiblemente se relacionen con la anatomía del cuerpo mineralizado, es decir que pudieran tratarse de las estructuras casi verticales producidas por fracturamiento hidráulico (**diques de guijarros**) (Figura 42); aunque no se detectó material molido como matriz, cuya característica es mencionada en el apartado teórico de estas estructuras. Asimismo se manifiesta un número bastante grande de diques andesíticos de grano fino con una distribución y posición compleja (Anexo 3, Perfil de muestreo IP-IP') (reporte inédito de la compañía Minera Montoro, 2007).

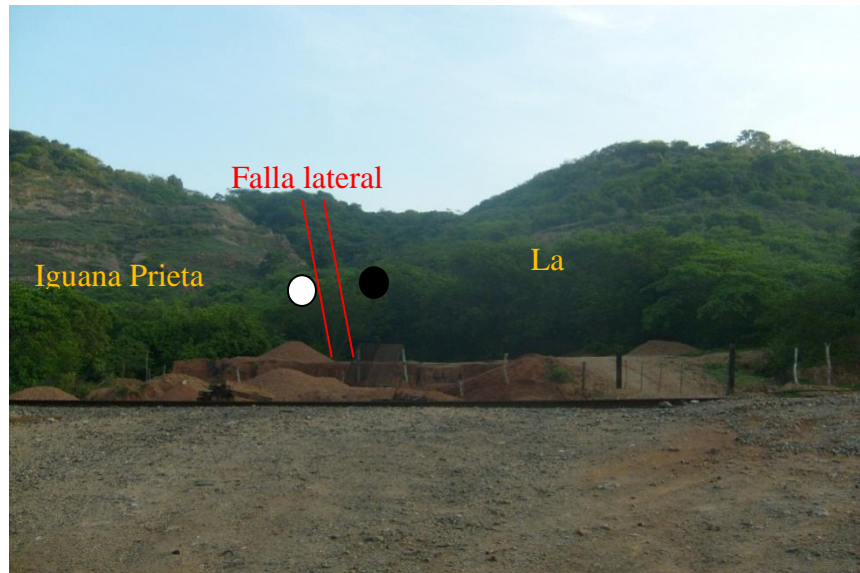


Figura 45. Panorámica en donde ocurren los depósitos de Iguana Prieta y La Virgen en contacto por falla de desplazamiento lateral.

Los sondeos no llegaron a mostrar la continuidad de la falla de desplazamiento mencionado por Brian K. Jones sobre el cuerpo de Iguana Prieta, pero el grado de deformación observado en todo el cerro La Balsa, los cambios de tipo de roca y la ausencia de cobre debajo de esta estructura en el cuerpo de La Virgen y la presentación de afloramientos en forma de lentes mineralizados alargados hacia el NW-W, evidencian un significativo rastro bastante extenso, cuyo control estructural pudiera determinar que la ubicación de la fuente de la mineralización primaria pudiera estar hacia el NW del depósito de Iguana Prieta.

El yacimiento de Iguana Prieta se ajusta mejor a la anatomía de una chimenea de brecha (Figura 42). El depósito consiste predominantemente en brechas tipo mosaico mineralizadas en una posición acostada cerca del centro a niveles someros; sin embargo, a profundidades de 30 a 40 metros ya hay variaciones en la posición y la forma de las brechas; en ese intervalo se observan brechas angulosas a subredondeadas (brechas de intrusión) y brechas de mosaico e imbricadas, en una matriz molida de color oscuro o algunas veces rosada (mezcla de brecha de colapso e intrusión) básicamente en una posición casi vertical (Figura 46).



Figura 46. Cuarzomonzonita porfídica que muestra brechas monolitológica subangulosa con mineralización de pirita que reemplaza los bordes de los fragmentos, perteneciente al depósito de Iguana Prieta del barreno MM-122 a 143 mts de profundidad.

Particularmente estas brechas se reconocieron en los barrenos MM-173 al sur (Figura 47(a)) y el barreno MM-217 al norte (Figura 47(b)) y localizados en la parte más externa del depósito (Anexo 3, ubicación de secciones de muestreo, perfil IP-IP'). Esto muestra que el cuerpo mineralizado de Iguana Prieta posiblemente represente solamente la parte central de una chimenea de brecha con una extensión aproximada de 150 metros en dirección norte-sur de acuerdo al modelo teórico de las chimeneas de brecha. Es evidente que la erosión y el intemperismo dejaron incompleto al cuerpo de brechas, por lo que solamente se está observando algunas partes idealizadas de la anatomía de una chimenea de brecha.



Figura 47. Partes de núcleos que muestran cuarzomonzonita con brechas angulosas de color marrón claro inmersa en una matriz fina de color negro que contiene diseminaciones de calcopirita y bornita. Barreno MM-173 a 32.5 m de profundidad al sur (a) y barreno MM-217 al sur a 34 m de profundidad (b).

La mineralización hipogénica se presenta en sulfuros que se distribuyen en rellenos de los espacios dejados por las brechas angulares y brechas en forma de tableta o mosaicos que principalmente están imbricadas; los fragmentos generalmente presentan un mínimo de rotación y corrosión (Figura 48). A menudo

los espacios entre los fragmentos exceden el 50%, espacios en donde la mayoría de los sulfuros son encontrados. También ocurren en reemplazamientos selectivos de máficos y plagioclasas de la roca (diseminaciones) y entre fracturas en forma de agregados radiales dispersos.



Figura 48. Se observan en cuarzomonzonita, fragmentos monolitológicos en forma de tablillas irregulares. La calcopirita y bornita, ocurren en los intersticios. Presenta alteración potásica con el posterior desarrollo de sericita, calcita, clorita. Barreno MM-122 con 6.64% de Cu a 63.6 m de profundidad con respecto a 178 m de elevación. (B.K. Jones , 2007).

Cerca del contacto de la andesita-basalto y la cuarzomonzonita hay una pobre mineralización de sulfuros, que consiste en escasa presencia de bornita/calcopirita en rellenos de fracturas que suelen definir lentes irregulares que se alargan sobre la superficie de las fracturas (figuras 49 y 50).



Figura 49. Andesita con alteración propílica, manifiesta mineralización de calcopirita+ bornita en la superficie de la fractura. Sondeo MM-128 con 2.47 % de cobre a 53 m de profundidad (B.K. Jones, 2007).



Figura 50. Cuarzomonzonita con mineralización abundante de calcopirita/bornita en rellenos de fracturas. La alteración consiste en la paragénesis clorita-turmalina, calcita (Barreno MM-128 con 1.51% de cobre a 45 metros de profundidad) (B.K. Jones, 2007).

Con el propósito de generar una interpretación estructural en el depósito de Iguana Prieta, los geólogos de la compañía Minera Montoro (2007) midieron en campo por lo menos 50 fracturas y se dedujeron tres direcciones preferenciales. La primera familia de fracturas se orienta hacia el N-NE, con una inclinación de 30° hacia el NW. Estas estructuras son las principales, ya que contienen la mayor parte de la mineralización. La segunda familia de fracturas son estructuras de alto ángulo que están mineralizadas con óxidos de hierro y cobre. Estas estructuras según Brian K. Jones (2008) parecen ser posteriores al primer conjunto de fracturas; mientras que el tercer conjunto presentan una dirección contraria a las del primero y no tiene la mineralización.

4.4.3. Playa Azul

El depósito de Playa Azul es la continuación lateral de las brechas hacia el este del depósito de Iguana Prieta en el que generalmente se observa una actitud subhorizontal en las brechas; comúnmente constituyen un conjunto de lentes alargados donde reside la mineralización (Anexo 2, Geología de detalle y sección A-A). La mena generalmente está albergada en brechas de colapso, brechas angulares, brechas en forma de mosaicos irregulares, reemplazamientos y diseminaciones de minerales máficos por sulfuros como calcopirita, pirita y escasamente bornita.

La mineralización parece estar asociada a la intersección entre el rumbo N70°E de la estructura del cerro y las fracturas que se orientan N-S con buzamiento hacia el N30°W (Figura 51). Sin embargo, el depósito no parece continuar la mineralización debajo de esta intersección, pero está abierta la posibilidad que se prolongue hacia el NW. Lo que implica que el depósito está parcialmente definido.



Figura 51. Afloramiento de cuarzomonzonita intensamente intemperizada del cuerpo de Playa Azul con intensa argilización, presencia de óxidos de hierro (hematita y goetita) y mineralización supergénica variable (malaquita).

4.5. Alteraciones hipogénicas

La principal alteración hidrotermal, asociada con la mineralización es la cuarzo-sericítica (fílica) que se extiende por toda el área del proyecto La Balsa. La extensión de la alteración cuarzo-sericítica es muy notoria, sugiriendo así una alteración hidrotermal mucho más extensa a mayores profundidades (Brian K. Jones, 2005).

El cuarzo generalmente está presente tanto en los *stockworks* como en rellenos de grano fino; la sericita por su parte, se manifiesta como reemplazamientos de color blanco sobre las plagioclasas, así como en rellenos de vetillas asociados con mena. Al microscopio petrográfico se observa cuarzo de grano fino formando en ocasiones intercrecimientos alrededor de la mena y a lo largo de las microfracturas; la sericita ocurre a lo largo de microfracturas, en reemplazamientos de las plagioclasas en forma de intercrecimientos y además se presenta en cristalizaciones irregulares alrededor de la mena.

Se tiene plenamente identificada la alteración potásica en el depósito de Iguana Prieta; en los sondeos se reconoce la aparición de masas lenticulares y vetillas de feldespatos potásicos a profundidades entre los 15 y 50 m que están íntimamente relacionados con la mineralización de bornita y calcopirita (Figura 52).

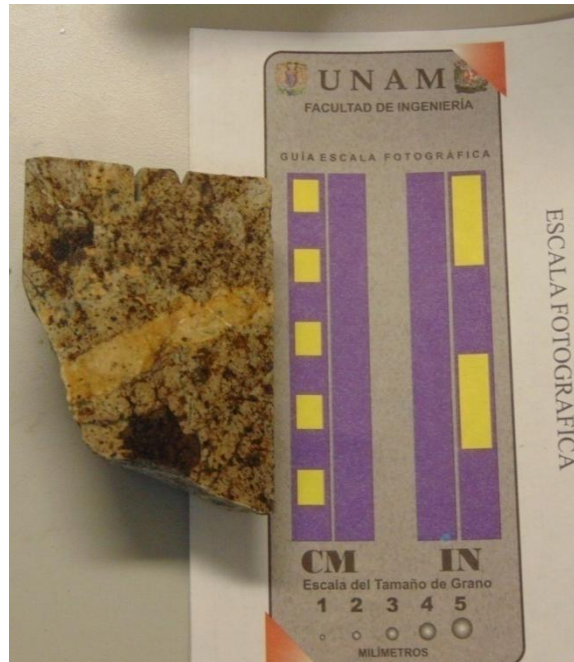


Figura 52. Cuarzomonzonita que muestra vetilla de 31 cm de espesor de color ocre posiblemente asociado a la alteración feldespática, también se muestra varios pequeños lentes irregulares esparcidos sobre la roca del mismo material de la vetilla junto a la mena (manchones negros desde 1 mm hasta 2 cm). Fragmento de núcleo del barreno MM-118 a una profundidad de 36.55 m (depósito de Iguana Prieta).

En el centro del cuerpo de Iguana prieta se han mostrado intervalos desde 30 cm hasta 5 m, en el que se observan feldespatos potásicos y cuarzo en forma de vetas irregulares y lentes irregulares con un aumento en las diseminaciones de mena y acompañada de vetillas de calcopirita y bornita entre los 30 y 40 m de profundidad.

Generalmente en los sondeos analizados (Anexo 3, sección IP-IP') se reconoce que la alteración potásica solamente se ha manifestado en el centro del depósito; mientras que hacia sus márgenes y en niveles someros, es muy abundante y extensa la alteración cuarzo-sericítica. Sin embargo, es indispensable precisar la extensión de la alteración potásica en el cuerpo de La Virgen.

El basalto y la andesita (Kab) que afloran en el norte y oeste del área de estudio, generalmente muestran una alteración propilítica, que consiste en cloritización de minerales máficos y desarrollo esporádico de epidota en forma de reemplazamientos parciales de las plagioclasas y dominada por abundantes diseminaciones de pirita con vetillas de calcita, también la granodiorita que aflora al noreste presenta alteración propilítica en manifestaciones de epidota en reemplazamientos parciales, vetillas de calcita y cloritización en fracturas (Figura 53). Esto da pie a que en el área de estudio, el zoneamiento de alteraciones es generalmente obedece a los cambios litológicos por lo que el contacto entre litologías está generalmente acompañado por un abrupto cambio entre la

alteración cuarzo-sericítica y propilítica en donde se incrementan las diseminaciones de pirita, con escasa turmalina y calcopirita. Se calcula que el halo de alteración propilítica se extiende al menos, 1 km desde el norte hacia noreste sobre la andesita basalto (Kab) con un porcentaje de 2 a 5% de pirita



Figura 53. Andesita con presencia de epidota, clorita en las fracturas, vetillas de calcita y diseminaciones de pirita (alteración propilítica). Sondeo MM-210 (28 metros de profundidad).

A profundidades entre los 50 y 70 m, en el depósito de Iguana Prieta aparece clorita, epidota y pirita (alteración propilítica). La epidota se presenta como pequeños lentes irregulares de color verde claro; mientras las ocurrencias de la clorita son en cristales finos en agregados, a lo largo de fracturas y en reemplazamientos sobre minerales máficos de hábito radial. Ocasionalmente se presenta calcita y escasa turmalina en forma de vetillas irregulares y magnetita diseminada en toda la roca.

En el depósito de La Virgen la alteración propilítica conforme a sondeos y la sección de muestreo varía de este a oeste y a una profundidad de 30 a 70 m; hacia los márgenes del cuerpo empieza a profundidades entre 30 y 20 m y hacia el centro del depósito llega a los 70 m, aproximadamente. Normalmente en el cambio abrupto de cuarzo-monzonita (Tmp) a andesita-basalto (Kab) hay un cambio de alteración sericítica a propilítica, que sigue la traza de la intrusión (Anexo 3, Sección V-V').

En el depósito de Playa Azul la alteración propilítica también obedece al cambio litológico de andesita-basalto, pero a profundidad en una dirección este-oeste se manifiesta entre los 30 y 20 m entre los barrenos MM-262, MM263 y luego cambia drásticamente a profundidades de 50 m entre los barrenos MM-256 y 252 (Anexo 3, perfil B1-B1').

Es importante también señalar que hacia el sur, entre el contacto de la secuencia vulcanosedimentaria (grauvaca (Kgw)) y el cuerpo intrusivo porfídico monzonítico, se observan lentes de goethita y hematita especular, así como agregados de

calcita recristalizada en las fracturas, acompañada de un mineral arcillosos rojizo, que pertenecen a zonas de hornfels ubicadas entre los cuerpos de Playa Azul e Iguana Prieta (Figura 33).

Las alteraciones superficiales son escasas y consisten en la presencia de óxidos de hierro y cobre, como goethita, hematita, malaquita, tenorita y crisocola, los que suelen coexistir con la silicificación, que ocupa fracturas formadas esencialmente por los fenómenos magmático-hidrotermales (Brian K. Jones, 2007) (Figura 54).



Figura 54. Pórfido monzonítico moderadamente intemperizada que muestra una capa de óxidos de color rojizo (goethita y hematita) junto a silicificación entre las fracturas (cuarzo en cristalizaciones finas) y se observa un intenso desquebrajamiento (Brian K. Jones, 2007).

En el depósito de La Virgen se observa alteración superficial (oxidación y carbonatación) entre los 10 y 30 m de profundidad entre los barrenos MM-130 y MM-204; mientras que en el depósito de Iguana Prieta se presenta de 0 a 30 m entre los barrenos MM-144 y MM-167 y en el depósito de Playa Azul de 0 a 30 m entre los barrenos MM-244 y MM-254.

Se realizó una sección geológica con rumbo general NE-SW (Anexo 2, perfil de alteraciones D-D'), en donde se presenta la distribución de las alteraciones a profundidad, con base en la información de sondeos cercanos. En dicha sección se muestran las alteraciones cuarzo-sericítica (fílica), propílica y potásica en los tres depósitos mineralizados. En los cuerpos mineralizados de Playa Azul e Iguana Prieta se reconoce el límite de la alteración fílica (cuarzo-sericita) entre 80 y 30 m de profundidad; mientras que en el cuerpo de La Virgen esta alteración se trunca por el contacto intrusivo entre la grauvaca y el pórfido monzonítico. La alteración potásica solo fue identificada en el cuerpo de Iguana Prieta por debajo de una alteración fílica y argílica avanzada (Anexo 2, Perfil de alteraciones D-D).

4.6. Petrografía de las alteraciones hidrotermales

Como parte de los objetivos trazados en este trabajo con el fin de generar nueva información de la paragénesis y las alteraciones hidrotermales del depósito

cuprífero del proyecto La Balsa se realizó un muestreo en zonas selectivas en el depósito de Iguana Prieta, por ser el cuerpo de mayor interés desde el punto de vista de la mineralización. Con la información disponible de la descripción de los núcleos de los barrenos MM-117 y MM-118 (Anexo 3, sección de muestreo IP-IP'), se eligieron zonas de los núcleos que mostraran asociaciones mineralógicas características de las alteraciones hidrotermales (Anexo 4, Petrografía y minerografía).

A continuación se mostraran los episodios de alteraciones que se formaron en cada una de las profundidades asignadas de los sondeos mencionados.

En los dos barrenos en la cercanía de la superficie (7.60 m-MM117 y 12.50 m-MM118) muestran:

- Sericitización. Representada por el desarrollo de sericita con mezclas de arcillas (alteración argílica) en forma de reemplazamientos parciales y en ocasiones totales de fenocristales de plagioclasas (Figura 55).
- Rastros de mena alterados parcialmente a carbonatos de cobre (malaquita) y óxidos de hierro, rodeados por agregados irregulares de sericita y mezclas de arcillas que reemplazan parcialmente a las plagioclasas. En algunas zonas se observa que la mena ocupó los intersticios dejados por la desintegración de las plagioclasas (Figura 55).

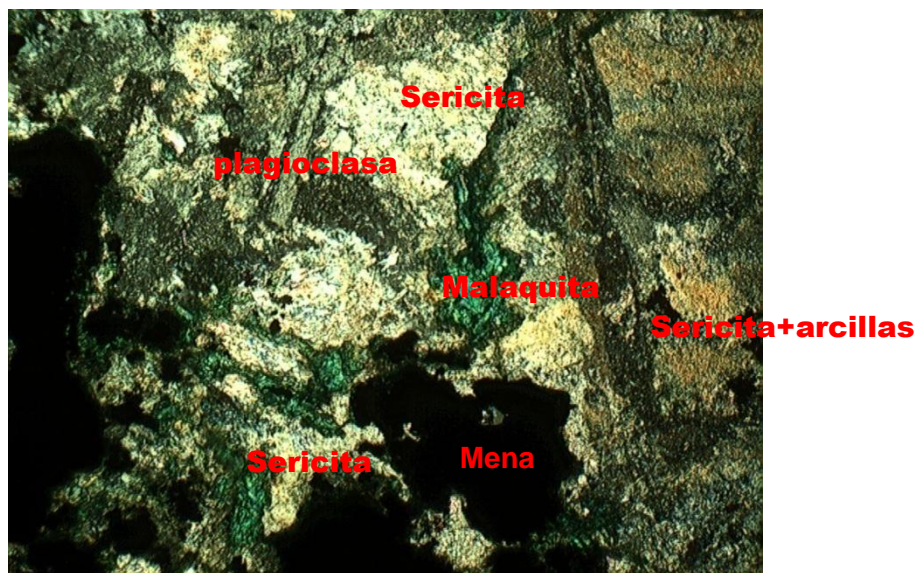


Figura 55. Cuarzomonzonita con vestigios de plagioclasas reemplazadas parcialmente y en ocasiones totalmente por sericita mezclada con arcillas; también se observa rellenos de malaquita y óxidos de Hierro a lo largo de las microfisuras y bordeando a la mena (Microfotografía a 10x, luz polarizada). Barreno MM-117 a 12-13 metros de profundidad).

- Vetillas de malaquita + goethita+cuarzo+sulfuros que cortan a la matriz de la roca. Los pequeños cristales de cuarzo están alrededor de los rellenos de la malaquita y sulfuros (Figura 56).

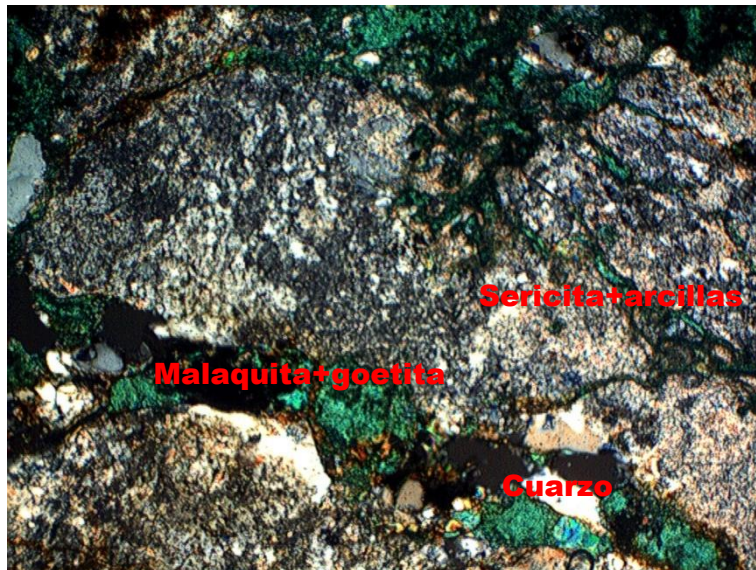


Figura 56. Cuarzomonzonita que muestra vetilla de malaquita+cuarzo+goethita-limonita (Microfotografía a 5x, luz polarizada). Barreno MM-118 (12.14 metros de profundidad).

- **Silicificación.** Se presenta en cristales subedrales de cuarzo en forma de pequeñas islas sobre agregados de mena, que en ocasiones es reemplazada por malaquita, goethita y parcialmente por limonita desde sus bordes; en estas zonas es más recurrente la presencia de intercrecimientos de cristales de cuarzo (Figura 57).

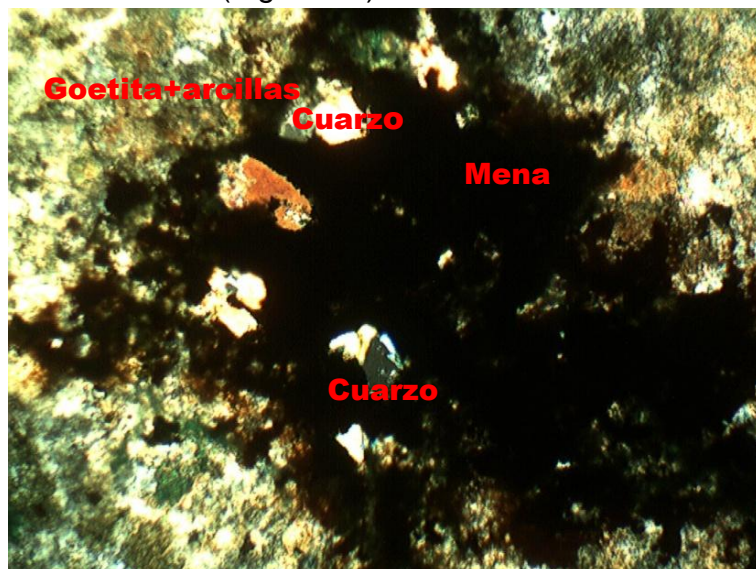


Figura 57. Cuarzomonzonita que muestra cuarzo sobre un intercrecimiento de mena que se altera a óxidos de hierro y carbonatos de cobre. Barreno MM-117 entre 12 y 13 m de profundidad (Microfotografía a 5x, luz polarizada).

La silicificación también ocurre en forma de vetillas onduladas y en rellenos de cuarzo a lo largo de los bordes de los fenocristales de plagioclasas (Figura 57 y 59).

