



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Exploración Geológico Minera del proyecto Las Minas

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de
Ingeniero Geólogo

P R E S E N T A

José Luis Pérez Cruz

ASESOR DE INFORME

Ing. Miguel I. Vera Ocampo



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., Septiembre 2018

Contenido

Resumen	1
Introducción.....	2
Objetivo	3
Antecedentes.....	4
Método de trabajo	6
1 Generalidades.....	11
1.1 Localización.....	11
1.2 Vías de comunicación.....	12
1.3 Infraestructura.....	13
1.4 Clima y vegetación	14
1.5 Actividades económicas	14
2 Fisiografía	15
2.1 Provincia fisiográfica.....	15
2.2 Rasgos orográficos.....	16
2.3 Cuenca hidrológica.....	16
3 Geología	17
3.1 Marco geológico	17
3.2 Secuencia litológica y estructura	18
3.3 Evolución tectónica.....	21
4 Tipo de yacimiento.....	23
4.1 Mineralogía de los skarn.....	25
5 Trabajos de exploración	27
5.1 Zona El Dorado.....	28
5.1.1 Ubicación.....	28
5.1.2 Geología	29
5.1.3 Estratigrafía	30
5.1.4 Alteraciones.....	32
5.1.5 Muestreo de esquirlas (Chip sample)	32
5.1.6 Barrenación	33

5.2	Zona Las Boquillas	35
5.2.1	Ubicación	36
5.2.2	Geología	37
5.2.3	Estratigrafía y estructura.....	38
5.2.4	Alteraciones.....	40
5.2.5	Muestreo de esquirlas (Chip sample)	40
5.2.6	Barrenación	42
5.3	Zona El Changarro	43
5.3.1	Ubicación.....	43
5.3.2	Geología	44
5.3.3	Estratigrafía	45
5.3.4	Alteraciones.....	46
5.3.5	Muestreo de esquirlas (Chip sample)	46
5.3.6	Barrenación.	47
5.4	Zonas complementarias (Santa Cruz-Nopaltepec)	48
5.4.1	Ubicación	48
5.4.2	Geología	49
5.4.3	Barrenación	50
5.5	Análisis de Resultados	53
Conclusiones.....		56
Fuentes de información.....		58

Relación de figuras

<i>Figura 1.1 – Localización del área de estudio.....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 1.2 – Vías de comunicación desde Perote hacia Las Minas</i>	<i>12</i>
<i>Figura 2.1 – Ubicación del área de estudio “Las Minas” dentro de la provincia fisiográfica Eje Neovolcánico.</i>	<i>15</i>
<i>Figura 2.2 – Ubicación del área de estudio y poblado de Las Minas</i>	<i>16</i>
<i>Figura 3.1 – Mapa de Provincias geológicas de México y detalle de la zona de estudio.</i>	<i>18</i>
<i>Figura 3.2 – Columna litológica de la zona de estudio y zonas aledañas al Proyecto Las Minas..</i>	<i>21</i>
<i>Figura 4.1 – Zonación general de los depósitos tipo skarn, que muestra la geometría del contacto del plutón hacia donde se transporten los fluidos, Gar=granate, Pyx=Piroxeno.</i>	<i>24</i>

<i>Figura 4.2 – Zonación de las asociaciones minerales de un típico skarn (Ely, Nevada y las Minas): And. Andradita; Ac. Actinolita; Bio. Biotita; Ca. Calcita; Di. Diopsida; K-Fs. Feldespato potásico secundario; Non. Nontronita; Q. Cuarzo; Sap. Saponita; Sid. Siderita; Tc. Talco; Tr. Tremolita; Wo. Wollastonita.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 5.1 – Mapa General de ubicación de las zonas de exploración</i>	<i>27</i>
<i>Figura 5.2 – Mapa Geológico del área de estudio.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 5.3 – Localización de zona de El Dorado</i>	<i>29</i>
<i>Figura 5.4 – Mapa geológico El Dorado.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 5.5 – Ejemplo de lugar y dirección de barrenos en la zona de El Dorado.</i>	<i>34</i>
<i>Figura 5.6 – Zona en verde de Las Boquillas al este del pueblo de Las Minas</i>	<i>36</i>
<i>Figura 5.7 – Mapa geológico del área de Las Boquillas.</i>	<i>37</i>
<i>Figura 5.8 – Zona de El Chango, las minas de mayor importancia fueron El Chango y El Alto.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 5.9 – Geología de la zona alta de El Chango.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 5.10 – Mapa de ubicación de las áreas al sur-suroeste.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 5.11 – Mapa de geológico del área Nopaltepec y Santa Cruz</i>	<i>50</i>
<i>Figura 5.12 – Ejemplo de Sección con las rocas perforadas en la zona de Santa Cruz.</i>	<i>52</i>
<i>Figura 5.13 – Vista en planta del Modelo 3D del área de estudio Las Minas</i>	<i>54</i>
<i>Figura 5.14 – Modelo 3D del área de estudio Las Minas.....</i>	<i>55</i>