- **Alteración potásica.** Esta alteración solamente se observó en el barreno MM-118 a 12.4 metros de profundidad (158 m.s.n.m.). Se reconocen escasos fenocristales de plagioclasas de un aspecto nublado marrón claro, producto del reemplazamiento parcial de feldespato potásico. Además se observan agregados de sericita que reemplazan al feldespato potásico secundario mostrando así sobreimpresiones que en ocasiones es total sobre los vestigios de los cristales de plagioclasas (Figura 58).



Figura 58. Vestigio de fenocristal de plagioclasa parcialmente reemplazado por feldespato potásico, el que asimismo está parcialmente reemplazado por sericita. A lo largo de sus bordes se muestra rellenos de cuarzo junto con la mena. Barreno MM-118 a 12.4 metros de profundidad (Microfotografía a 10x, luz polarizada).

De 24.5 a 36 m de profundidad se manifiestan con mayor predominancia las alteraciones cuarzo-sericítica, silicificación y la alteración feldespática; no obstante, se observan otras alteraciones hipogénicas posteriores como la carbonatación y la cloritización, lo que coincide con un incremento de la mena. Es conveniente resaltar que la silicificación se presenta en:

- Zonas de agregados de cristales de cuarzo que coexisten con la mena en zonas de alteración de sericita pervasivas-selectivas (Figura 59).
- Sobrecrecimientos de pequeños cristales de cuarzo anedral (zonas de silicificación aislada) alrededor de islas de mena (Figura 59)

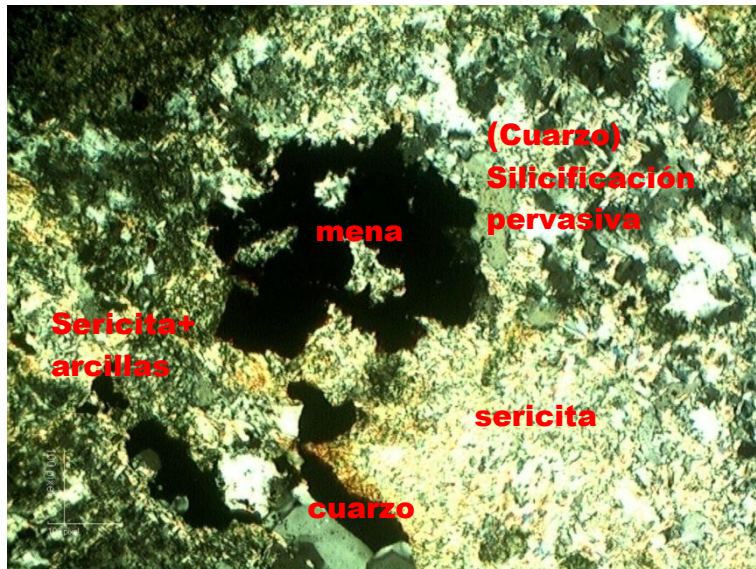


Figura 59. Silicificación pervasiva con zonas de agregados aislados de sericita, también se expone una relación entre la sericita y la presencia de mena (Microfotografía a 20x, luz polarizada). Barreno MM-117 a 24.5 metros de profundidad.

- Vetillas onduladas rellenas de cuarzo con mena y finos agregados de cristales anedrales de cuarzo en los bordes de fenocristales de plagioclasas (Figura 60).

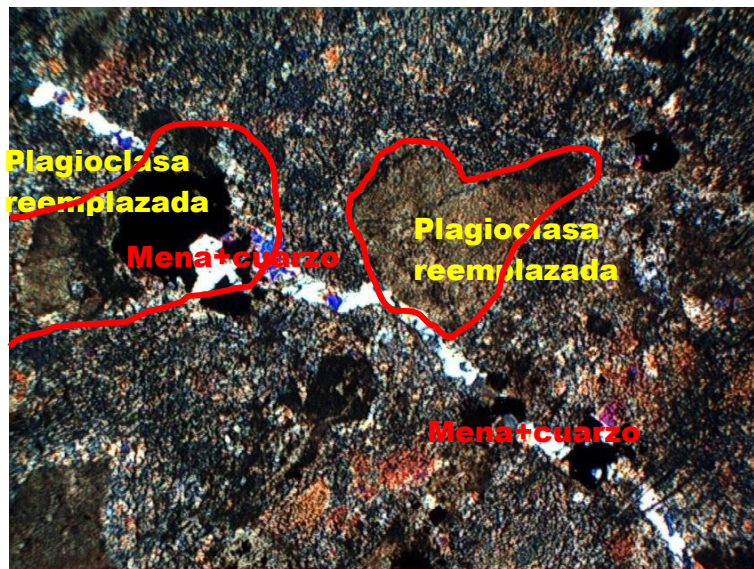


Figura 60. Vetilla ondulada de cuarzo+mena y fenocristales de plagioclasas reemplazados por feldespatos potásicos rodeada por un fino relleno de agregados de cuarzo (Microfotografía a 10x, luz polarizada). Barreno MM-118 a 36.4 metros de profundidad.

Mientras que la **alteración sericítica** se manifiesta por:

- Reemplazamientos parciales sobre grandes fenocristales de plagioclasas con diseminaciones de mena que rodean a la sericita (Figura 61).

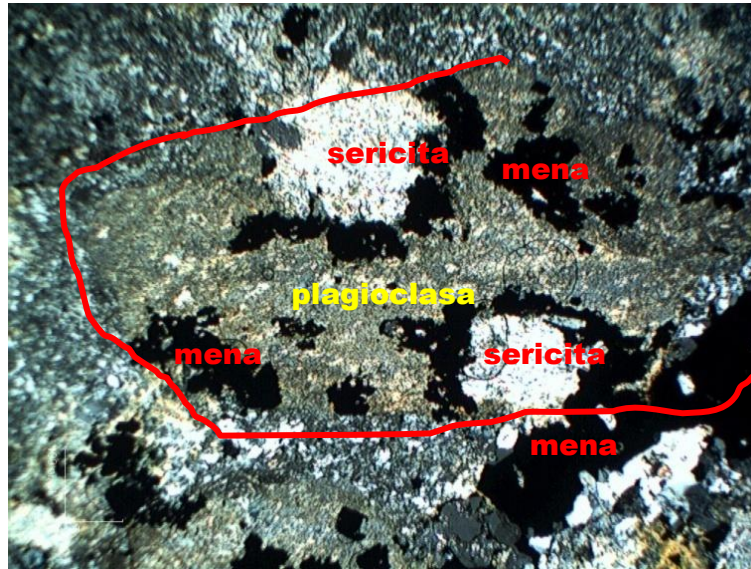


Figura 61. Fenocristal de plagioclasas parcialmente reemplazado por sericita mezclada con arcillas +mena. El fenocristal está muy alterado pero se observa una sobreimpresión de la sericita sobre un primer reemplazamiento (alteración feldespática)(Microfotografía a 20x, Luz polarizada). Barreno MM-117 a 24.5mts de profundidad.

- En agregados aislados con alteración pervasiva-selectiva de alta cristalinidad, que es acompañada por la mena y vestigios de ferromagnesianos reemplazados por clorita que es rodeada por una masa silicificada de extensión desconocida (Figura 62).

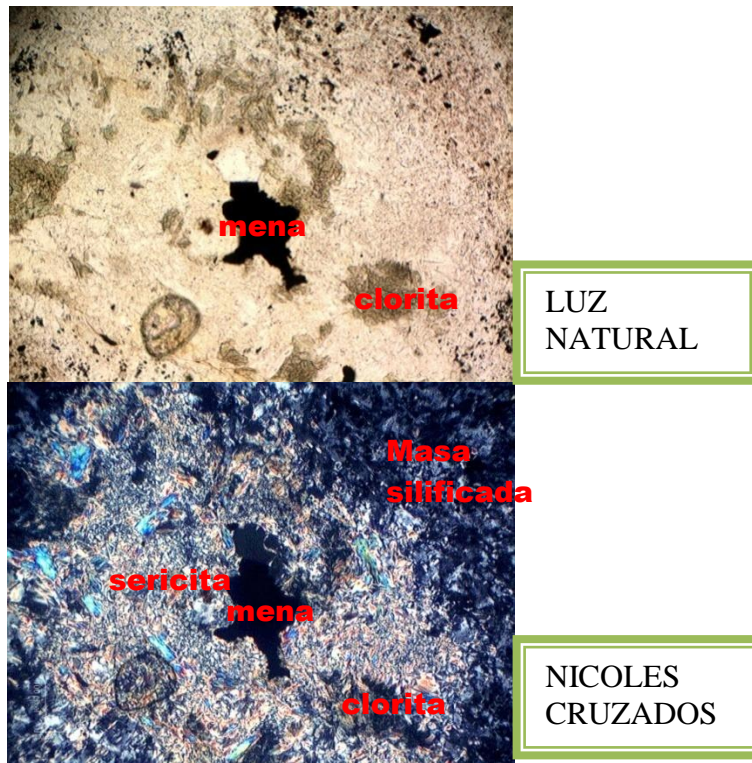


Figura 62. Sericita en forma de alteración pervasiva-selectiva de alta cristalinidad, acompañada por mena y vestigios de ferromagnesianos reemplazados por clorita (microfotografías a 20x). Barreno MM-117 a 24.5 m de profundidad.

- En rellenos de baja cristalinidad a lo largo de microfracturas que atraviesan a fenocristales de plagioclasas que fueron reemplazados por feldespatos potásico (alteración potásica) (Figura 65). También hay una sobreimpresión parcial de la alteración sericitica sobre los fenocristales con alteración potásica que se desarrolló a lo largo de microfracturas (Figura 64).

Las alteraciones más tardías como la cloritización solo se reconoció en el barreno MM-117 a 24.50 metros, como vestigios de ferromagnesianos reemplazados por clorita que coexisten con zonas de reemplazamientos pervasivos selectivos de sericita (Figura 62). También se observó en el mismo sondeo, una argilización que consistió en reemplazamientos de arcillas combinados con sericita sobre fenocristales de plagioclasas y en vetillas discontinuas de arcillas con sericita que probablemente indiquen una fase tardía de mineralización supergénica (Figura 61 y 63). En el barreno MM-118 a 36.40 metros se presenta una carbonatación en agregados de grandes cristales subedrales de carbonatos en venas de extensión desconocida, con sericita+mena entre las aberturas de dichas interfases cristalinas (Figura 65) y en vetillas onduladas que cortan a los reemplazamientos de feldespatos potásico acompañada de ocasionales microcristales de mena (Figura 65 y 66).



Figura 63. Reemplazamiento total de sericita+arcillas+mena sobre fenocristal de plagioclasa y rellenos de goetita-limolita en microfracturas (Microfotografía a 10X, luz polarizada). Barreno MM-117 a 24.5 metros de profundidad.

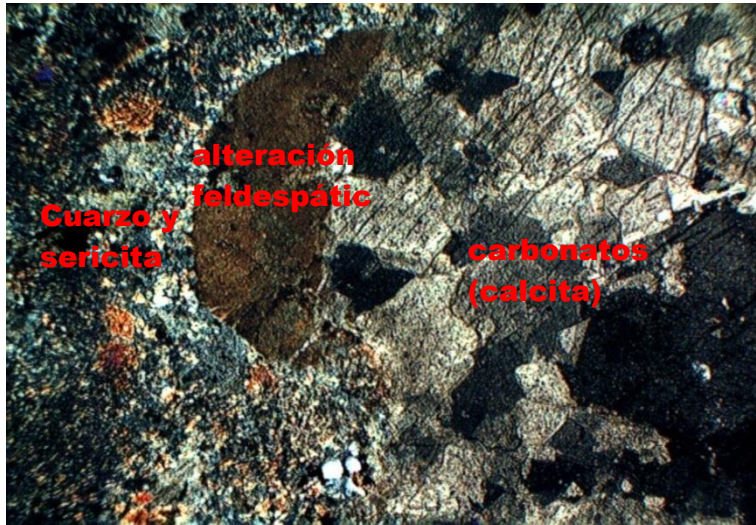


Figura 64. Vena de carbonatos de extensión desconocida que corta a un fenocristal subedral de plagioclasa con alteración potásica y pequeños agregados cristalinos de cuarzo+sericita a su alrededor (Microfotografía a 5x, luz polarizada). Barreno MM-118 a 36.40 metros de profundidad.

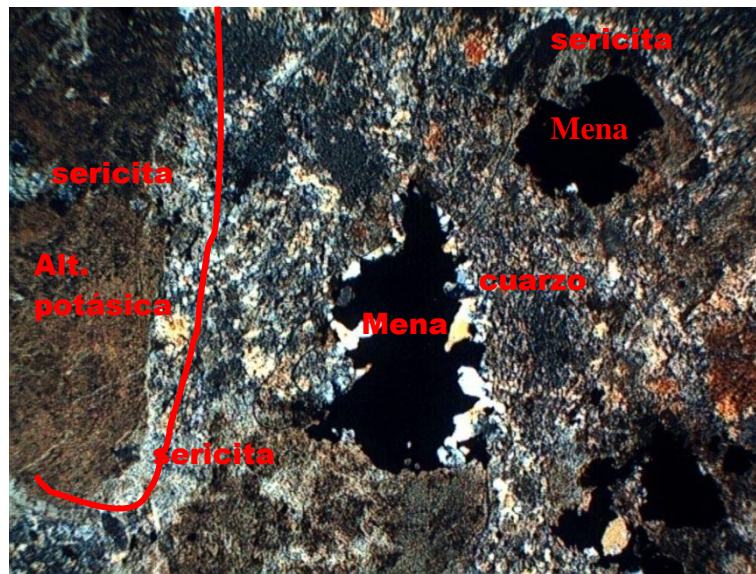


Figura 65. Sobreimpresión parcial de sericita en fenocristales reemplazados por feldespatos potásico inducido por el microfracturamiento pre-mineral. También se observan zonas de silicificación aislada en forma de sobrecrecimientos de pequeños cristales anedrales de cuarzo que rodean a la isla de mena (Microrofotografía a 5x, Luz polarizada). Barreno MM-118 a 36.4 metros de profundidad.



Figura 66. Vetilla sigmoidal de calcita+sericita de 1cm de grosor aproximadamente con escasa presencia de mena, cortando en una zona con silicificación pervasiva con islas de mena a un fenocristal con alteración feldespática y a una vetilla irregular de mena con presencia de anhidrita (Microfotografía a 10x, luz polarizada). Barreno MM-118 a 36.40 metros de profundidad.

Al final, entre los 45 y 76 metros de profundidad se observaron claramente:

- Feldespatos potásicos con disseminaciones de mena (alteración potásica) que reemplazan a los fenocristales de plagioclasas y estos mismos en ocasiones, con sobreimpresiones parciales de sericita de baja cristalinidad aprovechando los intersticios dejados por la desintegración de los fenocristales (Figura 67)
- Vetillas onduladas de mena que cortan a los fenocristales y a la matriz de la roca (Figura 67).
- Un mayor desarrollo de la sobreimpresión de sericita con mayor cristalinidad sobre los fenocristales alterados de feldespato potásico en el barreno MM-117 a 45 metros. En contraste, en el barreno MM-118, a 76 metros de profundidad solo se observó sericitización esporádica en las fracturas, así como en los bordes y los intersticios de los fenocristales (Figura 68).

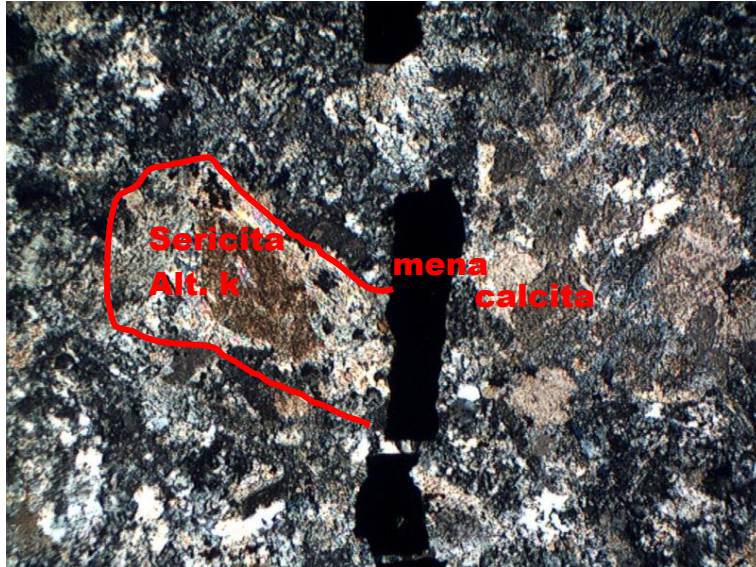


Figura 67. Sobreimpresión de sericita con pequeñas diseminaciones de mena en un fenocristal con alteración potásica que es cortado por una vetilla de mena. También se observan reemplazamientos de calcita con escasa sericita que se desarrolla en los fenocristales de plagioclasa (Microfotografía a 10x, Luz polarizada). Barreno MM-117 a 45.5 metros de profundidad

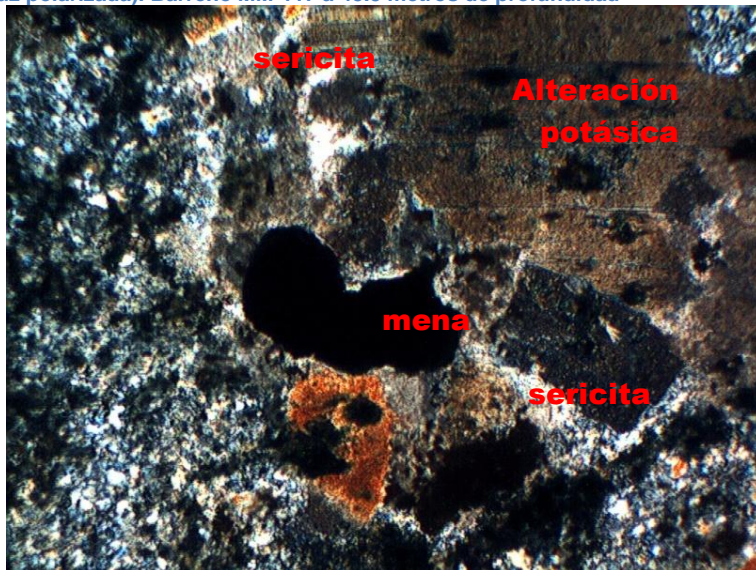


Figura 68. Fragmento de plagioclasa reemplazada por feldespato potásico con diseminaciones de mena y con rellenos de sericita entre los intersticios y las aberturas en los bordes del fenocristal (Microfotografía a 10x, luz polarizada). Barreno MM-118 a 76 metros de profundidad.

- **Carbonatación.** Se presenta en agregados cristalinos aislados de calcita (Figura 69) que coexisten con el reemplazamiento de sericita y en ocasiones con diseminaciones de microcristales de mena (Figura 68); también existen en forma de reemplazamientos parciales (junto con la sericita) de fenocristales de plagioclasas (Figura 70) y en forma de vetillas discontinuas que cortan a la matriz. En el barreno MM-117 a 45 metros, la carbonatación (calcita) es más abundante que la sericitización, cuya presencia se remite a reemplazamientos parciales de las plagioclasas y al

relleno de intersticios (Figura 70). Mientras que el barreno MM-118 a los 76 metros de profundidad hay una disminución en la frecuencia de los reemplazamientos de sericita + calcita; se presentan como rellenos de baja cristalinidad entre los intersticios de los fenocristales y en vetillas onduladas con mena (Figura 68).

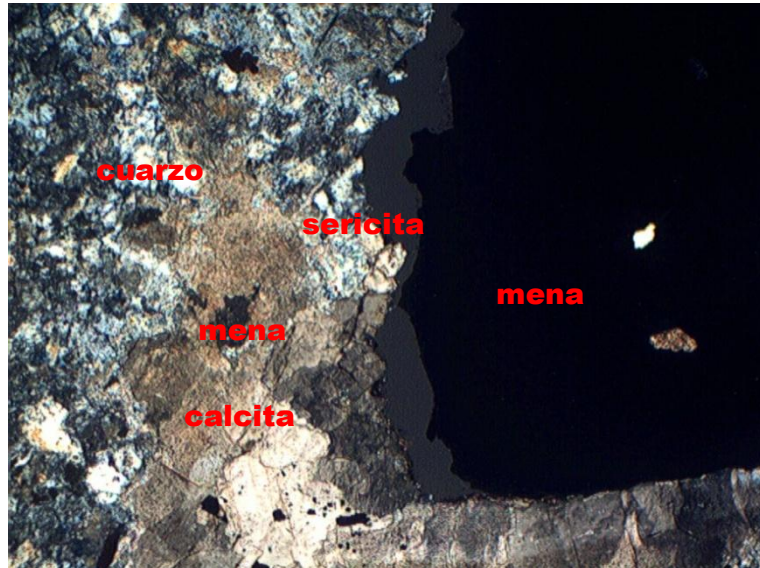


Figura 69. Agregados cristalinos aislados de calcita. Algunos cristales de cuarzo bordean a estos agregados (Microfotografía a 10x, luz polarizada). Barreno MM-117 a 45.5 metros de profundidad.

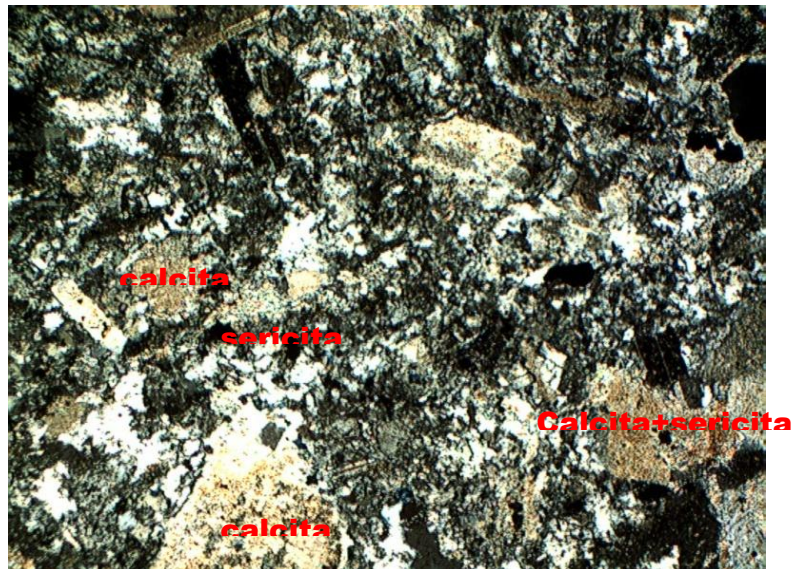


Figura 70. Fenocristales de plagioclasas reemplazados parcialmente por calcita+sericita. Barreno MM-117 a 45.50 metros de profundidad (Microfotografía a 10x, luz polarizada).

- **Silificación.** Es muy evidente y se manifiesta en pequeños cristales anedrales de cuarzo en toda la roca y a lo largo de los bordes de los fenocristales de plagioclasas y feldespatos potásicos (Figura 71). En

ocasiones se presentan vetillas de cuarzo+mena, en donde el cuarzo ocurre en escasos microcristales o bien, como vetillas de puro cuarzo con diseminaciones de mena (Figura 72). Incluso en el barreno MM-117 se muestra reemplazamientos parciales de cuarzo sobre un fenocristal de plagioclasa (Figura 73) aunque en toda la roca tienen una presencia escasa.



Figura 71. Agregado microcristalino de cuarzo que rodea a un fenocristal de plagioclasa reemplazado en su totalidad por feldespato potásico (alteración potásica) (Microfotografía a 5x, luz polarizada). Barreno MM-118 a 76 metros de profundidad.

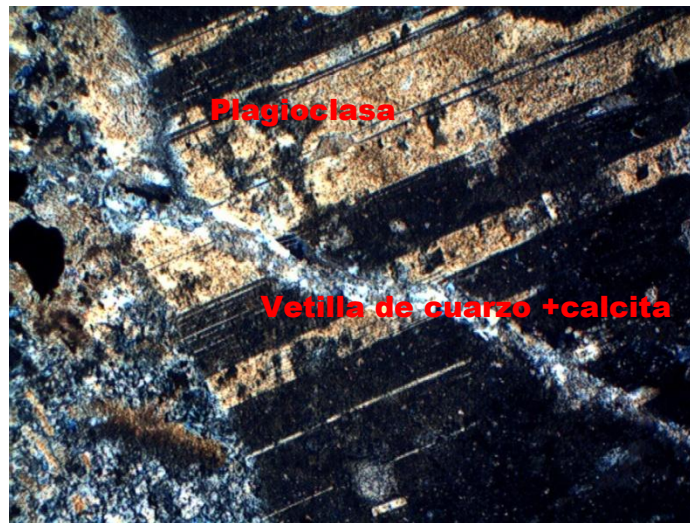


Figura 72. Vetilla de cuarzo+calcita que corta un fenocristal de plagioclasa con diseminación de mena (Microfotografía a 10x, luz polarizada). Barreno MM-117 a 45.8 metros.

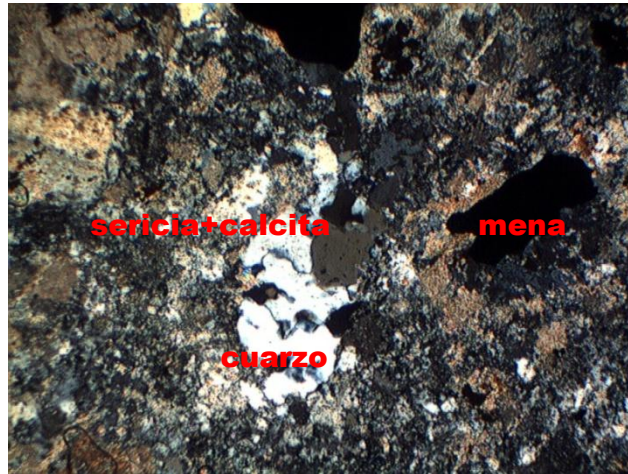


Figura 73. Un fenocristal de plagioclasa con reemplazamiento parcial de cuarzo y el desarrollo en sus bordes de calcita+sericita (Microfotografía a 10x, luz polarizada). Barreno MM-117, a 45.4 metros de profundidad.

- Existen también segregaciones magmáticas que forman parte de la matriz de la roca y que consisten en una trama fina mucho menos cristalina de cristales eudrales y subdrales de plagioclasas en ocasiones limitada por diseminaciones de minerales opacos + cuarzo (Figura 74). Los pequeños cristales de plagioclasas presentan calcita+sericita de baja cristalinidad entre los intersticios y parece ser que esta trama, también presenta alteración feldespática en forma de escasos reemplazamientos de los cristales de plagioclasas (figura 75a y 75b).



Figura 74. Trama de segregación en forma de pequeños cristales de plagioclasas. Se observan fenocristales de plagioclasas embebidos en el microintercrescimiento (Microfotografía a 5x, luz polarizada). Barreno MM-118 a 76.78 mts de profundidad.

La cloritización se presenta en agregados radiales que están diseminados en la trama de las segregaciones magmáticas, así como en otras zonas y coexiste con sericita (Figura 75a).

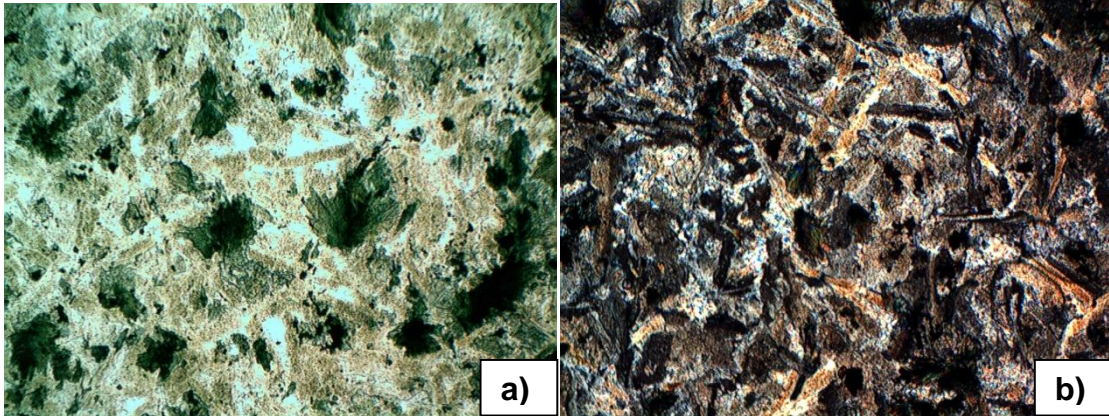


Figura 75. Microfotografía de cristales de clorita de hábito radial producto de la alteración de ferromagnesianos, incluidos en una trama menos cristalina de plagioclasas con alteración potásica parcial; se observa sericita en pequeños reemplazamientos a lo largo de los intersticios ((a) Luz Natural y (b) Nícoles cruzados). Barreno MM-118 a 76 metros de profundidad.

En zonas aisladas de carbonatación se presentan agregados cristalinos de zeolitas asociado con mena y sericita (Figura 76).

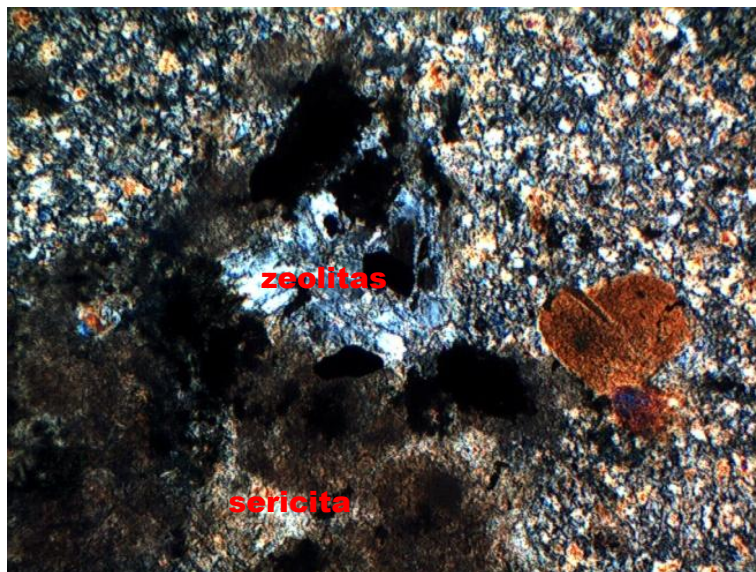


Figura 76. Cristales de zeolitas posiblemente relacionados a un episodio de carbonatación y mineralización tardío (Microfotografía a 20x, luz polarizada). Barreno MM-118 a 76 metros de profundidad.

En conclusión se tiene que el pulso principal que produjo la mineralización fue a partir de un fluido levemente ácido, que permitió el desarrollo de la sericitización de las plagioclasas; dichos fluidos también lograron sericitizar en parte, al feldespato potásico hipogénico, en un momento posterior pero en parte contemporáneo al proceso del brechamiento magmático e hidrotermal. El cuarzo

es contemporáneo a los reemplazamientos de sericita+ mena, para así definir con toda claridad a la alteración cuarzo-sericítica.

Los esfuerzos de la presión del fluido mineralizante pudieron provocar deformación de las maclas de los fenocristales de plagioclasas y causar un ligero movimiento en los fragmentos de algunos de ellos, en una fase de post-brechamiento. (Figuras 77 y 72).

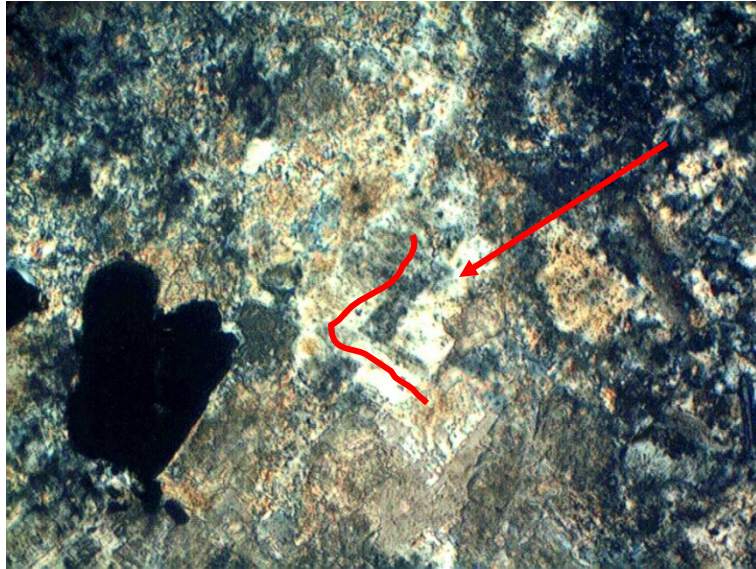


Figura 77. Fenocristal de plagioclasa parcialmente alterado a sericita y calcita de poca cristalinidad. Se alcanza a observar una deformación en la macla del fenocristal (Microfotografía a 10x, luz polarizada). Barreno MM-117 a 45.5 metros de profundidad.

La asociación mineralógica de carbonatos (calcita), sericita, cuarzo, clorita y feldespato potásico como alteraciones hidrotermales presentes ubica al depósito cúprifero La Balsa en profundidades mesotermales según el cuadro de mineralogía de alteraciones (figura 78). Asimismo hay que mencionar que la aparición de epidota, calcita y clorita en las coladas de andesita-basalto y la granodiorita deben ser estudiadas (estudios petrográfico de alteraciones) para completar y entender las condiciones de formación del yacimiento y generar un zoneamiento de alteraciones más detallado. Particularmente se manifiesta la presencia de magnetita diseminada en las coladas masivas de andesita-basalto y la microgranodiorita. Este mineral podría estar asociado a la alteración propilítica de un sistema porfídico (Figura 78).

En un estado post-mineral las soluciones descendentes originaron los carbonatos de cobre y óxidos de hierro en la zona de oxidación, así como un enriquecimiento supergénico.

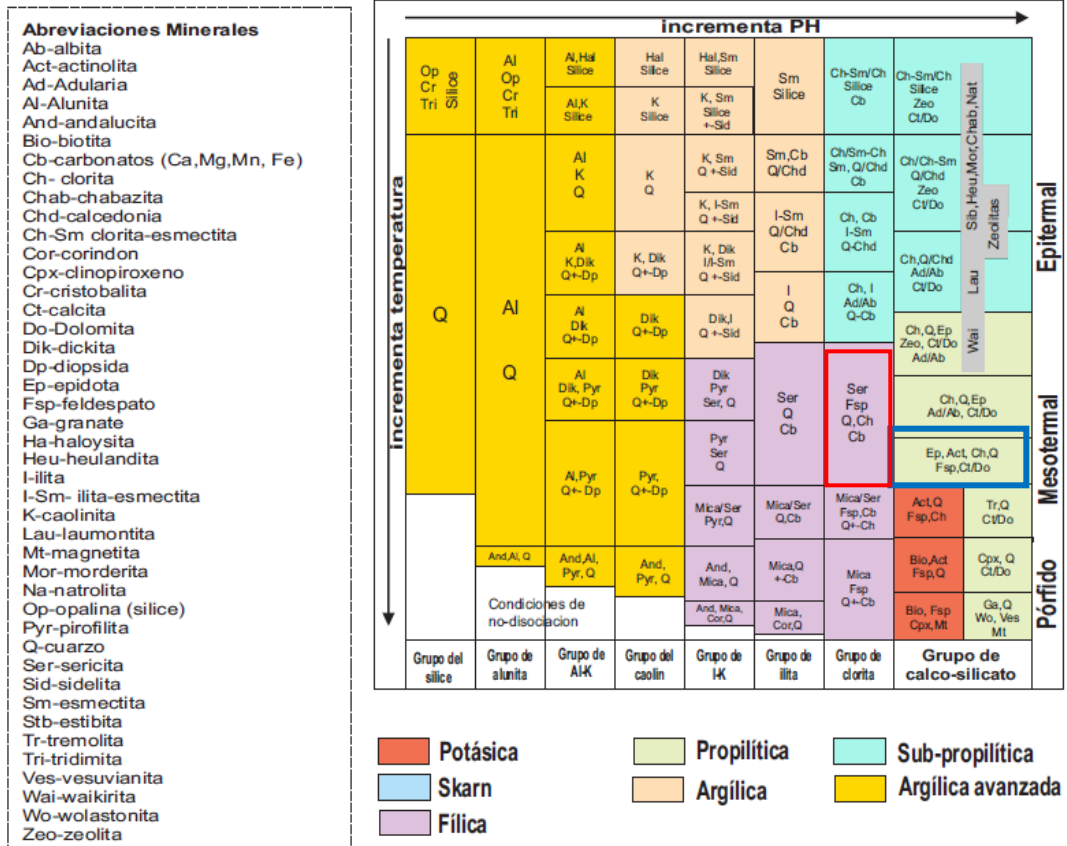


Figura 78. Mineralogía de alteraciones en sistemas hidrotermales comunes. En el cuadro rojo se muestra las asociaciones mineralógicas manifestadas en el depósito de Iguana Prieta y el cuadro azul las asociaciones mineralógicas que se presentaron en las rocas de andesita-basalto (Tomado de Short course manual: Southwest Pacific rim gold copper: Structure and mineralización, G. Corbett and T. Leach).

4.7. Mineralización e ideas del zoneamiento.

4.7.1. Paragénesis

La mineralización consiste en sulfuros, carbonatos y óxidos de hierro y cobre. Los carbonatos y óxidos (mineralización supergénica) son malaquita, crisocola, azurita, tenorita, hematita y goethita-limonita, que se presentan en las zonas superficiales de los tres cuerpos mineralizados en las rocas cuarzomonzónicas (Figura 79).



Figura 79. Muestra de mano sin escala (a la izquierda) con crisocola encontrada de la zona superficial del depósito de Iguana Prieta. A la derecha afloramiento del depósito de La Virgen con presencia de malaquita, goethita-limonita, hematita, azurita y crisocola (Brian K. Jones, 2007).

Además de los carbonatos y óxidos de cobre y fierro, se formaron algunos sulfuros secundarios como covelita, calcocita y digenita, que reemplazan a calcopirita, pero principalmente a la bornita; dichos sulfuros ocurren en fracturas junto con malaquita y en reemplazamientos parciales sobre la calcopirita y bornita. Estas asociaciones se presentan principalmente en el cuerpo de Iguana Prieta (Figura 80). Asimismo se logró observar en raras ocasiones, cobre nativo relacionado con la presencia de carbonatos de cobre y una intensa argilización.

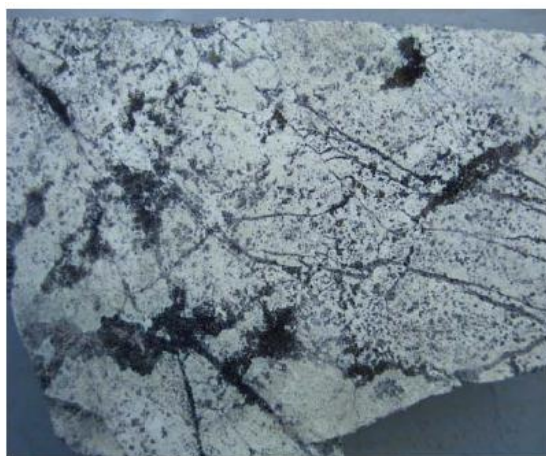


Figura 80. Cuarzomonzonita con mineralización de calcocita por encima de la zona de sulfuros hipogénicos en estructuras tipo stockwork. Barreno MM-122, 23.5 metros de profundidad con 7.85% de cobre (Brian K. Jones, 2007).

Los sulfuros hipogénicos como la bornita, calcopirita y pirita se presentan relleno de fracturas y en diseminaciones, así como en reemplazamientos entre los intersticios y a lo largo de los márgenes de las brechas de la roca cuarzomonzonítica (Figura 81). Esta mineralización se extiende unos cuantos metros dentro de la andesita-basalto en forma de vetillas discontinuas, en estructuras tipo *stockwork* y en rellenos de fracturas (Figura 82).

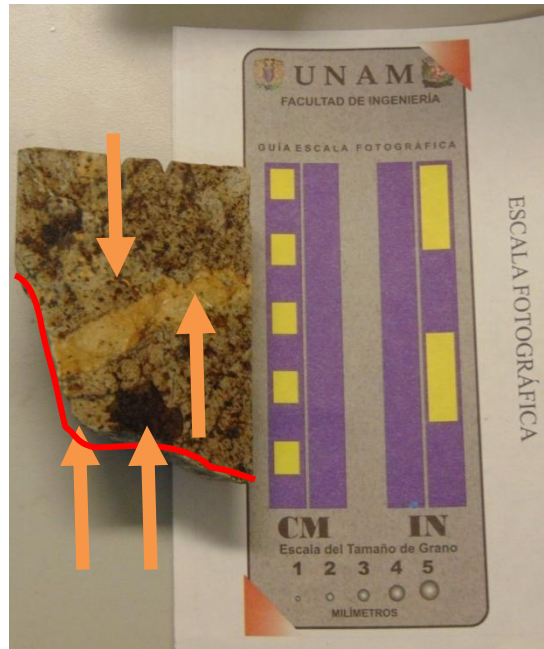


Figura 81. Cuarzomonzonita con alteración potásica y sericítica que muestra mineralización de bornita y calcopirita en forma de vetillas discontinuas, en rellenos de fracturas y diseminaciones variables. Muestra de núcleo del barreno MM-118 a 36.55 m de profundidad.



Figura 82. Andesita con alteración propilitica que muestra mineralización de bornita y calcopirita a lo largo del plano de fractura. Barreno MM-128 a 53 metros de profundidad con 2.47% de cobre (Brian K. Jones).

4.7.2. Mineragrafía

10 Muestras de rocas provenientes de los núcleos de la barrenación se eligieron para los estudios mineragráficos, con el diseño de cada muestra a diferentes profundidades de los tres cuerpos mineralizados que mostraran la expresión más significativa y común de las mineralizaciones como se presenta en la siguiente tabla 5:

Tabla 5

Depósito Mineral	Barrenos	Profundidad (m)	
IGUANA PRIETA	MM-117	7.60	Con respecto a 158 m de altura
		de 12 a 13	
	MM-118	12.4	
		36.55	
		76.8	
LA VIRGEN	MM-133	10	164 m de altura
		12	
		24.46	
PLAYA AZUL	MM-216	10.2	92 m de altura
		43.2	

Las descripciones de los estudios mineragráficos se puntualiza de mejor manera en el anexo 5. Sin embargo se mencionaran las asociaciones de menas manifestadas principalmente.

La roca encajonante en todas las muestras pertenece a un pórfido adamelítico (cuarzomonzonita a cuarzomonzodiorita), en el que se clasifico de acuerdo a la descripción de mano del núcleo y con base a la información proporcionada de la descripción de núcleos de la compañía Minera Montoro.

En las cercanías de la superficie, la calcocita y la covelita se presentan en forma de reemplazamientos parciales y totales de calcopirita y bornita (Figura 83 y 84). Igualmente la covelita ocurre como rellenos de las microfracturas y en los bordes de las piritas (Figura 85, 86 y 87) acompañada ocasionalmente por malaquita. Estas asociaciones mineralógicas son producto de un episodio postmineral de mineralización supergénica (malaquita, covelita, calcocita y goethita-limonita). (Anexo 4, Petrografía y Mineragrafía de barrenos).

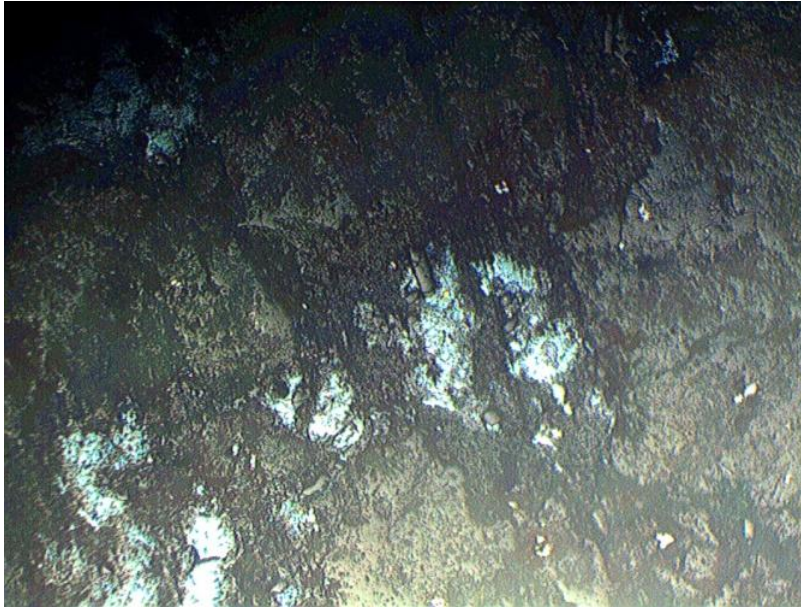


Figura 83. Microfotografía del porfido adamelítico con alteración supergénica, en el que se muestra calcocita anedral reemplazando casi en su totalidad a la calcopirita (Barreno MM-117 a 12-13 metros de profundidad, aumento 10x).

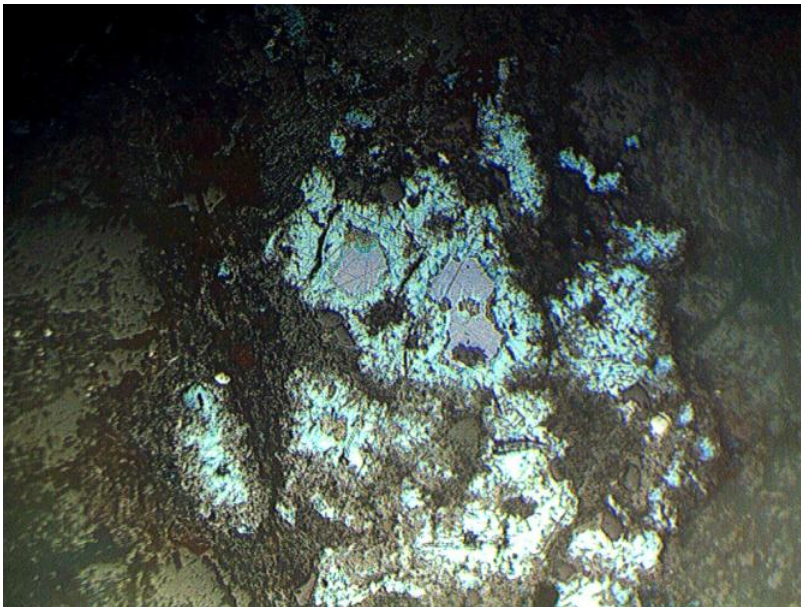


Figura 84. Microfotografía del porfido adamelítico con alteración supergénica, en el que se muestra calcocita reemplazando parcialmente a la bornita (Barreno MM-117 a 12-13 m de profundidad, aumento 10x).

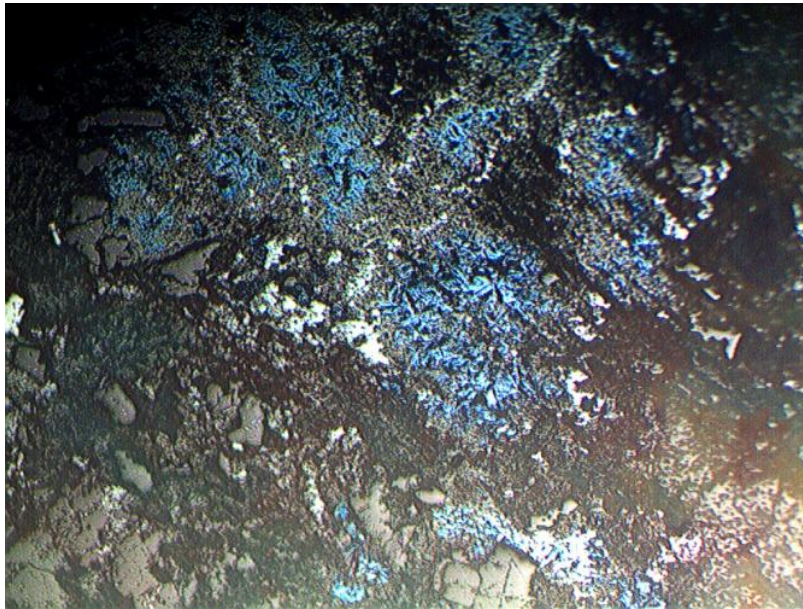


Figura 85. Microfotografía del pórfido adamelítico en la zona supergénica, en el que se muestra covelita anedral con óxidos de cobre (goethita-hematita), los sulfuros hipogénicos han sido totalmente reemplazados (Barreno MM-117 a 12-13 metros de profundidad, aumento 10x).