Relación de ilustraciones

<i>Ilustración A – Método de trabajo</i>	<i>6</i>
--	----------

Relación de fotografías

<i>Fotografía 1.1 – Planta hidroeléctrica “Las Minas”</i>	<i>13</i>
<i>Fotografía 1.2 – Centro de salud “Las Minas”</i>	<i>13</i>
<i>Fotografía 5.1 – a). Skarn de grosular con calcopirita en contacto con un dique de dacita. b). El Dorado 4, y grosular en bandas finas de magnetita con calcopirita.</i>	<i>32</i>
<i>Fotografía 5.2 – Marcado de zonas de muestreo (izquierda) y obtención de muestra evitando contaminar el contenido con pintura.....</i>	<i>33</i>
<i>Fotografía 5.3 – Muestra de 10 cm mineralizada de la zona de El Dorado</i>	<i>35</i>
<i>Fotografía 5.4 – Muestreo en Boquillas 2 y detalle de las muestras marcadas para su control.....</i>	<i>41</i>

<i>Fotografía 5.5 – Parte del muestreo de esquirla donde se observa el imán atraído por la magnetita</i>	<i>41</i>
<i>Fotografía 5.6 – En la imagen de la izquierda como de la derecha se observa la lixiviación de mineral de cobre en tonalidades azules en la roca con presencia de calcopirita y pirita en una roca compuesta por granate de color pardo.</i>	<i>41</i>
<i>Fotografía 5.7 – Obra minera antigua el changarro y del detalle de la mineralización en el mármol.....</i>	<i>47</i>
<i>Fotografía 5.8 – Superficie de falla La Garma. Zona Santa Cruz</i>	<i>52</i>
<i>Fotografía 5.9 – Estrías y escalones de falla lateral derecha próxima mina La Garma</i>	<i>53</i>
<i>Fotografía 5.10 – Escalones de falla normal La República en la zona Santa Cruz.....</i>	<i>53</i>

Relación de Tablas

<i>Tabla 5.1 – Resultados de las muestras de canal El Dorado.</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 5.2 – Ejemplo de direcciones en las perforaciones de El Dorado.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 5.3 – Resultados significativos de la primera fase de barrenación en El Dorado.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 5.4 – Resultados más relevantes de las muestras de esquirla en Las Boquillas Fuente:</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 5.5 – Ejemplo de disposición de los barrenos. Referencia: Archivo de mapas</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 5.6 - Los resultados se presentaron en las 5 perforaciones desde LB-01 hasta LB-05.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 5.7 – Valores promedio de exterior e interior mina en obra antigua El Changarro.</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 5.8 – Ejemplo de la disposición de las perforaciones.</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 5.9 – Resultados de la zona de El Changarro más significativos.</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 5.10 – Mejores valores encontrados en los barrenos de la zona.</i>	<i>51</i>

Resumen

En el año 2010 se iniciaron los acercamientos entre la empresa de origen canadiense Source Exploration Corp., empresa “Junior” que se enfoca en exploración geológica minera, y el Ing. Jesús Castro M. Resultado de este acercamiento, la empresa se interesó en explorar la zona de Las Minas en el estado de Veracruz, Las Minas se encuentran a 21 km al noreste de la ciudad de Perote Veracruz, por lo que a finales del 2010 se realizó una visita primaria de reconocimiento y muestreo preliminar de esquilas, de este muestreo se obtuvieron muestras de interior y exterior mina, obteniéndose valores positivos de oro, plata y cobre principalmente lo que motivó a inicios de 2011, el comienzo de los trabajos de exploración en cartografía geológica minera y se continuó con muestreo de esquilas en zonas alrededor de Las Minas, los resultados del muestreo fueron positivos nuevamente por lo que se iniciaron trabajos de barrenación en la zona de Las Boquillas, El Dorado, Santa Cruz, El Chango, El Llanillo, entre otras.

La geología de la zona está representada por rocas de edad variable que van del Mesozoico al Reciente. Las rocas del Mesozoico son calizas de la Formación Orizaba, del Albiano – Cenomaniano (CRM, 1994), deformadas y erosionadas antes del depósito de rocas ígneas del Terciario. El Terciario Inferior está presente con conglomerados polimícticos resultado de la erosión de las rocas cretácicas y rocas volcánicas de composición dacítica.