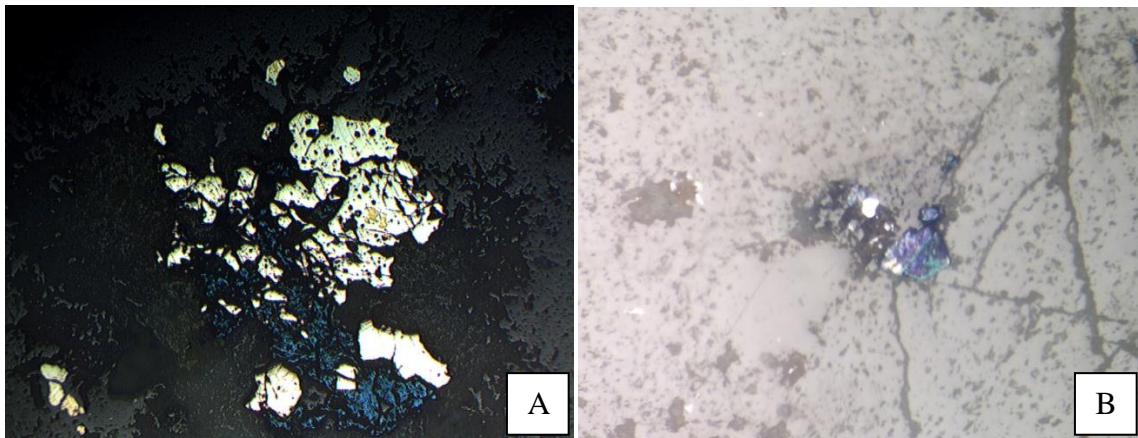


Figura 86. Microfotografía del pórfido adamelítico dentro de la zona supergénica, en el que se muestra (A) covelita anedral reemplazando a la pirita y calcopirita (barreno MM-117, a 7.60 m de profundidad, aumento 10x) y (B) covelita subbedral con malaquita reemplazando a la calcopirita sobre la traza de una microfractura (Barreno MM-133 a 27.46 metros de profundidad, aumento 10x).

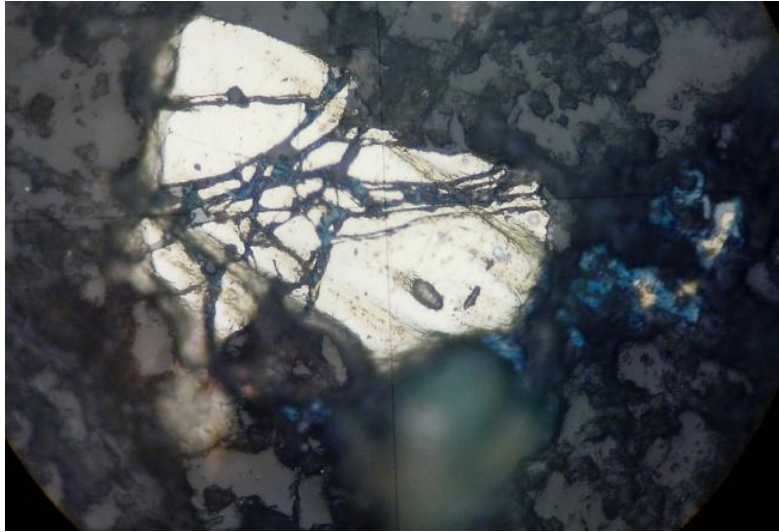


Figura 87. Microfotografía del pórfido adamelítico dentro de la zona supergénica, en el que se muestra covelita anedral reemplazando a la calcopirita en su totalidad y rellenando las microfracturas de la pirita (Barreno MM-133 a 27.46 metros de profundidad, aumento 20x).

Los estudios minerográficos muestran que los sulfuros hipogénicos como la calcopirita, se presentan en rellenos en microfracturas interconectadas y en los bordes de los fenocristales de pirita subedral (Figura 88); en ocasiones ocurren en forma de inclusiones en los cristales de pirita. La bornita por su parte, solamente se observa reemplazando los bordes de los cristales deformados de pirita (Figura 88); sin embargo, la frecuencia de este mineral es menor que la de la calcopirita (Anexo 4, Mineragrafía).

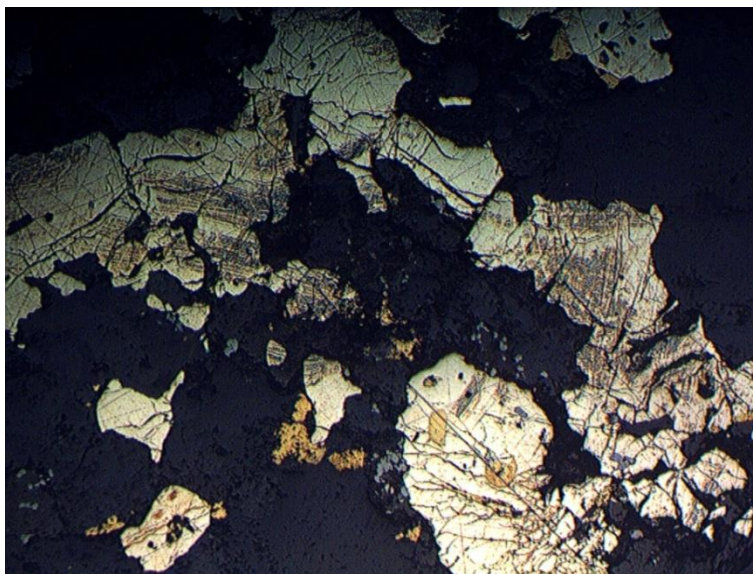


Figura 88. Microfotografía del pórfido adamelítico con alteración sericítica, en el que se muestra un conjunto de cristales de pirita con bordes corroídos e intensamente fracturada; se observan inclusiones de calcopirita (Barreno MM-118 a 76.78 metros de profundidad, aumento 20x).

La posición y la forma de la pirita indican claramente que pertenece a un pulso pre-mineral. La modificación de su forma y su aspecto (microfracturamiento y bordes corroídos) fue debido a un episodio temprano de brechamiento hidrotermal (Figura 89 y 88). Esta situación permitió que la calcopirita y la bornita se depositaran posteriormente entre los espacios dejados.

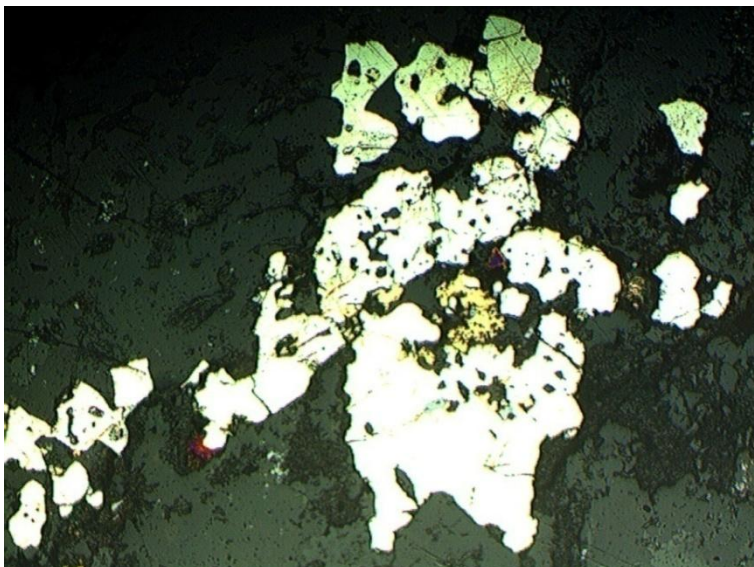


Figura 89. Microfotografía del pórfido adamalítico con alteración sericítica, en el que se muestra bornita-calcopirita en los bordes corroídos de la pirita, así como en relleno de oquedades (Barreno MM-118 a 76.78 metros de profundidad, aumento 20 x).

4.7.3. Paragénesis y sucesión

Con base en las observaciones de campo, la petrografía de alteraciones y los estudios mineragráficos de los barrenos MM-117, MM-118, MM-216 y MM-133, se definió la paragénesis y se propuso la sucesión, conforme al diagrama de la figura 90.

En la figura se muestra que el estado pre-mineral consistió en un episodio temprano de brechamiento seguido de un pulso de pirita, bornita y calcopirita, en forma de disseminaciones que son coextensivas con los reemplazamientos parciales de feldspatos potásicos y con los rellenos entre las aberturas del brechamiento (alteración K). Posteriormente, se desarrolló la paragénesis sericita-cuarzo-pirita (alteración fílica), que en parte obliteró a la alteración potásica; la alteración fílica es la más importante desde el punto de vista de la mineralización, en donde como ya se indicó, ocurren disseminaciones de pirita, calcopirita y en menor cantidad bornita, dichos minerales también se presentan en agregados aislados junto a vetillas y en vetillas en toda la roca. La etapa tardía de la

mineralización está definida por una carbonatación asociada a escasa sericita con bornita y calcopirita en gruesas cristalizaciones diseminadas y en vetillas sigmoidales, asimismo se manifestó silicificación hipogénica asociada directamente con la mena en zonas aisladas, en conjuntos de agregados microcristalinos y vetillas onduladas.

En el estado post-mineral se manifestó una oxidación y enriquecimiento supergénico, que consistió en la formación de carbonatos y óxidos de cobre y fierro (malaquita, crisocola, goethita-limonita y hematita) y sulfuros secundarios como covelita y calcocita junto a procesos de silicificación y argilización no hipogénica.

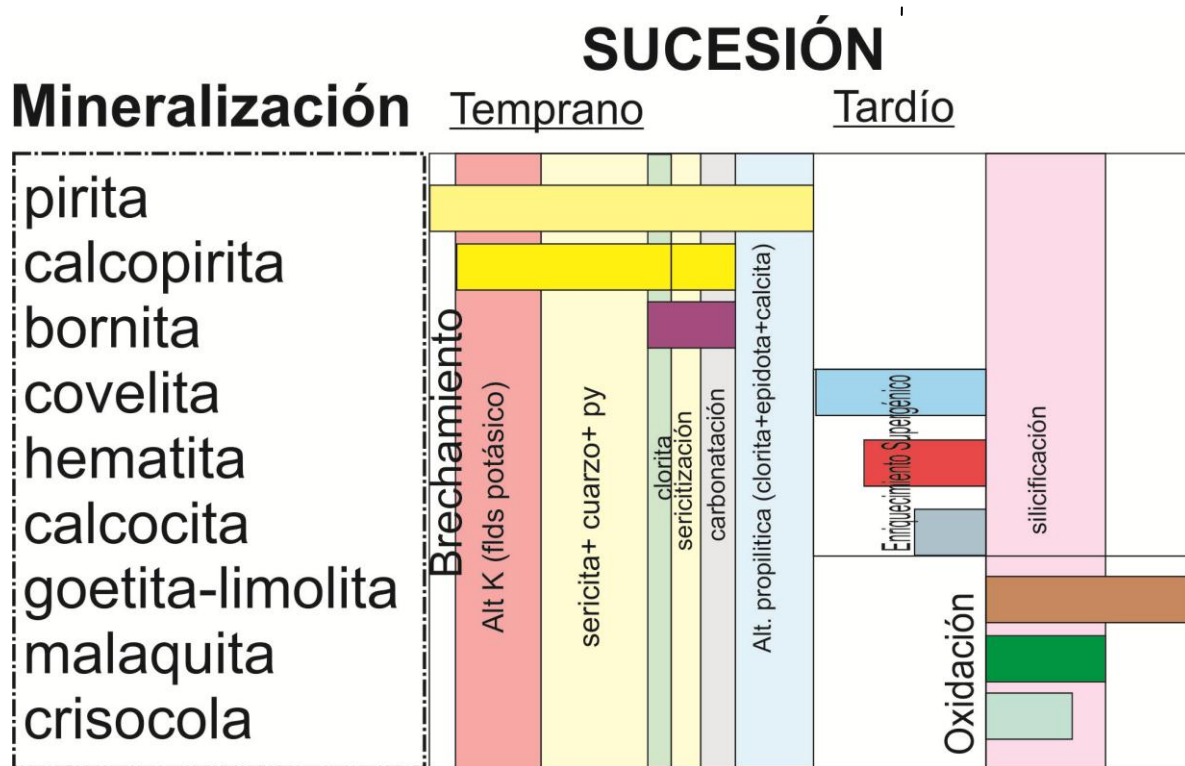


Figura 90. Paragénesis y sucesión del proyecto “La Balsa” propuesta.

4.7.4. Distribución de la mena

Generalmente la intensidad de la mineralización disminuye paulatinamente hacia los contactos del intrusivo con la grauvaca, en donde se logra observar un incremento de oxidaciones de fierro en forma de hematita y goethita, además de minerales arcillosos. Esto también ocurre en los contacto con la andesita-basalto con el intrusivo hacia el noroeste-este; en el que se aprecia un aumento en el contenido de pirita diseminada y la aparición de epidota en pequeños lentes escasos, vetillas de calcita, y cloritización a lo largo de fracturas (alteración propilítica)

En el depósito de La Virgen en los primeros 10 m de profundidad, se tiene la típica zona de oxidación y enriquecimiento (figura 91) que es coextensiva con intensa argilización y contiene hematita y goethita a lo largo de fracturas y en networks. Los óxidos, sulfuros secundarios, silicatos y carbonatos de cobre, principalmente malaquita, brocantita, crisocola y algo de azurita y calcocita se incrementan solo cerca de la superficie desde los 10 hasta los 35 m (Anexo 4, sección V-V'). La zona de enriquecimiento supergénico tiene como frontera la traza del contacto intrusivo y llega a una profundidad de 60 m, en donde se logra observar según barrenos aledaños, un aumento en el contenido de pirita, y la presencia de clorita a lo largo de fracturas y vetillas de calcita. Ya en profundidades cercanas a los 40 metros, se muestra mineralización hipogénica en el que la calcopirita y la bornita son abundantes.

La zona de brechas tiene una extensión en la superficie de 280 m en dirección este-noreste por 120 m en dirección oeste-noreste y tiene un espesor promedio de 80 m. Asimismo, la profundidad de la oxidación y enriquecimiento supergénico es de 60 m; por lo que representa el depósito que tiene la más alta concentración de cobre soluble.



Figura 91. Mineralización de cobre en un afloramiento del cuerpo de La Virgen hacia el noreste cercano del contacto intrusivo entre la cuarzomonzonita y la toba.

En el depósito de Iguana Prieta la mineralización supergénica ocurre entre 10 y 30 m. Los óxidos de cobre y los sulfuros secundarios solubles que se presentan en este depósito son brocantita, malaquita y en menor cantidad, azurita y calcocita y covelita.

En la superficie, es muy frecuente la presencia de óxidos de cobre y hierro que se presentan como rellenos de brecha en el pórfido monzonítico; esta mineralización se manifiesta en un área irregular de 200 m de longitud en una dirección E-NE por 120 m en dirección oeste-noroeste. Mientras a profundidades entre 50 a 60 m cambia las dimensiones del área del cuerpo mineralizado ocupando una zona casi circular de 500 m (este-noreste) por 550 m en el (oeste-noroeste).

El cuerpo de brecha presenta cerca del centro del área una extensión de 100 metros en dirección E-NE, y de 150 m en la dirección oeste-noroeste. El límite del cuerpo mineralizado es controlado por cambios litológicos a andesita basalto, así como por la mineralización y alteración. Por ejemplo, el barreno MM-117 ubicado en el núcleo del cuerpo mineralizado, perforó suficientemente para encontrar la zona de turmalina-epidota-clorita-magnetita (alteración propilítica) con aumento en la diseminación de pirita, seguido de un cambio litológico a 100 m de profundidad (con respecto a 163 m.s.n.m.) a andesita-porfídica (Anexo 4, perfil IP-IP') en el que hay una disminución de la mineralización de cobre hasta prácticamente estar ausente.

Dentro de la zona mineralizada hay 2.37% de cobre en un rango de 92 m, pero en un intervalo más superficial de (2-42 m) contiene 3.33% de cobre soluble. En una zona de baja solubilidad (50-74 m), se reconoce una ley de cobre soluble más baja (24 m, 1.23%), dado que la mineralogía es enteramente bornita y calcopirita. Solo en el sondeo MM-117 es posible observar el límite de la mineralización con la aparición de la asociación turmalina-clorita-epidota y magnetita a 96 metros (reporte inédito: La Balsa Project Geology and drilling results, Minera Montoro, 2006-2007) (Anexo 4, Sección IP-IP').

En el depósito de Playa Azul, las mejores leyes están presentes entre las intersecciones de las estructurales regionales con rumbo N70°E y las de rumbo N-S a N30°W. Las leyes son localmente altas (1%Cu), pero mucho de los intervalos mineralizados están solo entre los 8 y 12 metros.

El cuerpo tiene dimensiones de norte-sur de 100 metros y de este-oeste de 200 metros y un espesor un poco más de los 60 metros. Se caracteriza por una zona de *stockwork* con abundante hematita y algunos indicios de malaquita entre los 0 y 30 metros; desde los 30 metros se presentan pequeñas cantidades de calcopirita y bornita en vetillas y rellenos de fracturas que continúan hasta los 100 metros de profundidad.

4.7.5. Ideas del zoneamiento.

Estudios geoquímicos regionales hechos en el 2005 por la compañía Behre Dolbear muestran un zoneamiento clásico de un pórfido de cobre.

La zona central es definida por una zona de Cu-Mo en los cuerpos de Iguana Prieta y parte de Playa Azul. Esta zona es flanqueada por un halo de Cu-Au-Ag, que incluye parte de las chimeneas de brecha de Iguana Prieta y La Virgen hacia su flanco norte. Mientras que fuera del área de estudio hacia el noroeste, se presenta la asociación Mo-Au cerca de la chimenea de brecha de turmalina+pirita+cuarzo que fue localizada por los geólogos de Minera Montoro (Anexo 1, Mapa geológico Local). Esto implica que los mejores lugares para realizar sondeos que puedan descubrir un gran sistema porfídico corresponden con la anomalía de Au-Mo que ocurre principalmente en dirección oeste-noreste. (Anexo 6, mapa de zoneamientos).

4.8. Hipótesis genéticas.

La historia tectónica evidencia que los cuerpos mineralizados se formaron en un ambiente de subducción (Figura 92), dentro de un episodio magmático de arco, en donde se tuvo el emplazamiento de rocas intrusivas, esencialmente de naturaleza granodiorítica y diorítica en los límites del batolito Zihuatanejo-Guerrero. Como consecuencia de la evolución del arco, durante el Eoceno-Oligoceno ocurrió la extravasación de lavas basáltico-andesíticas a riolíticas e ignimbritas, productos volcánicos que se interestratificaron con depósitos sedimentarios continentales para dar lugar a una extensa cubierta.

El metasomatismo y el flujo del fluido fueron procesos muy importantes en la distribución de las concentraciones de elementos incompatibles en el manto (Figura 93); sucesivamente la fusión parcial fue el principal proceso por el cual los metales fueron transferidos del manto a la corteza; al final se dio inicio a la formación de yacimientos minerales encajonados en rocas ígneas, así como la subsecuente circulación de fluidos formarían los depósitos hidrotermales presentes en el área de estudio (Robb, 2005).

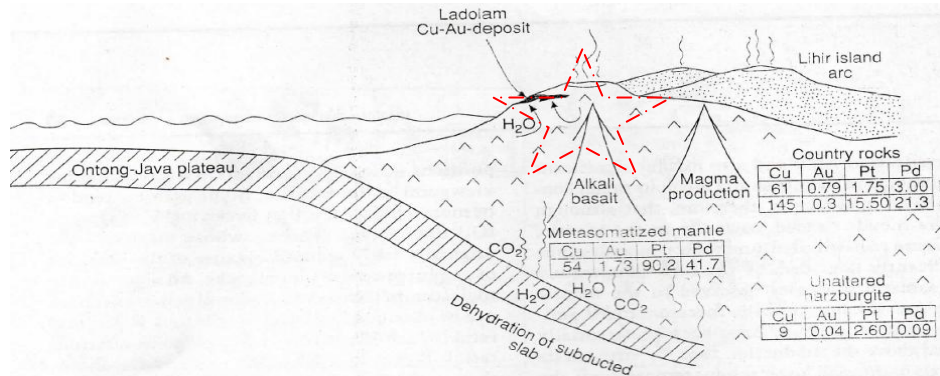


Figura 92. Esquema que ilustra el concepto de metasomatismo del manto y su relación con el enriquecimiento de metales en el ambiente de subducción. La abundancia de metales de los diferentes tipos de roca está expresada en ppm (McInnes et.al, 1999).

Los cuerpos mineralizados del proyecto “La Balsa” (Playa Azul, Iguana Prieta y La Virgen) son esencialmente depósitos de cobre; los yacimientos representan un conjunto de brechas mineralizadas de origen magmático-hidrotermal. Las rocas porfídicas que las albergan son de naturaleza calciocalina (cuarzomonzonitas-cuarzodioritas). Estas rocas tienen gran afinidad con los yacimientos tipo porfídicos con asociaciones de Cu (Au- Mo) principalmente, con una típica alta relación de Fe_2O_3/FeO (fO_2 alta) tomando en cuenta la interpretación que da Barton (1996) en un esquema que se refiere a la naturaleza de las intrusiones y sus asociaciones de metales en términos de diferentes intrusiones relacionados a yacimientos minerales (Robb, 2005) (Figura 93).

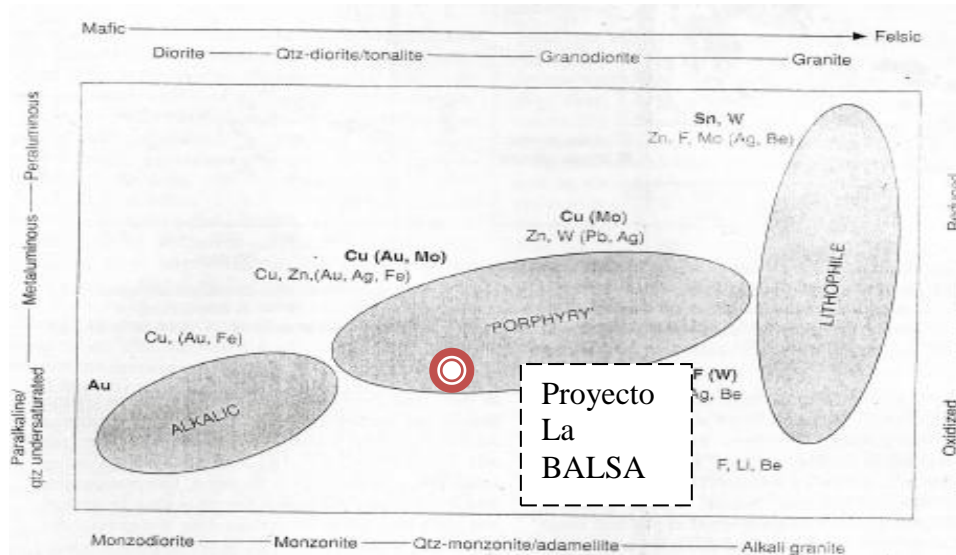


Figura 93. Esquema generalizado que relaciona las asociaciones metálicas y tipos de yacimientos con la naturaleza de las intrusiones (Robb, 1988; modificado por Barton, 1996).

Se ha considerado que el mecanismo que origina las brechas mineralizadas de origen magmático-hidrotermal forma parte del modelo propuesto por Burham (1979,1967,1985), en el que idealiza la formación de chimeneas de brechas e hidrofracturamiento como consecuencia de zonas de saturación de agua formadas y localizadas alrededor de las porciones apicales de una intrusión granodiorítica (Figura 94) en el momento en el que ocurre una serie de procesos complejos que incluye la generación del magma, diferenciación, emplazamiento, cristalización y desgasificación.

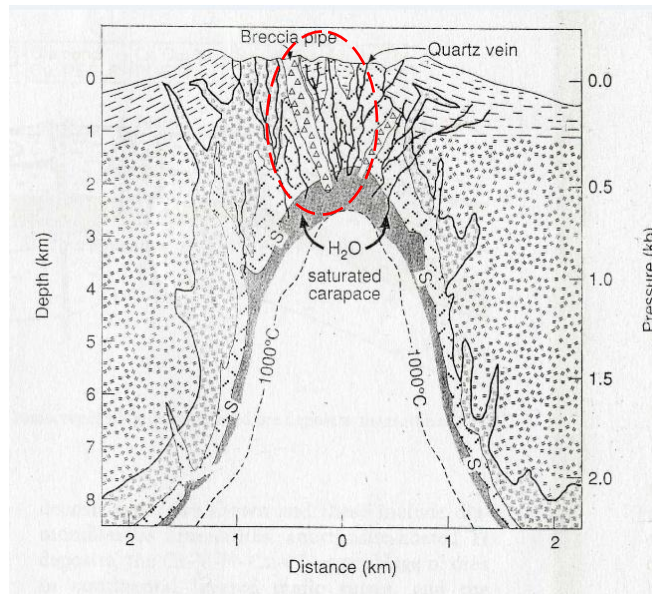


Figura 94. Sección que muestra una intrusión granodiorítica somera y la formación de chimeneas de brecha y fracturamiento hidráulico en la porción apical de la intrusión (Burham, 1975).

Burham menciona que se manifestaron tres procesos principales de saturación de agua teóricamente para que se formara las estructuras mineralizadas en el depósito cuprífero del proyecto La Balsa:

1. Saturación de agua en forma de vapor (o exsolución de agua) por la disminución de la presión (causado por el ascenso del magma), comenzaría con la formación de burbujas de gas o vesículas, llamándole *primera ebullición* y es particularmente aplicable a niveles muy superiores del sistema.
2. Por absorción de H₂O desde la roca encajonante.
3. Saturación de agua por la progresiva cristalización de minerales anhidros dominantes por debajo de condiciones isobáricas, generalmente manifestada en una mayor profundidad del sistema magmático y ocurrida relativamente en un estado avanzado de cristalización denominado *segunda ebullición*.

El proceso que principalmente contribuyó para formar los cuerpos de brechas y el consecuente hidrofracturamiento fue la *segunda ebullición* debido a una mayor concentración de fluidos y volátiles. Los fluidos y/o volátiles se concentraron en la cúpula de la intrusión con el consecuente incremento de la presión, debido a una extensión en el volumen total del sistema, provocando la liberación de energía mecánica e hidráulica durante el emplazamiento y la cristalización del magma a poca profundidad. Posteriormente, la descompresión y expulsión del fluido acuoso de baja densidad (cristales+fase volátil) y las concentraciones de agua, causaron la expansión del fluido adicional y el consumo de una gran cantidad de energía

durante la segunda ebullición, lo que provocó el fracturamiento hidráulico de la cúpula permitiendo el violento escape de los volátiles. Los fluidos ascendentes ricos en metales fluyeron a lo largo de las fracturas hacia los sitios de depósito; la expansión del mismo intensificó el fracturamiento (Phillips, 1972). Cuando se acumularon los fluidos hidrotermales en los planos de fractura, hasta niveles no fracturados, la presión de fluidos excesiva al final (en la punta) de la fractura fue suficiente para extenderla por dicha presión hidráulica, concluyendo en la formación de chimeneas de brecha y el hidrofracturamiento que resulta en forma de fracturas con una inclinación casi vertical que se extiende por varios kilómetros (Figura 95). Las estructuras mineralizadas del área de estudio como los cuerpos de brecha en los depósitos de Iguana Prieta y La Virgen, como las brechas de intrusión como de colapso, el fracturamiento (stockwork) que rodea a los tres depósitos con mineralización de óxidos y carbonatos de Cu y Fe (Anexo 1 y Anexo 3) son compatibles con las estructuras que se explica el modelo de Burham producto de la segunda ebullición de un magma.

Asimismo, la distribución compleja de diques que se observa en el área de estudio indica condiciones temporales y/o espaciales distintas durante la evolución del sistema.

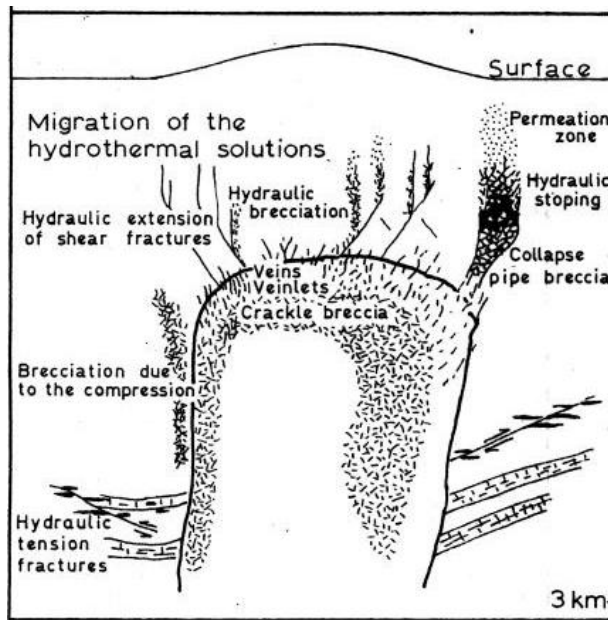


Figura 95. Varios tipos de fracturas posibles asociadas a la segunda ebullición de un magma saturado en H₂O. Tomado de Phillips (1973).

El yacimiento aquí descrito se ajusta a este modelo; aunque, hay diversas variaciones en el modelo, y en estricto rigor, cada yacimiento es único en cuanto a la combinación de factores regionales y locales que determinan su emplazamiento y evolución. Prácticamente con el modelo de Burham se define un mecanismo que pudo generar las estructuras comunes presentes en los tres cuerpos del proyecto

La Balsa. Sin embargo ¿Son cuerpos de brecha relacionados a un pórfido de Cu sepultado a una mayor profundidad? o ¿son chimeneas de brecha magmático-hidrotermales desarrolladas a poca profundidad por un cuerpo o varios cuerpos intrusivos?

Primera hipótesis.- Los yacimientos del proyecto La Balsa se originaron como parte de la evolución de un pórfido de cobre sepultado a gran profundidad (Figura 96). Hay aspectos y características de la geología de los depósitos que están a favor de tal premisa:

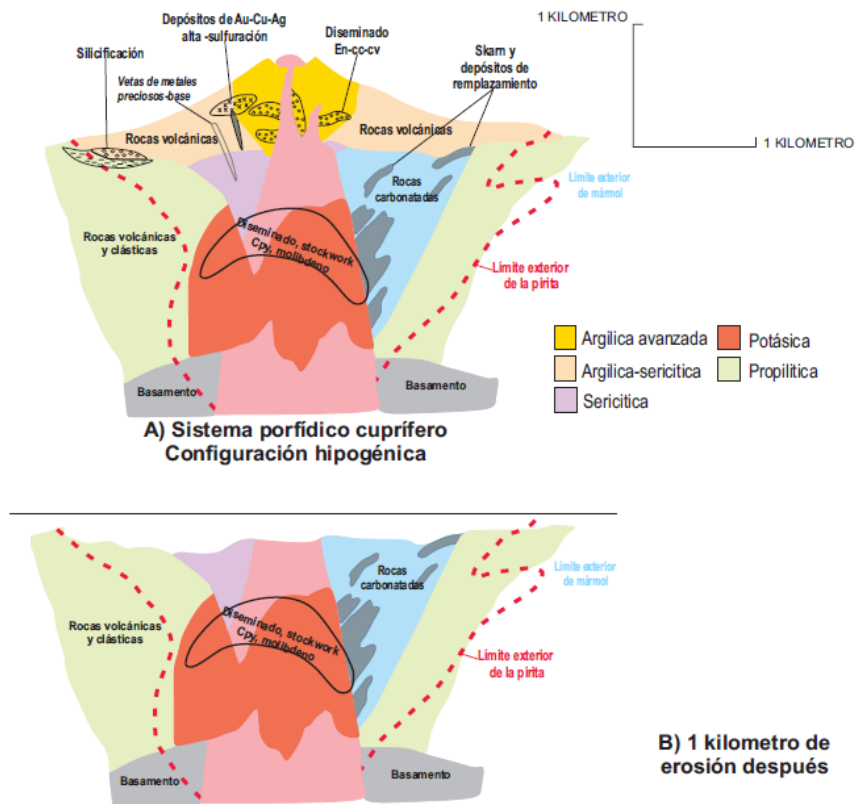


Figura 96. Sección transversal de un modelo de un sistema pórfido de cobre que muestra la distribución y los tipos de depósitos minerales, rocas, y zonas de alteración (Scientific Investigations Report 2010-5070-B, Porphyry Copper Deposit Model).

- ✓ Se presenta un zoneamiento de Cu-Mo en los cuerpos mineralizados de Iguana Prieta y Playa Azul y otro de Mo-Au hacia el noroeste y suroeste que son propios de un pórfido de cobre (Anexo 5, mapa de zoneamientos).
- ✓ La extensión de la alteración cuarzo-sericitica se muestra en superficie en las cuarzomonzonitas, lo que podría indicar que posiblemente dicha extensión corresponda con parte de la cubierta de un sistema tipo pórfido de cobre.

- ✓ En los estudios petrográficos se muestra entre los 45 y 70 metros de profundidad, alteración potásica en forma de reemplazamientos de plagioclasas por feldespatos potásicos y en rellenos de vetillas en los cuerpos de Iguana Prieta y La Virgen. Estos feldespatos potásicos tienen un aspecto nubloso de color marrón oscuro (Figura 70) y en la mayoría de los casos contienen mena diseminada en los fenocristales (Anexo 4. Petrografía y Minerografía de barrenos MM-117 y MM-118). La identificación de la alteración fue mencionada sin muchas pruebas por Minera Montoro en pasados informes, sin embargo con el estudio petrográfico de alteraciones se ha logrado confirmar dicha alteración. La alteración (silicatos de potasio+cuarzo+sericita) presente en el proyecto La Balsa es una característica común de chimeneas de brechas relacionado con pórfidos de cobre que se muestra en varios distritos del mundo (Tabla 6).
- ✓ La descripción de algunos sondeos (MM-117, MM-118, MM-120, MM-133) a profundidades entre los 60 y los 150 m muestran en diques andesíticos porfídicos y coladas de andesita-basalto; la manifestación de epidota en reemplazamientos sobre minerales máficos, clorita a lo largo de fracturas y calcita en forma de vetillas y a lo largo de fracturas. Esta asociación mineralógica corresponde a una alteración propílica propia de un sistema porfídico.
- ✓ La mineralización supergénica de los tres depósitos presenta espesores entre los 10 a 30 m (en el depósito de la Virgen alcanza hasta los 60 m) con una ley mayor del 1% de cobre. Asimismo se manifiestan mayormente en rellenos de stockwoks y fracturas en forma de malaquita, azurita, tenorita, crisocola y escasamente cobre nativo que son características propias de los pórfidos de Cu.
- ✓ La cuarzomonzonita se extiende al oeste por más de 1 km, en la vecindad del proyecto y se constatan anomalías geoquímicas de Cu y Mo propias de un sistema porfídico. Asimismo, una chimenea de brecha de turmalina ha sido reconocida por los geólogos de Minera Montoro.
- ✓ Las características reconocidas en las brechas del proyecto La Balsa presentan algunos rasgos consistentes con los niveles superiores de un sistema porfídico cuprífero (Figura 96), así como la variación de tipos de brechas con alteración potásica.

Tabla 6. Ejemplos seleccionados de brechas hidro-magmáticas asociadas con depósitos del tipo pórfido (Tomado de Sillitoe, 1975).

Ejemplo seleccionados de chimeneas de brechas relacionado con depósitos tipo pórfido

localidad	roca encajonante	edad (m.y.)	Forma de los cuerpos de brecha	Forma de los fragmentos	Pasta de roca	Alteración hidrotermal (=turmalina)	Principales minerales tipogénicos (en orden de abundancia)	Principales minerales de ganga	edad relativa del depósito pórfido	valor economico	Referencia
Bethlehem B.C., Canada	Granodiorita	200	cuerpos verticales elongados con anastomosing	angular a redondeado	Abundante	Biotita	calcopirita, bornita, pirita, molibdenita	biotita, clorita, turmalina, cuarzo	en gran parte premineral	altas leyes en cuerpos mineralizados	Briley y Bellamy (1976)
Boss Mountain B.C., Canada	Granodiorita	105	cuerpos verticales en forma de lentes irregulares	angular a redondeado	0 a 70%	Biotita	Molibdenita, pirita	cuarzo	inter-mineral temprana	Mineralización importante restringida a brechas	Soregaroli (1975) Soregaroli y Nelson (1976)
Galore Creek, B.B., Canada	volcánicas alcalinas, sanitas porfídicas	174 a 198	cuerpos en forma de brechas escarpadas	angular a redondeado	presente localmente	Silicatos de K (+granate)	pirita, calcopirita	Biotita, granate, anhidrita	Preminal	Partes del cuerpo mineralizado	Allen et al. (1976)
Island Copper B.C., Canada	pórfido cuarzo-feldespático, andesita volcánica	154(?)	Caparazon a diques empinados	redondeado	Abundante	Pirofilita-serfita	Pirita, calcopirita, molibdenita	cuarzo, pirofilita	Preminal	Parte del cuerpo mineralizado	Cargill et al. (1976)
Mt. Pleasant N.B., Canada	Granito porfídico	330 a 340	cuerpo en forma de chimenea	angular a redondeado	Abundante	cuarzo-topacio	Volframa, molibdenita, arsenopirita, bismuto nativo, bismufinita	cuarzo, fluorita	Preminal	Partes unicas del cuerpo de W-Mo	Kociman et al. (1984).
Sacaton, Arizona	cuarza, molibdenita	64.5	Gran cuerpo irregular	principalmente subangular a subredondeada	5 a 20%	silicatos de K	pirita, calcopirita, molibdenita, especularita	cuarzo	Preminal	Mucho de la roca huesped del cuerpo mineralizado	Cumming (1982)
Sierrita-Esperanza, Arizona	Cuarzo monzonita porfídica, cuarzo-monzonita cuarzo-clorita andesita volcánica	57(?)	cuerpos irregulares (ward-flared)	Angular a redondeada	Abundante en las partes mayó sujetaes angular	silicatos de K	Pirita, calcopirita, molibdenita,	Cuarzo, biotita	Mineralización temprana	Leyes altas	West y Allen (1982)
Copper Basin, Arizona	Cuarzodiorita cuarzomonzonita porfídica	64	25 chimeneas verticales	Angular a redondeada	ausente	cuarzo feldespato K	pirita, calcopirita, molibdenita	cuarzo	En gran parte premineral	Tres chimeneas manifiestan leyes altas de Cu-Mo	Johnston y Lowell (1961)
Red Mountain Arizona	Laita y rocas volcánicas	~60	chimenea angosta	Angular	ausente	silicatos de K +serfita	Calcopirita, pirita, molibdenita	cuarzo, feldespato potásico, anhidrita, calcita	premineral	altas leyes, especialmente en contactos	Quinlan (1981)
Copper Flat, Nuevo México	cuarzo monzonita	73.4.	chimeneas elongadas y escarpadas	Angular, ligero desplazamiento	ausente	Silicatos de K	Calcopirita, pirita, Máginaella molibdenita	cuarzo, biotita, feldespato potásico, fluorita calcita, apatita	Mineralización temprana	altas leyes en las parte central del cuerpo mineralizado	Dunn (1982)
Santa Rita, Nuevo México	porfido granodiorico	63	Chimenea elongada (Whin Hill brecha)	Angular, subredondeado	Presente	Silicatos de K	Calcopirita, pirita, máginaella molibdenita	cuarzo, Feldespato potásico, biotita	Mineralización temprana	Parte de la zona supergénica del cuerpo mineralizado	Kerr et al. (1950), Rose y Balousser (1966) Norton y Cathles (1973)
Questa, New México	Andesita volcánica	23	Cuerpo por encima de una cupula de pórfido de aplita	Subangular (?)	Ausente	Silicatos de K	Molibdenita	cuarzo, feldespato potásico, biotita	Preminal	Únicamente el cuerpo	Leonardson et al. (1984)
Cananea, Sonora, México	Granito, caliza, cuarza, biotita a andesita volcánica	59.9	8 chimeneas principales	Angular a subredondeada	Ausente	Serfita, silicatos de potasio, destrucción de skarn	calcopirita, bornita, pirita, estañita, molibdenita, galena	cuarzo, carbonatos, flogopita (La Colarada), clorita	intermineral	Altas leyes de la mena	Perry (1935, 1961) Meinert (1982)
Cumobabi, Sonora, México	Pórfido cuarzomonzonitico o andesita volcánica	40	mas de 35 cuerpos de chimeneas irregulares	Angular pero redondeada en la brecha de La Verde	Ausente, presente en la chimenea de La Verde	Silicatos de K o serfita	Pirita, molibdenita, calcopirita, tetraedrita	cuarzo, biotita, feldespato potásico, anhidrita, apatita, sidrita o cuarzo, turmalina	Preminal	cuatro cuerpos manifiesta mena de Mo	Sillitoe (1976), Scherkenbach et al. (1985)

Segunda hipótesis.- Si el yacimiento corresponde con depósitos de chimeneas de brechas hidro-magmáticas desarrollados a poca profundidad por un cuerpo o varios cuerpos intrusivos, también existen aspectos y características geológicas que son concordantes con dicha suposición:

- ✓ Los cuerpos de Iguana Prieta y La Virgen presenta una forma ovoidal que van reduciendo sus dimensiones a profundidades cercanas a los 50 m (cuerpo de Iguana Prieta), mientras que en el depósito de la Virgen se estrecha a partir de los 30 m, formando un cono invertido en ambos.
- ✓ Las brechas son comúnmente localizadas en las partes externas de plutones o stocks o se distribuyen a lo largo de sus márgenes como es el caso de los depósitos mineralizados del área de estudio, en donde el cuerpo plutónico principal, lo conforma un batolito de composición granodiorítica, aparentemente sin mineralización que se extiende al este y noreste del depósito de La Virgen.
- ✓ Se observa en el depósito de Iguana Prieta un rango de brechas que consisten en brechas de mosaico hacia la superficie en posición subhorizontal, brechas angulares a subredondeadas con matriz de roca molida y brechas tabulares que tienden una posición sub-vertical en el centro del cuerpo mineralizado; estas brechas se asemejan en parte, a las chimeneas de brecha idealizadas por G. Corbett y T. Leach (1997) (Figura 42). En el cuerpo mineralizado de La Virgen hay una zona de stockwork y brechas monolitológicas de origen magmático (Anexo 2, Mapa Geológico Local) que presentan mineralización de sulfuros de cobre y hierro (calcopirita y pirita) que forman una chimenea de brecha de que no concuerda con el modelo idealizado, aunque por la relación genética y litológica que se tiene entre esto dos depósitos, evidencian un origen común.
- ✓ La sericitización es la alteración de mayor extensión, principalmente en los cuerpos mineralizados de Iguana Prieta, La Virgen y Playa Azul. (Anexo V, estudios petrográficos), las que presentan rasgos de las chimeneas de brechas documentadas en el mundo (Tabla 7).
- ✓ Generalmente las litologías de los fragmentos de los tres depósitos coinciden estrechamente con las rocas de pared, produciendo brechas monolitológicas, que son comunes en las chimeneas de brecha.
- ✓ En lugar de una mineralización homogénea y extensa, muchos cuerpos de brechas relacionados con cuerpos intrusivos contienen volúmenes restringidos de mineral económico como es el caso de los tres depósitos.

Tabla 7

Ejemplo seleccionados de chimeneas de brechas relacionado a rocas intrusivas

localidad	roca encajonante	edad	número de chimeneas mineralizadas	dimensiones en superficie (m)	dimensiones verticales (m)	Forma de los fragmentos	Estado de roca (Turmalina)	Alteración hidrotermal	Principales minerales hipogénicos (en orden de abundancia)	Principales minerales de ganga	Control estructural	Roca intrusiva relacionado	Referencia
Tribag, Ontario, Canada	Granito, maficas, felsicas	1,055	4/3	mas de 700x300	mayor 660	angular	ausente	sericitica, clorita, argilica	pirita, calcopirita, pirrotita, magnetita, molibdenita	cuarzo, calcita, ankerita, laumontita	fallas, juntas, contactos	felsita	Ambrose (1989) Bleeker (1974) Norman y Sawkins (1965)
Chadbourne, Ontario, Canada	Anesitas+ rioditas volcanicas	Arqueano	1/1	300X120	mayor 750	angular	ausente	sericita, calcita	pirita	cuarzo, albita, calcita, ankerita, colomita	fallas relacionadas	cuero de sianita (?)	Walker and Cregh eur (1982)
Golden Sunlight Montana	Sedimentos calcareos, latta porfida	Terciario Temprano	1/1	200X200	mayor 550	angular a subredondeada	ausente	silicificacion sericitica	pirita, calcopirita, bornita, galena, estalerita	cuarzo, barita, sericita, fluorapatita	no reconocido	stock de latta porfida (?)	Poter and Ryley (1985)
Victoria Nevada	Sedimentos calcareos, latta porfida	135(?)	mayor 4/1	mayor 200X75	mayor 800	angular a generalmente redondeada	presente en partes	calcio-silicatos	pirita, calcopirita	calcita, diposida, granate, cuarzo	ausente	stock de cuarzita porfida	Almison et al. (1982)
Cooper Creek, Arizona	Granodiorita, andesita volcanica	68	mayor 200/8	mas de 180	mayor 270	angular a redondeada	ausente	sericitica (t), K, silicatos	pirita, calcopirita, molibdenita, bornita	cuarzo, sericita, clorita, turmalina	probablemente ausente	latta	Almison et al. (1982)
Ortiz, Nuevo Mexico	cuarzo, protásica	Oligoceno	3/1	970 x mas de 600	mayor 150	angular a redondeada	generalmente presente	sericitica	pirita, magnetita, hematita, schellita	calcita	no reconocido	cuarzo-latta porfida	Kuhn (1941), Joralemon (1982) Simons (1984)
Los Pinares, Sonora, México	Latta-andesita volcanica	-55(?)	1/1	600x300	mayor 725	angular	ausente	sericitica clorita	especularita, pirita, calcopirita, schellita	cuarzo, calcita, clorita	no reconocido	desconocida	Lindquist Wright (1983)
Whashington dist. Sonora, México	Andesita, latta-trapala volcanica	45.7Ma	13/2	mas de 100	mayor 400	angular o redondeada	presente en algunas chimeneas	sericitica, silicatos de K, clorita	pirita, calcopirita, molibdenita, schellita	cuarzo, turmalina,	a veces parcialmente fallas relacionadas	pluton de granodiorita	Viale and Wardner (1920) Locke (1926) Thoms (1978)
La Colorado, Zacatecas, México	Trapala + riodita, protásica	53.6 Ma	9/6	mas de 100x40	mayor 300 (600 interior)	unicamente redondeada	abundante	sericitica	pirita, esferita, galena, tetraedrita, calcopirita	cuarzo	no reconocido	cuarzo monzonita	Silico (1976), Simmons and Sawkins (1983)
Inguaran, Michoacan, México	granito, granodiorita, porfido granodiorico	35.6. Ma	10/3	mas de 600x300	225	angular a redondeada	10 a mayor 50% propiética (t),	propiética (t),	calcopirita, pirita, schellita	cuarzo, epidota, turmalina, clorita, calcita	N20PV+ N70° E Fallas (?)	granodiorita+ stock de granodiorita porfida	Almison (1983)
Turmalina, Peru	granodiorita,	Terciario	1/1	150x150	mayor a 600	angular a sub-redondeada	ausente	sericitica, clorita (t)	pirita, calcopirita, molibdenita, arsenopirita, wolframita, schellita	cuarzo, turmalina	no reconocido	pluton de granodiorita	Escandon (medto, 1974) Silico (1976) Sawkins (1979)
El Bolsico, Chile	cuarzoiorita, porfido cuarzoioritico	Paleoceno	4/1	180x95	mayor a 170	angular a redondeada	abundante	sericitica (t)	calcopirita, molibdenita, pirita, especularita	cuarzo, turmalina, sericita, calcita	no reconocido	pluton de granodiorita	Pinnemé (1979) Llanet (medto, 1981)

✓ La sucesión y la paragénesis (Tabla 7) muestran un episodio principal de mineralización de cobre relacionada con la sericitización que se sobrepone sobre la alteración potásica y en un momento posterior al brechamiento; estos rasgos son típicos en las chimeneas de brecha relacionadas con cuerpos intrusivos.