El Mioceno está representado por rocas ígneas intrusivas de composición desde gabroica a granítica con predominancia de dioritas con una edad de 12.5 Ma (Ar/Ar) (Dorantes C. et al., 2016) que afectaron a las rocas mesozoicas preexistentes y generaron, por medio de contacto y reemplazamiento, a las rocas metamórficas también del Mioceno, según fechamientos por Alexander Iriondo de la mica de cromo de nombre fugsita de la parte distal o retrogrado de la mineralización tipo skarn que arrojó una edad aproximada de 7 Ma (Castro-Mora, comunicación personal de 2015). Las rocas metamórficas alojan una mineralización importante de óxidos y sulfuros en donde el Cu y el Au son los elementos más importantes, en una mena que se compone de magnetita, calcopirita y bornita.

Introducción

El presente informe de actividades fue realizado enfocándome en la primera instancia del proyecto desde el primer acercamiento en donde el tipo de depósito mineral que se buscaba era el tipo *skarn* y después se enriqueció con información que la empresa canadiense hizo pública en su página de internet, de igual modo se tomó como referencia trabajos posteriores en donde se le da un enfoque de depósito “skarn tipo IOCG”, sin embargo el presente informe se centra en el depósito tipo *skarn*, ya que fue donde participé directamente.

México es uno de los países con importancia minera en el mundo, que data desde la época precolombina y posterior a la conquista. En aquella época los depósitos minerales eran encontrados y explotados de manera rudimentaria, por lo que al terminarse la mineralización más evidente y accesible los trabajos extractivos cesaban, dando lugar al abandono de las obras y postergando o abandonando también, la oportunidad de encontrar un yacimiento mineral. Para el caso de Las Minas, los reportes que se consultaron indican la presencia de una mineralización de tipo skarn, donde los cuerpos intrusivos entran en contacto con rocas calizas, lo que provocó que en la vecindad del contacto entre estos tipos de roca se depositaran minerales como sulfuros de cobre y óxidos de hierro, además de oro.

Las combinaciones de procesos geológicos (exógenos y endógenos de tipo metamórficos) dieron lugar a una zona con las características físicas y químicas de las rocas que interactuaron en la mineralización que es observada en superficie. Es posible que estos fenómenos puedan replicarse en otras áreas aún no descubiertas, tanto en superficie como a profundidad.

En la región de Las Minas existen alrededor de 30 obras mineras antiguas y, prácticamente todas, muestran la existencia de mineral de cobre en un depósito tipo skarn, por lo que es importante buscar las características minerales marcadas en las rocas que generaron al mármol y al skarn, ya que es en donde se puede encontrar la mineralización importante de sulfuros de cobre y oro, en asociación con magnetita. Estos datos fueron obtenidos mediante la exploración directa, en superficie y con barrenación a diamante, los resultados de laboratorio del muestreo superficial como los de núcleos de roca mostraron tal característica. Además, se tienen antecedentes de buenas leyes de oro, cobre y plata en menor proporción, en el área cerca al poblado de Las Minas, pero ninguna con barrenación a diamante, por lo que hasta antes de este trabajo de exploración iniciado en el año 2010, no se contaba con información del subsuelo, información con lo que ahora se puede dar seguimiento y programar futuras perforaciones para descartar o extender la continuidad de la zona mineralizada.

Objetivo

El objetivo del presente trabajo consistió en identificar sitios de mineralización para proponer un programa de barrenación a diamante con el fin de confirmar y/o actualizar los datos sobre los recursos de mineral inferido en los trabajos de exploración en el proyecto Las Minas, en el estado de Veracruz.

Antecedentes

Los trabajos mineros en la región de Las Minas se remontan al periodo azteca cuando los pueblos indígenas de la zona extraían oro para pagar impuestos al imperio azteca. Tiempo después el distrito fue explotado desde la época colonial por los españoles hasta la Revolución Mexicana. (Rangel, comunicación personal, 15 de Julio 2011)

Treinta obras mineras fueron explotadas a pequeña escala, éstas presentaban muy buenas leyes y se mantuvieron operando en el distrito minero entre los años 1870 y 1911. El mineral que se fundió en Las Minas variaba su ley del 15 al 30 por ciento de cobre y de 20 a 40 gramos por tonelada de oro. (Rangel, comunicación personal, 15 de Julio 2011)

La región estuvo inactiva desde 1910 hasta la década de 1970 cuando el Consejo de Recursos Minerales (CRM, actualmente Servicio Geológico Mexicano SGM) evaluó el área. Para 1980, se obtuvo una ley de oro de 4 g/t; plata 116 g/t y cobre de 3 %; en las minas Las Boquillas, San José de Las Minas y El Dorado respectivamente, estos datos se obtuvieron de los trabajos de la primera fase de estudio de Tatatila-Las Minas, de un depósito metasomático tipo skarn. Además, se menciona que las rocas expuestas en la zona son: calizas y mármoles; rocas ígneas intrusivas que incluyen un cuerpo batolítico de composición granodiorítica a cuarzomonzonítica; rocas ígneas extrusivas como andesitas, basaltos y rocas piroclásticas. En cuanto a la mineralización se encontraron minerales de hierro, cobre, oro, plata y molibdeno, sobre todo para el área de Las Boquillas.