DISCUSIÓN

Se han planteado los rasgos geológicos que son acordes con cada uno de los dos posibles orígenes del yacimiento. La segunda hipótesis que corresponde a depósitos de chimeneas de brechas que se desarrollaron a poca profundidad originados por una fase de la liberación de energía, durante el emplazamiento y la cristalización de un magma en forma de uno o varios cuerpos intrusivos manifiesta algunas características que comparten con la primera hipótesis, como:

- ✓ La sucesión paragenética y sus alteraciones principales son típicos tanto en las chimeneas de brecha relacionadas con cuerpos intrusivos a poca profundidad como a las asociadas a un sistema porfídico sepultado.
- ✓ Las brechas son comúnmente localizadas en las partes externas de plutones o stocks o se distribuyen a lo largo de sus márgenes en los dos casos, incluso los textos indican que existe una gradación entre ellos, como se ha señalado previamente (Burnham, 1985 y Corbett y Leach, 1998).
- ✓ Las características de los fragmentos de brechas son redondeados a angulosos con un pequeño desplazamiento.
- ✓ La mineralización hipogénica de calcopirita, piritita y bornita prácticamente son comunes en las dos hipótesis.

Sin embargo, la manifestación de microgranodiorita localizada hacia el este-noreste del área de estudio representa una manifestación de una intrusión temprana que se manifiesta como una apófisis, no presenta mineralización y no tienen relación con las estructuras mineralizadas que se desarrollaron hacia el W-NW; además algunos sondeos sobre esta roca indican alteración propilítica desde niveles muy superficiales lo que evidencia que es solamente parte del halo propilítico. Las alteraciones en el área de estudio muestran una gran extensión de la zona cuarzo-sericítica hacia el N-NW, así como el clásico desarrollo de alteración propilítica sobre rocas volcánicas, como es el caso de las coladas de andesita-basalto presentes al N-NW del área de estudio (Anexo 2) indicando posiblemente la parte de la cubierta del sistema sepultado tipo pórfido de cobre mencionada en la primera hipótesis. Si se considera además, la sobreposición de la alteración sericítica sobre la alteración potásica que es común en sistemas porfídicos (i.e. barrenos MM-118, MM-117), claramente sugiere un acercamiento hacia la zona central del sistema porfídico entre los lotes mineros de Iguana Prieta y Playa Azul. Por lo tanto hay una mayor aceptación en la primera hipótesis, pero es necesario extender la exploración geológica hacia el oeste; en ese sector se han reconocido anomalías de Cu, Mo y Au típicas de un pórfido de cobre (Anexo 5), por lo que también será necesarios hacer estudios mineralógicos y

geoquímicos a detalle (como el estudio de inclusiones fluidas) en los barrenos de los depósitos de Iguana Prieta y La Virgen, para conocer las condiciones termobarogeoquímicas de depósito en tiempo y espacio y así poder orientar la exploración en todas las escalas de observación.

La sección conceptual (Anexo 1, perfil MD) implica que las estructuras mineralizadas, las alteraciones manifestadas a lo largo del alineamiento de la cuarzomonzonita hacia el NW-W (Anexo 2, perfil de alteraciones) así como la incorporación de información de algunos sondeos claves muestra un amplio espectro de estructuras mineralizadas que se distribuyen sobre gran parte del cuerpo cuarzomonzonítico, y se extienden hacia el oeste, posiblemente como consecuencia de una fuente hidrotermal sepultada (sistema porfídico de cobre) que se encuentra en el empalme de la anomalía de cobre y molibdeno (Anexo 1) cerca del depósito de Playa Azul.

5. POTENCIAL ECONÓMICO-MINERO.

5.1. Barrenación con diamante.

5.1.1. Antecedentes

La siguiente tabla muestra las campañas de barrenación realizadas durante 1950-1991 por las diferentes compañías mineras que intentaron desarrollar el proyecto (Tabla 8).

Tabla 8

RESUMEN DE CAMPAÑAS DE BARRENACION PRE-MONTORO (MINTEC, 2000, MONTORO 2007)				
Compañía	Año	Tipo	Número de barrenos	Metros
ASARCO	1950	Percusión	N/A	N/A
St. Lucie	1969	Percusión	N/A	N/A
Minera Cuicuilco	1979	sondeos con diamantes	19	886
Minera Cuicuilco	1987	Percusión	35	865
Minera Cuicuilco	1989	sondeo con diamantes	22	506
Fischer-Watt	1991	sondeo con diamantes	8	438
Nevada	1996	sondeo de núcleos	16	1.389
Total			100	18.192

Como resultado de las campañas anteriores de barrenación, se presenta la siguiente tabla con las estimaciones de tonelajes de mineral determinados por las compañías que mantuvieron actividades desde 1950 (Tabla 9).

Tabla 9

Compañía	Ley de Cobre (cut off)	Tonelaje (miles)	Ley de Cobre (Oxidos)	Tonelaje (miles)	Leyes de Cobre mixto	Tonelaje (miles)	Leyes de Cu (sulfuros)	Tonelaje (miles)	Ley de Cu promedio	Información de barrenacion utilizada
Cuicuilco 1985	0.25	?	?	5.4	1.56	?	?	11.4	1.24	19 barrenos con diamante
Brown & Root, 1988	Ninguna	3	1.25	2.23	2	Indefinido	Indefinido	?	?	19 barrenos con diamante y 39 de percusión
Hun Kim 1991	0.15	1.5	1.23	Ninguna	Ninguna	1.32	1.45	2.83	1.34	42 barrenaciones con diamante

La etapa de barrenación realizada por Minera Cuiculco en 1985 (primera fase) fue posteriormente recopilada por Rogue River Resources en el 2005 para definir el potencial del yacimiento y analizar nuevos prospectos. A partir de los resultados de dicha barrenación, se considero como *la primera fase*, en el que se tuvieron las primeras secciones, con la cuantificación del contenido de cobre a profundidad; con ello además, se presentaron las primeras interpretaciones geológicas de los cuerpos mineralizados de Iguana Prieta y La Virgen que más adelante se explicara a detalle.

La campaña más reciente realizada por Minera Montoro se nombra *segunda fase*, consistió en tres etapas de barrenación desde el 2006 al 2011, con la realización de más de 100 sondeos. De la *primera etapa* se lograron comprobar los cuerpos mineralizados de Iguana Prieta con los barrenos MM-117 al MM-321 (del 2006 al 2007). La *segunda etapa* se desarrolló durante los años 2010 y 2011 y tuvo como objetivo la comprobación a profundidad de un pórfido de cobre con la realización de tres barrenos (MM-322, MM-323, MM-324) que alcanzaron profundidades de 600 a 900 metros, aproximadamente; *la tercera etapa* comprendió los años de 2011 y 2012 y consistió en barrenos de menor profundidad, entre los 30 a 50 metros, realizada para delimitar a los cuerpos mineralizados de La Virgen, Iguana Prieta y Playa Azul desde los barrenos MM-330 al MM-388.

5.1.2. Primera fase

Consistió en 84 barrenos en el que 49 barrenos fueron con diamante y 35 por percusión, 8 de ellos exceden los 100 metros de profundidad mientras la mayoría presentan profundidades de 20 a 40 metros. Un gran número de sondeos terminaron con mineralización de óxidos de cobre.

Muchos sondeos comprobaron los depósitos de La Virgen e Iguana Prieta e incluso culminaron en la zona de mineralización. En la Virgen, 14 de 29 barrenos terminaron en mena (Tabla 10). En Iguana Prieta terminaron en mena, 16 de 26 barrenos (Tabla 11) sin embargo para esta fase aun no se lograba identificar el ancho de la mena). Desde el punto de vista de la exploración fue inexplicable el asunto de tener casi la mitad de los sondeos realizados en estos depósitos sin mineralización, por lo que muchos de los sondeos debieron ser vueltos a barrenar con el objeto de confirmar las dimensiones conocidas de los depósitos

La barrenación fue realizada en campañas desde los años setentas. La calidad de la información de los más viejos barrenos es variable, aunque haciendo comparaciones similares con los barrenos de la segunda fase, muestran una reproducibilidad aceptable para el total de cobre.

Los barrenos V-1 al V-19 alcanzan una profundidad moderada (100-180 metros). Presentan una buena descripción, aunque no preservan datos de *solubilidad del*

cobre². Los barrenos VP-20 al V-54 son de profundidad corta, generalmente menos de 15 metros de profundidad; las descripciones son de baja calidad, pero incluyen datos de solubilidad de cobre. Del barreno V-55 al V-76 son quizás los de menor profundidad y también incluyen datos de solubilidad.

No hay información disponible del barreno V-77 al V-100, e inclusive de sus localidades. En 1991 Fischer Watt Gold Company inició una campaña de barrenación (barrenos B-101 al B-108). Dichos sondeos presentan una buena descripción de núcleos y datos de lixiviación con ácido. Los barrenos V-101 a V-116 fueron barrenados en 1996 por Nevada Star Resource; estos presentan análisis secuenciales de cobre. Únicamente dos *descripciones* son preservados de la campaña de barrenación y las localidades no fueron datadas (Anexo 7, se presenta la ubicación de los sondeos de la primera fase).

Tabla 10.

Depósito La Virgen (sondeos)	Contenido	Ley en los últimos 5 pies	Sección para prospección
PV-37	Mena	0.510	A-A'
PV-39	concentración alta de mena	0.286	A-A'
PV-30	concentración alta de mena	0.350	B-B'
V-58	Mena	1,278	B-B'
V-29	Mena	0.67	B-B'
B-106	Mena	0.990	C-C'
V-57	Mena	1,478	C-C'
V-108	residuo	0.190	C-C'
B-105	residuo	0.010	C-C'
V-59	Mena	1,516	C-C'
B-104	residuo	0.150	D-D'
B-107	Mena	1,130	D-D'
V-55	Mena	1,263	D-D'
V-28	Mena	1,790	D-D'
V-27	Mena	1,330	D-D'
PV-36	residuo	0.100	E-E'
V-56	residuo	0.079	E-E'
V-7	residuo	0.005	E-E'
V-60	residuo	0.105	E-E'
V-24	concentración alta de mena	0.280	F-F'
V-38	residuo	0.046	F-F'
V-64	residuo	0.065	G-G'
PV-34	residuo	0.110	H-H'
V-74	Mena	3,434	H-H'
V-2	Mena	2,100	H-H'
V-66	residuo	0.126	H-H'
P-34	residuo	0.090	I-I'
VP-41	Mena	0.404	I-I'
VP-42	Mena	0.725	I-I'

² Cantidad de minerales de óxido de cobre como la malaquita, la azurita, la crisocola y porciones de cuprita y tenorita que pueden extraerse mediante ácido sulfúrico.

Tabla 11.

Iguana Prieta (sondeos)	Contenido	Ley en los últimos 5 pies	Sección para prospección
V-48	mena	3.43	A-A'
V-45	concentración alta de mena	0.31	A-A'
V-63	residuo	0.008	A-A'
V-50	mena	0.95	B-B'
B-102	mena	2.51	B-B'
V-49	mena	0.80	B-B'
V-76	mena	0.856	B-B'
VP-43	mena	0.586	B-B'
V-75	mena	0.632	B-B'
V-67	residuo	0.025	B-B'
V-71	concentración alta de mena	0.211	C-C'
V-73	residuo	0.183	C-C'
V-70	mena	1,383	C-C'
V-51	mena	0.478	C-C' Y D-D'
V-52	mena	2.67	C-C' Y D-D'
V-68	mena	2,823	D-D'
V-72	mena	0.534	D-D'
V-65	residuo	0.086	E-E
V-62	concentración alta de mena	0.399	E-E
V-61	mena	2,671	E-E
V-46	mena	0.500	F-F'
V-16	residuo	0.010	F-F'
V-9	residuo	0.100	G-G'

5.1.3. Segunda fase

La primera etapa de la segunda fase de barrenación se realizó durante los años 2006-2007 y tuvo como objetivo definir los límites de los depósitos conocidos de cobre. Los sondeos fueron perforados en una red de 25x25 metros, con algo de variabilidad debido a la topografía.

La segunda etapa del programa fue explorar y definir las reservas de sulfuros que están por debajo de las zonas de cobre soluble. Esto fue muy satisfactorio, porque resultó en el descubrimiento y las delimitaciones de los depósitos de sulfuros de Iguana Prieta, que se tenía reconocido únicamente en 4 barrenos espaciados de la primera fase. La segunda fase también en el 2007 tuvo como objetivos explorar nuevos puntos de interés en la montaña de La Balsa y otro sector. Los contratistas del programa de barrenación fueron BDW de Toronto Canadá desde todo el año del 2006 y parte del 2007, así como Pergeo Perforaciones y Geológica S.A. de C.V. en el año 2007.

El programa de barrenación de la tercera etapa se desarrolló en los depósitos de Iguana Prieta y La Virgen, para definir la reserva de óxidos y gran parte de los sulfuros, y comprobar las características que guardan los depósitos con los yacimientos de chimeneas de brecha; comprendió también la barrenación profunda para definir un posible pórfido de cobre del 2007 al 2011.

La barrenación realizada por Minera Montoro con diámetro HQ (63.5 mm de diámetro) con 166 barrenos, en total 12,786 metros perforados; PQ (75 mm de diámetro) para pruebas metalúrgicas de 8 sondeos (341.5 metros perforados). Algunos barrenos en NQ (47.5 mm de diámetro) fueron hechos para la exploración de nuevos objetivos (31 barrenos, para hacer un total de 2,604.75 metros) (Anexo 3).

Todos los barrenos verticales de Montoro con profundidades promedio fueron al menos de 100 metros con una desviación de 3 a 4 grados en la vertical. Los barrenos inclinados se muestran en la tabla 12:

Tabla 12. Levantamiento de información de los sondeos de Montoro

SURVEYING INFORMATION OF MONTORO'S HOLES (W. LIENHARD, 2006)			
Drill Hole Number	Depth (m)	Inclination	Azimuth
MM-151	91	-87.1	N/A
MM-157	75	-86.8	10.5
MM-170	44	-86.8	281.6
MM-183	78	-84.8	319.4
MM-184	84	-87.9	34.7
MM-185	60	-84.7	329.9
MM-186	51	-86.3	281.3
MM-187	60	-88.2	47
MM-199	103	-86.8	343.8
MM-208	144	-87.3	322.2
MM-211	141	-86.1	249.8
MM-213	102	-87.4	33.7
MM-214	129	-86.1	19.8

Con los resultados de la campaña de barrenación de 2006-2007 fue definido y permitido la preparación de un inventario de mineral (informe no. NI43-101 compatible) utilizando el método estándar de la sección transversal, a fin de tener una estimación del tamaño y un modelo que definiera las reservas. La estimación de Montoro de los óxidos, mixtos y sulfuros fue de aproximadamente 200 millones de libras de cobre, que se muestran en la tabla 13.

Tabla 13. Inventario de Minera Montoro en el 2007- Todas las categorías

MINERA MONTORO 2007 MINERAL INVENTORY – ALL CATEGORIES			
Deposit	Estimate (M ton)	Copper Grade (%)	Total Copper (M Lb)
Iguana Prieta	5.70	0.95	120
La Virgen	2.50	1.09	60
Playa Azul	2.00	0.54	24
Total	10.20	0.90	204

M= Millones

5.2. Tipos de reservas.

Las pruebas metalúrgicas y el trabajo realizado por Minera Montoro permitieron clasificar la mineralización en tres tipos, óxidos, mixtos y sulfuros para un mejor detalle sobre la valoración del tipo de reservas. En esta evaluación se reconoció que la mineralización de óxidos consiste en brochantita, malaquita, crisocola, tenorita y azurita. La mineralización de mixtos consiste prominentemente de calcocita y covelita, con algunos óxidos y en ocasiones bornita y calcopirita. La mineralización de cobre en reservas tipo sulfuro consiste en calcopirita y bornita, con pequeñas cantidades de minerales secundarios.

Los estudios de columna realizados por la compañía METCON³ para Minera Montoro, así como estudios previos, definieron a todo el cobre recuperable respecto al cobre total de las zonas de óxidos, mixtos y sulfuros. El estudio de METCON de pruebas de recuperación dio el resultado de 90% a partir de óxidos, 79% de mixtos y 40% de sulfuros, dependiente del tamaño del grano.

En la tabla 17 se indican los tipos de reservas de mineral, en relación a los tipos de mineralización, con base en el modelo de bloques logrado por el método normal *kriging Ordinario (OK)*.

5.2.1. Definición del modelo de bloque

El modelo de bloque tiene una medida de 6 X 6 X 6 metros definido por Behre Dolbear (Compañía de Estados Unidos que fue contratada para la elaboración del informe técnico 43-101) para el modelado de reservas (Tabla 15). La medida del bloque representa el tamaño selectivo de Unidades Mineras Selectivas (SMU) para el yacimiento basado en un muestreo selectivo. Los modelos de los bloques fueron sistematizados con las zonas mineralizadas y zonas de oxidación usando la

³ Metcon es un laboratorio que realizó gran parte de las pruebas metalúrgicas y de elementos para la campaña de barrenación de Minera Montoro.

regla de que *un bloque* es considerado dentro del modelo, si el 50% del volumen del bloque permanecía dentro de la zona mineralizada.

Una verificación del volumen comprobó que entre el modelo de sólidos (Figura 97) y el modelo de bloque (Tabla 16) no hay generalmente sesgo en el comportamiento de las zonas de mineralización sistematizadas en el modelo de bloques. El modelo de sólidos consiste en una representación en forma o cuerpo en 3D del depósito mineralizado idealizado, con base a los datos obtenidos de la barrenación, mientras el modelo de bloques (no disponible) implica un análisis geoestadístico a través de secciones geológicas que contiene datos de barrenación. Estas secciones se dividirán en bloques que serán calculados con tonelaje y ley dependiendo de las interpretaciones del tipo de roca y mineral.

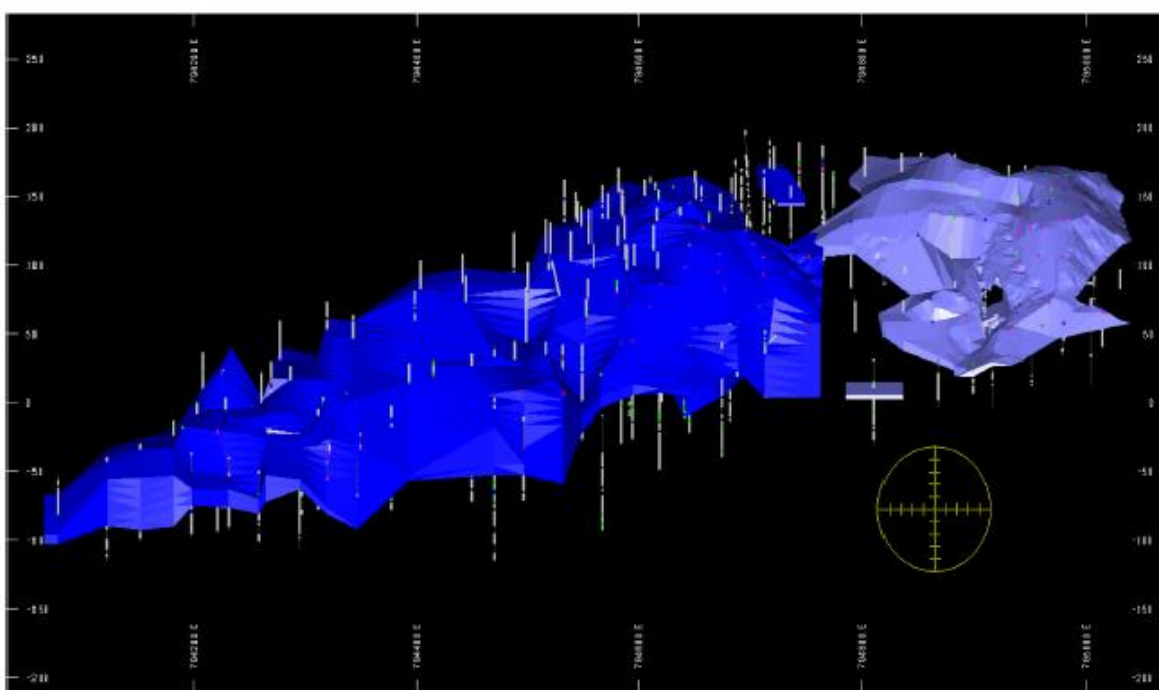


Figura 97. Sólido en tres dimensiones del yacimiento La Balsa. El azul claro a la derecha pertenece al depósito de la Virgen, a la izquierda pertenece a los depósitos de Iguana Prieta/Playa Azul. La representación visual está orientada hacia el norte con una inclinación a 25 grados. El diámetro del círculo amarillo es de 100 m (Técnical Report, La Balsa Project, 43-101, 2008)

Tabla 15. Definición del modelo de bloques para el depósito de La Balsa					
Dirección	De (m)	A (m)	Rango (m)	Medida del Bloque (m)	Numero de Bloques
Este	794,097	795,153	1,056	6	176
Norte	1998,847	1999,501	654	6	109
Elevación	0	210	210	6	35

Tabla 16. Volumen comprobado para la zona mineralizada codificada

Zona	Volumen sólido	Volumen de Bloque	Diferencia (%)
La Virgen	1,123,903 m ³	1,104,408 m ³	-1.7%
Iguana Prieta/Playa Azul	4,956,767 m ³	4,913,784 m ³	-0.9%
Total	6,080,670 m ³	6,018,192 m ³	-1.0%

5.2.2. Clasificación de reservas

El modelo de bloques con leyes estimadas se clasificó en tres categorías; un bloque medido fue definido por una distancia de 25 metros de anisotropía máxima y en al menos tres barrenos. Un bloque indicado fue definido por una distancia de 25 metros de anisotropía máxima y en al menos 2 barrenos. Las estimaciones remanentes fueron clasificadas como reservas inferidas.

Con ello, las reservas estimadas para los depósitos de La Balsa ha sido resumida en modelos de bloque de Behre Dolbear's (OK). Con una ley de corte de 0.2% de Cu, el total de reservas medidas e indicadas es de 11.4 millones de toneladas. Sin embargo se tomo la cantidad con respecto a una ley media de 0.77% conteniendo 88,300 toneladas o 194.6 millones de libras de cobre.

Adicionalmente, hay reservas de mineral por 0.7 millones de toneladas con una ley promedio de 0.66% conteniendo 4,700 toneladas de cobre. En la tabla 17 se muestra el resumen de reservas de los depósitos de La Balsa, con base en el tipo de mineralización, clase de reservas, tonelaje, % de cobre y contenidos.

Tabla 17. Resumen de reservas del yacimiento “La Balsa”

LA Balsa DEPOSIT MINERAL RESOURCE SUMMARY

Mineral Type	Class	K tonnes	Cu (%)	Cu (t)	Cu (M lb)
Oxide	Measured	1,069	1.16	12,370	27.3
	Indicated	986	0.89	8780	19.3
	Subtotal	2,055	1.03	21,150	46.6
	Inferred	186	0.63	1,170	2.6
Mixed	Measured	848	1.08	9,140	20.1
	Indicated	854	0.81	6,930	15.3
	Subtotal	1,702	0.94	16,060	35.4
	Inferred	150	0.62	930	2
Sulfide	Measured	4,086	0.74	30,410	67
	Indicated	3,574	0.58	20,670	45.6
	Subtotal	7,660	0.67	51,080	112.6
	Inferred	370	0.7	2,580	5.7
Total	Measured	6,003	0.86	51,920	114.5
	Indicated	5,414	0.67	36,370	80.2
	Subtotal	11,417	0.77	88,290	194.6
	Inferred	707	0.66	4,680	10.3

K=miles

Tabla 17 a.

LA VIRGEN ZONE MINERAL RESOURCE SUMMARY
(CUTOFF GRADE IS 0.2% COPPER)

Mineral Type	Class	K tonnes	Copper (%)	Copper (t)	Copper (M lb)
Oxide	Measured	643	1.27	8,140	17.9
	Indicated	623	0.92	5,730	12.6
	Subtotal	1,265	1.10	13,870	30.6
	Inferred	153	0.60	920	2.0
Mixed	Measured	170	1.01	1,730	3.8
	Indicated	181	0.89	1,610	3.5
	Subtotal	351	0.95	3,330	7.3
	Inferred	41	0.78	320	0.7
Sulphide	Measured	209	0.83	1,740	3.8
	Indicated	341	0.79	2,670	5.9
	Subtotal	550	0.80	4,410	9.7
	Inferred	52	0.51	270	0.6
Total	Measured	1,022	1.14	11,600	25.6
	Indicated	1,144	0.88	10,010	22.1
	Subtotal	2,166	1.00	21,620	47.7
	Inferred	246	0.61	1,510	3.3

Tabla 17 b.

IGUANA PRIETA/PLAYA AZUL ZONE MINERAL RESOURCE SUMMARY (CUTOFF GRADE IS 0.2% COPPER)					
Mineral Type	Class	K tonnes	Copper (%)	Copper (t)	Copper (M lb)
	Oxide	Measured	426	0.99	4,240
Indicated		363	0.84	3,040	6.7
Subtotal		789	0.92	7,280	16.0
Inferred		34	0.75	251	0.6
Mixed	Measured	678	1.09	7,410	16.3
	Indicated	673	0.79	5,320	11.7
	Subtotal	1,351	0.94	12,730	28.1
	Inferred	109	0.56	610	1.3
Sulfide	Measured	3,877	0.74	28,670	63.2
	Indicated	3,234	0.56	18,000	39.7
	Subtotal	7,111	0.66	46,660	102.9
	Inferred	318	0.73	2,310	5.1
Total	Measured	4,981	0.81	40,310	88.9
	Indicated	4,270	0.62	26,360	58.1
	Subtotal	9,251	0.72	66,670	147.0
	Inferred	461	0.69	3,180	7.0

5.3. Prospectos

En septiembre del 2006 se inició un programa de muestreo geoquímico de red en todas las concesiones. Las muestras fueron recolectadas por brigadas y localizadas por medio de GPS, con un total de 1800 muestras de suelos; como resultado se definieron diversas anomalías (concentraciones en ppm) de elementos metálicos. En el caso del cobre, las mejores anomalías fueron detectadas en las áreas referidas como El Reyno y Railroad.

La anomalía railroad indicó un contorno de >100 ppm de cobre que es la continuación de la mineralización del depósito de Playa Azul a lo largo de la vía del ferrocarril; mientras que a un 1 kilómetro hacia el oeste, en la anomalía de El Reyno se estimó un valor de 650 ppm en muestreos de suelo. Además diversas exploraciones de campo determinaron abundantes carbonatos y óxidos de cobre a lo largo del contacto entre la cuarzodiorita y las rocas vulcanosedimentarias.

Los prospectos del Reyno y Railroad West fueron mapeados a detalle en escala 1:3000 aproximadamente, que se muestra en el Anexo 6. En ambos casos, ocurre la misma secuencia estratigráfica, con grauvacas que se orientan hacia al oeste y andesitas intrusionadas por diorita a cuarzodiorita. Es probable que estas dos áreas estén desplazadas, aproximadamente un 1km, por una falla lateral derecha con rumbo N 15° W. El prospecto del Reyno está relacionado con un *skarn*, en donde es manifiesto un emplazamiento masivo de magnetita en limolitas y rocas volcánicas. Algunos de estos lentes masivos de magnetita contienen oro en leyes de 100 a 1500 ppb. Los afloramientos son generalmente pobres y la concentración de magnetita es difícil de evaluar.

El Reyno

La Geología y el muestro geoquímico de este prospecto, se muestra en el Anexo 6. El barreno MM-289 fue el primero en mostrar mineralización. En él se reconoció de 12 a 38 m una ley de 0.93% de cobre, entre 44 y 50 m se observó una ley de 0.19% de cobre y de 74 a 84 m se promedió 0.63% de cobre. Calcantita, crisocola y cobre nativo fueron encontrados cerca de la superficie, seguido a profundidad de bornita, calcopirita y covelita. La mineralización de sulfuros es dominada por bornita, pero mucha de la mineralización está representada por minerales solubles. En ocasiones la mineralización se muestra en vetillas verticales. La roca encajonante es diorita de hornblenda que muestra generalmente una alteración propilitica.

Cinco sondeos verticales espaciados a 50 m mostraron la mineralización, pero ninguno comparable con las leyes del barreno MM-289, solamente el barreno MM-293, el más cercano al MM-289 cortó 6 metros con 0.3% Cu (de 58 a 64 m) (Anexo 6).

Railord West

El prospecto presenta una anomalía geoquímica (Cu) de 750 m de largo por 250 m de ancho (Anexo 6), incluso en los muestreos geoquímicos de suelos se tienen 2 muestras con un valor de 1000 ppm de cobre. El área también tiene una débil anomalía en plata y oro que está flanqueada por una anomalía de molibdeno (Anexo 5).

Se reconoció la alteración característica de cuarzo-sericita en un sill de cuarzodiorita ubicado en el centro de la anomalía (Anexo 6), por lo que pudiera ser la fuente de la mineralización. El sill tiene una inclinación hacia el sur en donde aflora la secuencia vulcanosedimentaria, como en el caso del depósito de Iguana Prieta.

Las rocas del bajo o más viejas consisten en aglomerados de andesita y basaltos propilitizados. La mineralización de cobre se presenta en la grauvaca cerca del contacto con el intrusivo, con leyes variables de cobre (0.6%, 1.29%, 2.22 % y 1.93%). La calcopirita diseminada se presenta en afloramientos en rocas porfídicas con alteración potásica. Estas características son idénticas a la mineralización de los lentes del depósito de Playa Azul.

La compañía Cuicuilco realizó dos barrenos en 1979, el V-5 y V-6. Ninguno encontró mineralización importante de cobre debido a que ambos fueron ubicados sobre la unidad de andesita-basalto. Solamente sondeos dentro de la zona del

pórfido de cuarzodiorita y a lo largo del contacto de las grauvacas pudieran encontrar signos de mineralización importante.

Cinco sondeos fueron realizados por la compañía Minera Montoro. El mejor barreno MM-309 atravesó mineralización en estructuras que buzan al NE dentro del pórfido de cuarzodiorita (0-22 m con 0.34% total de cobre). El barreno MM-307 reconoció 21 m con 0.11% de cobre en óxidos desde los 2 m de profundidad. Del barreno MM-311 a cien metros al suroeste, se reconocieron bajas concentraciones de cobre entre 0.27 a 0.5% cerca del contacto de la grauvaca

Dos barrenos el MM-305 y MM-313 fueron situados en grauvaca y mostraron mineralización significativa cerca del contacto con el intrusivo. El barreno MM-305 encontró 4 m con 0.26% de cobre total (20-24 m) a lo largo del contacto.

Hay una gran coincidencia en las anomalías de Au-Ag cubriendo la parte oeste de Railroad. Una anomalía similar es encontrada en un área pequeña del depósito de Playa Azul que consiste en un pequeño lente de brechas mineralizadas presentes en el Anexo 2, muy cercano al sondeo MM-216.

Una parte del área de la anomalía de Railroad West no se ha comprobado hasta la fecha. La intersección de mineralización en el barreno MM-309 provee suficientes pruebas para dar seguimiento a un nuevo programa de barrenación.

La Virgen 2

Consiste en pequeños afloramientos esparcidos, que se localizan a 2 kilómetros al norte del proyecto La Balsa, que presentan mineralización de carbonatos y óxidos de hierro y cobre como malaquita, hematita, crisocola y goethita-limonita con diseminaciones de bornita, calcopirita y pirita (Anexo 98); las rocas son de cristalización fina a media, de textura porfídica con gran presencia de fenocristales de plagioclasas y leve silicificación.

Los afloramientos tienen en común que presentan malaquita a lo largo de las fracturas producto de la carbonatación y oxidación de algunos sulfuros en la superficie (Figura 98); también ocurren pequeñas diseminaciones de bornita y calcopirita.



Figura 98. Roca intensamente fracturada y alterada, que muestra presencia de malaquita en las superficies de las fracturas y disseminaciones de pirita, calcopirita y bornita; en ocasiones se muestra silicificación acompañada de oxidaciones de hierro determinada por las fracturas.

Se observa también hematita especular con una disminución de la presencia de la malaquita, cuando hay un cambio en el tipo de roca; posiblemente sea resultado de la actividad de las soluciones hidrotermales contemporáneas a la mineralización (Figura 99).



Figura 99. En una roca de grano medio a fino de color marrón claro a la intemperie, se muestra la presencia de hematita especular a lo largo de una superficie de fractura acompañada de goethita-limonita a su alrededor.

Estos afloramientos constituyen pequeños lentes mineralizados como es el caso del depósito de Playa Azul, pero todavía no se tienen evidencias que correlacionen las mineralizaciones ubicadas en este lugar con el yacimiento de La Balsa, por lo que es necesario desarrollar un programa de exploración en este nuevo prospecto.

Pórfido de Cobre

Anteriormente se presento la hipótesis del origen del yacimiento en el que se mencionaba la posibilidad de que los cuerpos mineralizados de La Virgen, Playa Azul e Iguana Prieta estuvieran relacionados a profundidad a un sistema pórfido de cobre.

La compañía Minera Montoro se esmeró por descubrir el sistema porfídico sepultado, mediante la realización de un programa de barrenación de tres barrenos a profundidades mayores a 500 m (barrenos MM-322, MM-323 y MM-324), que se ubican en los alrededores del área de estudio. Los barrenos indican en general, una compleja distribución entre rocas porfídicas dioríticas de grano fino a medio y monzonita porfídica, con la aparición de numerosas discontinuidades estructurales (Anexo 7. Descripción de barrenos largos). Lo que es clásico en las zonas apicales de las intrusiones.

Solamente en el barreno MM-322 se observó mineralización significativa en forma de calcopirita y bornita, hospedada en la cuarzomonzonita; estas roca manifiestan alteración potásica típica que se observa entre los 40 y 155 m de profundidad, además se identificaron algunos cuerpos intrusivos de espesores variables de rocas porfídicas dioríticas intermitentes con rocas monzoníticas que iniciaron desde los 155 m, asimismo la alteración propilítica empezó a predominar hasta llegar a los 660 m de profundidad. El sondeo de mayor profundidad (MM-324) que alcanzó los 912.40 m, mostro un comportamiento parecido al MM-322 en el que atraviesa un gran espesor de rocas con textura porfídica fina de composición diorítica y monzonitas en forma de diques en espesores aproximados de 100 m; la alteración predominante en todo el sondeo es la propilítica (existe abundante calcita-clorita); asimismo, se determinó la posible ubicación de la falla La Virgen a 830 m de profundidad, en donde se identificó brecha vulcanoclástica intercalada con toba sin embargo de 430 a 490 m de profundidad y de 740 a 780 m se manifestó alteración potásica (feldespato potásico). El barreno MM-323 muestra la mejor distribución de las unidades sedimentarias, en un espesor de 158 m reconociéndose grauvaca, intercalaciones de grauvaca-toba y sucesiones de toba; dichas unidades no muestran mineralización más que diseminaciones de pirita y la alteración propilítica predomina en toda la columna. Asimismo, existen algunos diques de monzonita de 10 a 20 m de espesor que intrusionan a las andesitas y contienen mineralización escasa de calcopirita con hematita; también se presenta a una profundidad de 430 m una diferenciación a granodiorita en un espesor de 100 m. (Anexo 8, barrenos MM-322, MM-323 y MM-323).

La identificación del cuerpo porfídico fino de composición diorítico a profundidad en los tres sondeos mencionados podría ser donde se encuentra el pórfido de cobre, sin embargo los tres sondeos barrenaron en el halo propilítico lo que precisa solamente el exterior del sistema porfídico; por lo que el programa de barrenación de MM-324, 323 y 322 no pudo dar el acierto sobre el cuerpo

principal. La compañía tenía propuesto un siguiente programa de barrenación al norte del depósito de La Virgen; sin embargo por falta de tiempo ya no se realizó. Las descripciones de los cuerpos de chimeneas de brechas y sus relaciones con la extensa alteración cuarzo-sericita-pirita, juntamente con el descubrimiento en el depósito de Iguana Prieta de la alteración potásica, son consistentes con la situación de los cuerpos brechados en los niveles superiores de un sistema pórfido de cobre. Asimismo, existen casos similares en otros distritos alrededor del mundo como Copper Basin, Arizona, Cumobabi en Sonora y Questa, Nuevo México, en donde se han identificado cuerpos irregulares de brechas encajonados en rocas porfídicas de naturaleza calcialcalina (Tabla 6).

En particular en el mapa de zoneamientos (Anexo 6 Y Anexo 1) se observa un empalme entre las anomalías de Mo y Cu ubicada entre el cuerpo de Iguana Prieta y Playa Azul. Posiblemente el pórfido sepultado se podría encontrar allí; sin embargo solamente se tiene como guía de mineralización la manifestación de la alteración potásica a 60 m de profundidad aproximadamente en el centro del cuerpo mineralizado Iguana Prieta. Por lo que podría realizarse un programa de barrenación de 300 m de profundidad aproximadamente que se inicie sobre la zona del empalme de las anomalías porque son típicas en estos sistemas mineralizados y siga hacia al W hasta llegar a la zona de anomalía de Mo en donde posiblemente se descubra otros depósitos relacionados y/o la misma fuente hidrotermal sepultada.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La mineralización de cobre en La Balsa está asociada con zonas de brechas en rocas porfídicas de naturaleza monzonítica, en el que predominan las brechas monolitológicas, brechas desquebrajadas, brechas mosaico y brechas subangulares a subredondeadas, donde los sulfuros de cobre ocurren en forma de diseminaciones, reemplazamientos de fenocristales de plagioclasas, máficos y vetillas.
- El brechamiento está plenamente confinado en el pórfido monzonítico, limitado por coladas masivas de andesita-basalto al norte y grauvaca con sedimentos marinos al sur. En el lote La Virgen, el cuerpo de brecha se muestra en la forma de un cono invertido que va estrechándose hasta inclinarse al oeste debido al contacto intrusivo entre la cuarzomonzonita y la toba, mientras que en el lote de Iguana Prieta parece ser una chimenea que tiene forma en niveles someros de un elipsoide que va estrechándose a profundidad de los 60 m, pero continúa a profundidad. Asimismo en el lote de Playa Azul consiste en cuerpos lenticulares que presentan un alineamiento N70E y es la continuación lateral del cuerpo de Iguana Prieta,

presentando stockwork en ocasiones, brechas de colapso como brechas de mosaico y desquebrajadas; así como brechas de intrusión pertenecientes a brechas angulares a subredondeadas

- La mineralización cerca de la superficie es una típica asociación de goethita-hematita a lo largo de fracturas y *stockworks*. Los óxidos de cobre, principalmente malaquita y brocantita, generalmente aumenta solo cerca de la superficie. La escasa presencia de calcocita aparece solamente en fracturas y en reemplazamientos de minerales máficos. A una profundidad considerable, la calcopirita y la bornita son abundantes con reemplazamientos parciales de calcocita y algunas veces covelita.
- Con base en la petrografía de las alteraciones hipogénicas reconocidas en los barrenos MM-118 y MM-117, así como en los análisis de sondeos aledaños, se evidencia que el cuerpo de Iguana Prieta, entre otros, manifiesta un sobreempalme de la alteración sericítica sobre la alteración potásica aproximadamente desde los 40 m de profundidad lo que representan una manifestación mesotermal somera de un sistema pórfido de cobre (Anexo 4. Perfil de muestreo IP-IP') (Figura 79, 95), asimismo es una importante guía para la exploración del pórfido sepultado.
- Los sistemas de fallas laterales que dividen al cuerpo de La Virgen del de Iguana Prieta, no afectaron la distribución de la mineralización. Sin embargo, el post-fallamiento producido por el emplazamiento del cuerpo intrusivo que se manifiesta en límite del depósito de La Virgen es un punto de partida en el control estructural de varios cuerpos mineralizados que fueron distribuidos sobre el emplazamiento de la cuarzomonzonita-monzonita que se extiende hacia el NW-W más de un 1 km.
- La presencia de alteración potásica en el cuerpo de brechas de Iguana Prieta, representa el inicio de las alteraciones hipogénicas; la presión inducida por los fluidos mineralizantes en la cúpula de la intrusión originó el proceso de brechamiento y la alteración potásica, esta última contemporánea con mineralización temprana de calcopirita, pirita y bornita en diseminaciones. Posteriormente, el pulso de mineralización principal se manifestó por el amplio desarrollo de la alteración cuarzo+sericita.
- En los depósitos de Iguana Prieta, La Virgen y Playa Azul las reservas medidas e indicadas suman 11.4 millones de toneladas con una ley de 0.77% de cobre; el volumen determinado de mineralización hipogénica asciende a 7.66 millones de toneladas con una ley de 0.67% de cobre.
- Los barrenos MM-324, 323 y MM-322 fueron barrenados sobre el halo de alteración propilítica (zona exterior del sistema porfidico) por lo que no pudieron determinar su núcleo (fuente hidrotermal principal); sin embargo

en los tres sondeos se mostro una roca porfídica de composición diorítica que podría ser donde se encuentra el pórfido a profundidades cercanas a los 150 m aproximadamente. Por lo que se recomienda después del levantamiento geológico de campo, realizar un programa de barrenación sobre el empalme de las anomalías de Mo y Cu (Anexo 4), cuya profundidad alcance los 300 m de profundidad, para descubrir el sistema sepultado. Además la barrenación debe extenderse y orientarse hacia el NW hasta llegar a la intersección de la cuarzomonzonita y la anomalía de Mo. (Anexo 1).

- Se recomienda mapeo geológico detallado a escala 1:1000 y en una superficie de un kilometro por 500 m al noroeste, fuera del área de estudio entre el zoneamiento de Cu-Mo (Anexo 1) y un cuerpo de brecha con cuarzo+turmalina+pirita (Anexo 1), con el objeto de localizar blancos de exploración pendientes a identificar el pórfido de cobre.
- En el depósito de La Virgen se sugiere realizar estudios petrográficos de las alteraciones hipogénicas de los barrenos cercanos, para definir las relaciones espacio-temporales entre los depósitos de Iguana Prieta y La Virgen.
- Se recomienda realizar un levantamiento geológico de campo a detalle en escala 1:1000 sobre una superficie de 750x1000 m en el área del prospecto de La Virgen 2, con el propósito de ubicar blancos de exploración, tendientes a incrementar reservas ya que en esta área se muestra gran parte de la anomalía de Cu (Anexo 4).
- Se sugiere realizar un estudio estereoscópico regional a escala 1:12500 para detectar el patrón común de fracturas que se forman en el proceso de formación de las chimeneas de brechas (es común la formación de enjambres de fracturas con un comportamiento anular) para detectar posibles yacimientos relacionados en condiciones epitermales.
- Se recomienda realizar secciones geológicas transversales en el depósito de Playa Azul cada 25 m desde el Este hasta llegar al límite del cuerpo de Iguana Prieta, con base a la información las estructuras mineralizadas, descripción de alteraciones, y litologías de los sondeos aledaños para formar un modelo que compruebe la continuidad de la mineralización con el depósito de Iguana Prieta.
- Se recomienda realizar estudios de la fase fluida, isotopía, difracción de rayos X y geoquímica de las rocas ígneas para precisar el modelo de la mineralización y orientar la exploración en todas sus escalas de observación.

❖ Bibliografía

- ❖ (s.f.). Recuperado el 16 de agosto de 2012, de <http://www.elocal.gob.mx/work/templates/enciclo/michoacan/mpios/16052a.htm>
- ❖ (s.f.). Recuperado el 16 de agosto de 2012, de <http://www.lazaro-cardenas.gob.mx>
- ❖ (IMP), I. M. (1984). Programa de exploración de mineral de hierro. *Subdirección de Tecnología de Exploración* , pp. 40.
- ❖ Aguilera-Franco, M., & Hernández-Romano, U. (2004). Cenomanian-Turonian facies sucesion in the Guerrero-Morelos basin, southern México. *Sedimentary Geology* , 170, 135-162.
- ❖ Alaniz-Alvarez, S. A., Nieto-Samaniego, A. F., Moran-Zenteno, D. J., & Alba-Aldave, L. (2002). Rhyolitic volcanism in extension zone associated with strike-slip tectonics in the Taxco region, southern Mexico. *Journal of Vulcanology and Geothermal Research v.118* , 1-14.
- ❖ Albinson, T. (1973). Breccia pipes of the La Colorada minining área, Zacatecas, México: Unpub, senior thesis., *Macalester College* , 39p.
- ❖ Allen, D. G., Panteleyev, A., & Armstong, A. T. (1976). Galore Creek. *Canadian Inst. Mining Metallurgy Spec. Vol. 15* , 402-414.
- ❖ Armbrust, G. A. (1969). Hydrothermal alteration of a breccia pipe deposit, Tribag mine, Batchawana Bay, Ontario. *Economic Geology* , 551-563.
- ❖ Atkinson, W. W., Kaczmarowaki, J. H., & Erickson, A. J. (1982). Geology of a skarn-breccia orebody at the Victoria mine, Elko County Nevada. *Economic Geology Vol. 77* , 125-128.
- ❖ Baker, E. M., & Andrew, A. S. (1991). Geologic, fluid inclusion, and stable isotope studies of the gold-bearing breccia pipe at Kidston, Queensland, Australia. *ECONOMIC GEOLOGY*, v. 86, , 810-830.
- ❖ Barton, M. D. (1996). Granitic magmatism and metallogeny of southwestern North America. *Transactions of the Royal Society Edinburgh: Earth Scieces* , 261-280.
- ❖ Bird, P. (2003). An updated digital model of plate boundaries. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, v.4, n.3 , p.1027.
- ❖ Blecha, M. (1974). Batchawana area -A possible Precambrian porphyry copper district. *Canadian Mining Metall Bull.*, v.67 num.748 , 71-76.
- ❖ Briskey, J. A., & Bellamy, J. R. (1976). Bethlehemm Copper's Jersey, East Jersey, Huestis and Iona deposits. *Canadian Inst. Mining Metallurgy Spec. Vol. 15* , 105-119.
- ❖ Burckhardt, C., & Scalia, S. (1906). Geologie des environs de Zacatecas:. *International Geological Congress, 10th, Excursión Guidebook 16* , 26.
- ❖ Cabral Cano, E., Draper, G., Lang, H. R., & Harrison C., G. A. (2000a). Constraining the Late Mesozoic and Early Tertiary tectonic evolution of southern Mexico: structurw and deformation history of the Tierra Caliente region. *The Journal of Geology v.108* , 427-446.
- ❖ Campa, M. F., & Coney, P. J. (1983). Tectono-estratigraphic terranes and mineral resource distributions in Mexico. *Canadian Journal of Hearth Sciences*, v.20 , 1040-1051.
- ❖ Campa, M. F., Oviedo, R., & Tardy, M. (1976). La cabalgadura laramidica del dominio volcano-sedimentario (Arco de Alisitos-Teloloapan) sobre el miogeosinclinal mexicano en los límites de los estados de Guerrero y México. *Tercer Congreso Latino-Americano de Geología, Resumenes* , 23.
- ❖ Campa, M. F., Ramírez, J., & Bloome, C. (1982). La secuencia volcanicosedimentaria metamorfozada del Triásico (Ladiniano-Cárnico) de la región de Tumbiscatio, Michoacan. *Sociedad Geológica Mexicana, VI Convención Geológica Nacional* , 6 resúmenes, 48 p.
- ❖ Campa-Uranga, M. F., Ramirez, J., & Bloome, C. (1982). La secuencia vulcanico-sedimentaria metamorfozada del Triásico (Ladiniano-Cárnico) de la región de Tumbiscatio, Michoacán. *Sociedad Geológica Mexicana, Convención Geológica Nacional, 6a, Abstract* , 48.
- ❖ Cargill, D. G., Lamb, J., Young, M. J., & Rugg, E. S. (1976). Island copper . *Canadian Inst. Mining metallurgy Spec. Vol. 15* , 206-218.
- ❖ Centeno-García, E. (1994). *Tectonic evolution of the Guerrero Terrane, Western Mexico:[Tesis de doctorado]*. Ciudad de México: University of Arizona.
- ❖ Centeno-García, E., & Silva-Romo, G. (1997). Petrogenesis and tectonic evolution of central México during Triassic-Jurassic time. *Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 14 , 244-260.
- ❖ Centeno-García, E., Corona-Chavez, P., Talavera-Mendoza, O., & Iriondo, A. (2003). Geological and tectonic evolution of the western Guerrero terrane a transect from Puerto Vallarta to

Zihuatanejo, México. *Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Publicación Especial 1* , 201-228.

- ❖ Centeno-García, E., Guerrero-Suastegui, M., & Talavera-Mendoza, O. (2008). The Guerrero Composite Terrane of western Mexico: collision and subsequent rifting in a suprasubduction zone. *Geological Society of America Special Paper* .
- ❖ Centeno-García, E., Ruiz, J., Patchett, P. J., & Ortega-Gutierrez, F. (1993b). Guerrero Terrane-Its role in the evolution southern Cordillera from new geochemical data: *Geology*, *21* , 419-423.
- ❖ Cerca, M., Ferrari, L., Bonini, M., Corti, G., & Manetti, P. (2004). The role crustal heterogeneity in controlling vertical coupling during Laramide shortening and development of the Caribbean-North America boundary in southern Mexico. *Geological Society, Special publication 227* , 117-140.
- ❖ Cerca, M., Ferrari, L., Corti, G., Bonini, M., Tolson, G., & Manetti, P. (2008). Geological evolution of southern margin of México (Xolapa Complex) during the Early Tertiary. *Geological Society, London, Special Publication* .
- ❖ Cerca, M., Ferrari, L., Lopez Martínez, M., Martiny, B., & Iriando, A. (2007). Late Cretaceous shortening and early Tertiary shearing in the central Sierra Madre del Sur, southern Mexico: Insights into the evolution of the Caribbean-North American plate interaction. *Tectonics*, *v.26* , doi:10.1029/2006TC001981.
- ❖ Compañía Minera Cuicuilco. (1979). *Estudios petrográficos de dos muestras de roca (reporte inédito)*. Lázaro Cárdenas, Michoacán: Compañía Cuicuilco.
- ❖ Compañía Minera Montoro. (2010). *Estudio tecnificado de Uso de Suelos (reporte inédito)*. Lázaro Cardenas, Michoacán: Minera Montoro.
- ❖ Corbett, G., & Leach, T. (1997). Southwest Pacifics rim gold-copper, structure, alteration and mineralization. *Corbett Geological Services* , 57-79.
- ❖ Corona-Esquivel, R. (2004). Modelo magmático del yacimiento de fierro, Peña Colorada, Colima. *Instituto de Geología, UNAM, Boletín 113* .
- ❖ Cuevas-Pérez, E. (1983). The geological evolution of the Mesozoic in the State of Zacatecas Mexico. *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie, Teil I: Allgemeine, Angewandte: Regionale und Historische Geologie, v.1* , 190-201.
- ❖ Cummings, R. B. (s.f.). Geology of the Sacaton porphyry copper deposit: Pinal County Arizona. *Arizona Press* , 507-521.
- ❖ Dickinson, W. R., & Lawton, T. F. (2001). Carboniferous to Cretaceous assembly and fragmentation of Mexico. *Geological Society of America Bulletin*, *v.113* , 1142-1160.
- ❖ Dickinson, W. R., Klute, M. A., Hayes, M. J., Janecke, S. U., Lundin, E. R., McKittrick, M. A., y otros. (1988). Paleogeographic and paleotectonic setting of Laramide sedimentary basins in the central Rocky Mountain region. *Geological Society American Bulletin v.100* , 1023-1039.
- ❖ Dunn, P. G. (1982). Geology of the Copper Flat porphyry copper deposit: Hilsboro Sierra County, New México. *Advances in geology of the porphyry copper deposits, southwestern North America: Tucson, Univ. Arizona Press* , 313-325.
- ❖ E., C.-G. (1994). Tectonic evolution of the Guerrero Terrane, Western, México. *University of Arizona* .
- ❖ Eguiluz de Antuño, S., Aranda-García, M., & Marrett, R. (2000). Tectónica de la Sierra Madre Oriental, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, *v.53* , 1-26.
- ❖ Elías-Herrera, M., & Ortega-Gutierrez, F. (1998). The early Cretaceous Arperos oceanic basin (western Mexico). Geochemical evidence for an aseismic ridge formed near a spreading center. *Tectonophysics* , *292*, 321-326.
- ❖ Ferrusquia-Villafranca, I., Shelton, P. A., & Espinosa-Arrubarrena, L. (1978). Rocas vulcanosedimentarias mesozoicas y huellas de dinosaurios en la región suroccidental pacífica de México. *Revista de la Universidad Nacional de México, Instituto de Geología*, *v.2*, *n.2* , 150-162.
- ❖ Frank, M. M., Kraitzen, M. J., Negendank, J. F., Boehnel, H., & Terrell, D. (1991). Geología y tectónica en el Terrano Guerrero (México Sur). *Tercer Congreso de España y VIII Congreso Latinoamericano de Geología, Salamanca, Actas tomo 4* , 290-293.
- ❖ Garduño M. V. H., C. C., Garduño, M. V., Corona, C. P., Israde, A. I., Menelle, L., Arreygue, y otros. (1999). Carta Geológica de Michoacán, escala 1:250,000. *UMSNH* , PP. 108.
- ❖ Garduño-Monroy, V. H., Corona-Chávez, P., Israde-Alcántara, I., Mennella, L., Arreygue, E., Bigioggero, B., y otros. (1999). *Carta geológica del estado de Michoacan, escala 1:250,000*. Morelia: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

- ❖ Grajales, M., & López, M. (1984). *Estudio petrogenético de las rocas ígneas y metamórficas en el Prospecto Tomatlan-Guerrero-Jalisco*. Ciudad de México: Instituto Mexicano del Petróleo, Subdirección de Tecnología y Exploración, Proyecto C-1160 (Unpublished).
- ❖ Guerrero-Suastegui, M. (1997). *Depositional History and Sedimentary Petrology of the Huetamo Sequence, Southwestern Mexico [Tesis de Maestría]*. Texas: University of Texas, El Paso.
- ❖ Gustafson, L. B., & Hunt, J. P. (1975). The porphyry copper deposit at El Salvador, Chile. *ECONOMIC GEOLOGY*, v. 70, , 857- 912.
- ❖ Hernández-Romano, U. (1999). *Facies stratigraphy and diagenesis of the Cenomanian-Turonian of the Guerrero-Morelos Platform, southern México [Tesis de Doctorado]*. University of Reading, Reading UK.: Postgraduate Research Institute for Sedimentology.
- ❖ INEGI. (2005). *Anuario Estadístico del Estado de Michoacán de Ocampo*. Ciudad de México: Instituto de Estadística , Geografía e Informática.
- ❖ INEGI. (1983). *Carta Geológica E13-6-9, Lázaro Cardenas, Esc. 1:250,000*. Distrito Federal: Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEGI), Dirección general de Estadística.
- ❖ Johnston, W. P., & Lowell, J. D. (1961). Geology and origin of mineralized breccia pipes in Copper Basin, Arizona. *Economic Geology* v.56 , 916-940.
- ❖ Jones K., B. (2005). *Exploration results from the La Balsa Project (reporte inédito)*. Lázaro Cárdenas, Michoacán: Minera Montoro.
- ❖ Jones, K. B. (2008). *La Balsa project Geology and drilling results 2006-2007*. Lázaro Cardenas, Michoacán: Rogue Rivers Resources.
- ❖ Joralemon, I. B. (1961). Age cannot wither or varieties of geological experience. *Economic Geology*, v.47 , 243-259.
- ❖ Kemp, A. S., & Hawkesworth, C. J. (2004). Granitic perspectives on generation and secular evolution of the continental crust in Rudnick, R. L. (ed.). *Treatise on geochemistry, volume 3, The crust Amsterdam Elsevier* , 349-410.
- ❖ Kooiman, G. J., McLeod, M. J., & Sinclair, W. D. (1984). The porphyry W-Mo deposit and associated Sn and polymetallic zones in the Fire Tower zone, Mount Pleasant New Brunswick, Canada. *Geol. Soc. America Abstract with Programs* v.16 , 565 p.
- ❖ Kraitzeisen, M. J., Frank, M. M., Negendank, J. F., Boehnel, H., & Terrell, D. (1991). The continental margin of southern Mexico tectonic evolution during the Tertiary. *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie, Teil I. Allgemeine Angewandte, Regionale und Historische Geologie*, 6 , 1545-1555.
- ❖ Kunn, T. H. (1941). Pipe deposit of the Copper Creek area, Arizona. *Economic Geology* , 512-538.
- ❖ Le Maitre, R. W. (2002). *Igneous Rocks. A Classification and Glossary of Terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks. Cambridge University Press* .
- ❖ Leonardson, R. W., Molling, P. A., & Osborne, L. W. (1984). Geology and geochemistry of molybdenite mineralization at Questa, New Mexico. *Am. Ins.Mining Metall Petroleum Engineers Preprint* , 84-77,2 p.
- ❖ Locke, A. (1926). The formation of certain ore bodies by mineralization stoping . *Economic Geology* v. 21 , 431-453.
- ❖ M., T. M.-S. (2000). Geochemistry and isotopic composition of the Guerrero Terrane (western Mexico): implication for the tectono-magmatic evolution of southwestern North America during the Late Mesozoic. *Journal of South Am. Earth Science*, v.13 , 297-324.
- ❖ Martini, M. (2008). *Estratigrafía , deformación y magmatismo de la región comprendida entre Huetamo y Zihuatanejo (Michoacan-Guerrero): implicaciones para la evolución tectónica del sur de México durante el Cretácico y el Terciario temprano*. Distrito Federal: Universidad Nacional Autónoma de México.
- ❖ Mc Innes, B. I., McBride, J. S., Evans, N. J., Lambert, D. D., & Andrew, A. S. (1999). Osmium isotope constraints on ore metal recycling in subduction zones . *Science* , 286, 512-16.
- ❖ Meinert, L. D. (1982). Skarn, manto, and breccia pipe formation in sedimentary rocks of the Cananea mining district, Sonora, México. *Economic Geology* v. 77 , 919-949.
- ❖ Meschede, M., Frisch, W., Herrmann, U. R., & Raschbacher, R. (1997). Stress transmission across an active plate boundary: an example for southern Mexico. *Tectonophysics*, v.266 , 81-100.
- ❖ Miranda-Gasca, M. A. (Octubre de 2000). The metallic ore-deposits of the Guerrero Terrane, western México. *Journal of South American Earth Sciences Volume 12* , 4-5.

- ❖ Monod, O., & Calvet, P. (1991). Structural and stratigraphic reinterpretation of the Triassic units near Zacatecas, Zac., Central Mexico: Evidence of a Laramide nappe pile.: *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie, Teil I: Allgemeine, Angewandte: Regionale und Historische Geologie, v.1* , 1533-1544.
- ❖ Moran-Zenteno, D. J., Cerca, M., & Keppie, J. D. (2005). La evolución tectónica y magmática cenozoica del suroeste de México: avances y problemas de interpretación. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Volumen conmemorativo del Centenario, tomo VIII, n.3* , 319-341.
- ❖ Moran-Zenteno, D. J., Corona-Chavez, P., & Tolson, G. (1996). Uplift and subduction erosion in southwestern Mexico since the Oligocene: pluton geobarometry constraints. *Earth and Planetary Science Letters, v.141* , 51-65.
- ❖ Morán-Zenteno, D. J.-P.-A.-B.-S., Moran-Zenteno, D. J., Martiny, B., Tolson, G., Solís-Pichardo, G. N., Alba-Aldave, L., y otros. (2000). Geocronología y características geoquímicas de las rocas magmáticas terciarias de la Sierra Madre del Sur. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, v.LIII* , 27-58.
- ❖ Nieto-Samaniego A. F., A.-Á. S.-R.-C.-R. (2006). Latest Cretaceous to Miocene deformation events in the eastern Sierra Madre del Sur, México, inferred from the geometry and age of major structures. *GSA Bulletin v.118 n. 1/2* , 1868-1882.
- ❖ Nieto-Samaniego, A. F., Alaniz-Alvarez, S. A., Silva-Romo, G., Eguiza-Castro, M. H., & Mendoza-Rosales, C. C. (2006). Latest Cretaceous to Miocene deformation events in the eastern Sierra Madre del Sur, Mexico, inferred from the geometry and age of major structures. *GSA Bulletin v.118, n.1/2* , 1868-1882.
- ❖ Norman, D. I., & Sawkins, F. J. (1985). The Tribag breccia pipes: Precambrian Cu-Mo deposits, Batchawana, Ontario. *Economic Geology* , 1593-1621.
- ❖ Orr, T. (1995). The Mt Leyshon Gold Mine: Geology and mineralization, in Beams, S., ed., Mineral Deposits of Northeast Queensland, Australia. *Economic Geology Research Unit, James Cook University, EGRU Contribution, 52* , 116-136.
- ❖ Pantoja Alor, J. (1986). Siete edades geocronométricas cenozoicas de la cuenca media del Río Balsas. *Primer Simposio Geología Regional de México, Resúmenes: México D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología* , 60-61.
- ❖ Paull, P. L., Hodkinson, I. P., Morrison, G. W., & Teale, G. S. (1990). Mount Leyshon gold deposit, in Hughes, F.E., ed., Geology of the mineral deposits of Australia and Papua New Guinea.: *Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Monograph 14* , 1471-1481.
- ❖ Perry, V. D. (1935). Copper deposits of the Cananea district, Sonora, México. *Copper resources of the world v.1, International Congress. 16 th, Washington D.C.* , 413-418.
- ❖ Phillips, W. J. (1972). Hydraulic fracturing and mineralization. *Journal of the Geological Society of London, Vol. 128* , 337-359.
- ❖ Phillips, W. J. (1973). Mechanical effects of retrograde boiling and its probable importance in the formation of some porphyry ore deposits. *Transactions Inst. Mining and Metallurgy (section B: Appl. Earth Sci.)* , p. B90-98.
- ❖ Pimentel, B. F. (1979). El Bolsico, depósito de cobre y molibdeno tipo chimenea de brecha con turmalina, Provincia del Huasco, III Región, Chile. *Cong. Geo. Chileno, 2nd, Arica, Actas* , p. C401-C417.
- ❖ Pitcher, W. S. (1993). The nature and origin of granite. *London, Blackie Academic and Professional* , 321 p.
- ❖ Quinlan, J. J. (1981). Geology and silicate-sulfide alteration zoning at the red Mountain porphyry copper deposit, Santa Cruz County, Arizona. *Arizona Geol. Soc. and Univ. Arizona, Mine tour and field trip 8, Patagonia-Red Mountain-Hardshell deposits* , 4-25.
- ❖ Ranson, W. A., Fernandez, L. A., Simmons, W. B., & De La Vega, E. S. (1982). Petrology of the metamorphic rocks of Zacatecas, MÉXICO. *Sociedad Geológica Mexicana, v. 43* , 37-59.
- ❖ Rico, B. S. (2008). *Exploration results from the La Balsa Project. Technical Report La Balsa Copper Project Norm. 403-101.* Lázaro Cárdenas, Michoacán: Compañía Rogue Rivers Resources.
- ❖ Robb, L. (2005). *Introduction to ore forming processes.* USA: Blackwell Publishing.
- ❖ Rzedowski, J. (1978). *Vegetación de México.* México D.F. 432 pp.: Editorial Limusa.
- ❖ Rzedowski, J. (1978). *Vegetación de México.* México D.F: Limusa.

- ❖ SAG. (4 de Julio de 1974). Piensa usted hacer un Inventario Forestal. *Folleto Técnico Num. 27, Volumen II*. Distrito Federal, Distrito Federal, Mexico: Dirección General de Inventario Nacional Forestal. Subsecretaría Forestal y de la Fauna de la Secretaría de Agricultura y Ganadería.
- ❖ SAG. (1976). *Procedimientos Básicos para Inventarios Forestales con fines de aprovechamiento maderables*. Dirección General de Inventario Nacional Forestal. Subsecretaría Forestal y de la Fauna de la Secretaría de Agricultura y Ganadería. México D.F.: Dirección General de Inventario Nacional Forestal.
- ❖ Salinas-Prieto J. C., M. O. (2000). Ductile deformations of opposite vergence in the eastern part of the Guerrero Terrane (SW México). *Journal of South American Earth Science*, v. 13 , 389-402.
- ❖ Salinas-Prieto, J. C., Monod, O., & Faure, M. (2000). Ductile deformations of opposite vergence in the eastern part of the Guerrero Terrane (SW Mexico). *Journal of South American Earth Science*, v.13 , 389-402.
- ❖ Sawkins, F. J. (1979). Fluid inclusion studies of the mineralized breccia pipes, Michoacan, Mexico. *Economic Geology* v.74 , 924-927.
- ❖ Schaaf, P. (1990). Isotopengeochemische Untersuchungen an Granitoiden Gesteinen eines aktiven Kontinentalrandes. Alter und Herkunft der Tiefengesteinskomplexe an der Pazifikküste Mexikos zwischen Puerto Vallarta und Acapulco [Tesis de doctorado]. *Ludwig-Maximilians Universität, München*.
- ❖ Scherckenbach, D. A., Sawkins, F. J., & Seyfried, W. E. (1985). Geologic, fluid inclusion, and geochemical studies of mineralized breccias of Comumbabi, Sonora, México. *Economic Geology* , 1566-1592.
- ❖ Servicio Geológico Mexicano. (2002). *Carta Geológica-minera E13B06 Lázaro Cárdenas, Michoacán*. Pachuca, Hidalgo: Servicio Geológico Mexicano.
- ❖ Servicio Geológico Mexicano. (2000). *Informe final Carta Geologica Lázaro Cardenas Michoacán E13-D19*. Pachuca, Hidalgo: Servicio Geológico Mexicano.
- ❖ Servicio Geológico Mexicano. (Julio 2006). *Panorama minero del estado de Michoacán*.
- ❖ SGM. (2002). *Carta Geológica (Playa Azul), Esc. 1:50,000*. Pachuca: Servicio Geológico Mexicano.
- ❖ Sillitoe H., R. (1985). Ore-related Breccias in Vulcanoplutonics Arcs. *Economic Geology Vol.80* , 1467-1485.
- ❖ Sillitoe, R. H. (1976). A reconnaissance of the Mexican Porphyry copper belt. *Ins. Mining Metallurgy Trans* v. 85 sec. B , p.B170 -B189.
- ❖ Silva-Romo, G. (2008). Guayape-Papalutla fault system: A continuous Cretaceous structure from southern Mexico to the Chortis block? Tectonic implications. *Geology*, v.36, n.1 , 75-78.
- ❖ Simmons, S. F., & Sawkins, F. J. (1983). Mineralogic and fluid inclusion studies of the Washington Cu-Mo-W bearing pipe Sonora, México. *Economic Geology* v.78 , 521-526.
- ❖ Simons, P. K., Drake, A. A., & Tooker, E. W. (1964). Geology of the Klondyke quadrangle, Graham and Pinal Counties, Arizona. *U.S. Geological Survey Prof. Paper* , 461,173p.
- ❖ Soregaroli, A. E. (1975). Geology and genesis of the Boss Mountain molybdenum deposit, British Columbia. *Economic Geology* v.70 , p. 4-14.
- ❖ Soregaroli, A. E., & Nelson, W. I. (1976). Boss Mountain. *Canadian Inst. Mining Metallurgy Spec. Vol.15* , 432-443.
- ❖ Talavera Mendoza, O. (2000). Melange in southern Mexico: geochemistry and metamorphism of the Las Ollas Complex (Guerrero Terrane). *Canadian Journal of Earth Science*, v.13, n.4 , 337-354.
- ❖ Talavera Mendoza, O. R.-G. (2007). Detrital zircon U/Pb geochronology of southern Guerrero and western Mixteca arc successions (southern Mexico): New insights for the tectonic evolution of the southwestern North America during the late Mesozoic. *GSA Bulletin*, v. 119 , 1052-1065.
- ❖ Talavera-Mendoza, O., Ruiz, J., Gehrels, G. E., Valencia, V. A., & Centeno-García, E. (2007). Detrital zircon U/Pb geochronology of southern Guerrero and western Mixteca arc successions (southern Mexico): new insights for the tectonic evolution of southwestern North America during Late Mesozoic. *Geological Society of America*, v. 119, no. 9/10 , p.1052-1065.
- ❖ Thoms, J. A. (1978). Textural variations and mineral zoning of the Pilares breccia pipe, Nacoziari mining district, Sonora, Mexico. *Arizona Geol. Soc. Digest* v.11 , p.143.
- ❖ Tolson-Jones, G. (1998). Deformación, exhumación y geotectónica de la margen continental de Oaxaca: datos estructurales, petrológicos y geotermobarométricos [Ph.D. Tesis]. *Universidad Nacional Autónoma de México, Colegio de Ciencias y Humanidades, Unidad Académica de los Ciclos Profesionales y De Posgrado, Posgrado en Geofísica, México D.F.* , 98 pp.

- ❖ U., H. R. (1999). *Facies stratigraphy and diagenesis of Cenomanian-Turonian of the Guerrero-Morelos Platform, southern Mexico [Tesis de Doctorado]*. Reading, UK: Postgraduate Research Institute for Sedimentology Geology, University of Reading.
- ❖ Vidal Serratos, R. (1991 a). Estratigrafía y tectónica de la región de Zihuatanejo, Estado de Guerrero, Sierra Madre del Sur. *Primer Congreso Mexicano de Mineralogía, Pachuca Memoirs* , 231-233.
- ❖ Vidal-Serratos, R. (1986). Tectónica de la región de Zihuatanejo, Guerrero, Sierra Madre del Sur:[Tesis de Licenciatura]. 155pp.
- ❖ Wade, W. R., & Wandtke, A. (1920). Geology and mining methods at Pilares mine. *Inst. Mining Metall. Engineers Trans.v. 63* , 382-407.
- ❖ West, R. J., & Aiken, D. M. (1982). Geology of the Sierrita-Esperanza deposit: Pima County, Arizona in- Titley, S.R. ed. *Advances in geology of the porphyry copper deposit, southwestern North America: Tucson Univ. Arizona Pres* , 433-465.
- ❖ Wright, J. V. (1983). The Ortiz Gold deposit (Cunningham Hill)-Geology and exploration. *Nevada Bur. Mines Geolgy Rept. 36* , 42-51.

ANEXOS