En el informe final del proyecto Tatatila –Las Minas, municipios de Tatatila y Las Minas de Aguilera Martínez y Vergara Martínez (CRM,1985), muestra que existen dos tipos de depósitos minerales, metasomáticos e hidrotermales, de éstos la mayoría de los depósitos metasomáticos se localizan en las zonas más próximas al poblado de Las Minas, donde se pudieron observar zonas de skarn de granate con sulfuros de cobre (calcopirita), óxidos de hierro (magnetita), así como carbonatos de cobre (azurita y malaquita). El informe menciona también que las alteraciones principales son silicificación, oxidación, propilitización y caolinización. Otro trabajo de enfoque más regional fue realizado por Carrizales y Márquez al norte de El Dorado (Carrizales y Márquez, 1996).

No se cuenta con trabajos de detalle que comprendan la zona de El Chango. La referencia cartográfica regional corresponde con la del mapa geológico minero del Servicio Geológico Mexicano (SGM, 1998) en donde dicha zona queda comprendida dentro del Distrito Minero Las Minas - Tatatila. El campo magnético total muestra que la zona de El Chango se encuentra en el borde noroeste de un alto magnético que está presente en el área La Mancuerna – San Antonio, al oriente de Las Minas (SGM, 2010). Las rocas expuestas en la zona de El Chango son: caliza, mármol y skarn que se encuentran poco mineralizadas.

En febrero de 1996, International Northair, empresa canadiense de exploración, llevó a cabo un amplio muestreo y mapeo general de la zona. Los muestreos dieron como resultado 583 muestras que definen varias zonas con una ley de 1.0 a 5.0 g / t de oro y 0.5 a 2.0% de cobre. El promedio total de todas las muestras fue de 1.70 g / t de oro y 0.39% de cobre. Todas las muestras se tomaron en canales de entre 2 y 3 metros de longitud en afloramientos y trabajos mineros subterráneos.

También en 1996, International Northair formó una empresa conjunta con Battle Mountain Gold Co. (BMG) para explorar la propiedad. Posteriormente, BMG dio por terminada su participación en el proyecto.

En 2006, Bell Resources Corp. adquirió los derechos de exploración en propiedades mineras en el área de Las Minas y posteriormente le dieron los derechos a Chesapeake Gold Corp. (Chesapeake) en 2007. Aparentemente ninguno de los dos (Chesapeake y Bell Resources) alguna vez descubrieron el núcleo de la mineralización del distrito de Las Minas.

En 2010 Mexican Gold Corp. o MEX (entonces llamado Source Exploration Corp.) arrendó los tres denuncios o lotes mineros que componen la parte principal del Proyecto Las Minas (Pepe, Pepe Tres y San José). El primer muestreo de MEX tuvo lugar en 2010 y su primera campaña de perforación se llevó a cabo en 2011. Antes de esto, no se produjo alguna perforación conocida en el área de estudio.

En el año 2010, Geoconsulting Ingenieros SC, inició trabajos de colaboración con la empresa minera canadiense Source Exploration Corp. , ahora llamada MEX en el proyecto de Las Minas en el estado de Veracruz, en donde se realizaron trabajos de reconocimiento y evaluación preliminar de lotes mineros, cartografía geológico-minera, mapeo de alteraciones, levantamientos geológicos en obras mineras subterráneas, selección de sitios para barrenación, muestreo superficial, de interior mina y de núcleos de perforación, así como descripción de núcleos de perforación (logeo).

Método de trabajo

El trabajo de exploración geológico-minera se dividió en dos etapas. La primera consistió en trabajo de gabinete, seguida por la etapa de exploración o trabajo de campo. El trabajo de gabinete tuvo como objetivo fundamental estudiar las posibilidades económico-mineras de la zona de Las Minas. Lo anterior se apoyó en la información disponible (yacimientos minerales, geología de la zona de estudio, existencia de minas antiguas), también se tuvo apoyo de la información bibliográfica, fotografías, imágenes satelitales, mapas, etc. Toda esta información sirvió de base para planificar el trabajo de campo.

En la segunda etapa o exploración, se llevaron a cabo diversos trabajos de exploración directa los cuales estaban encaminados a descartar o corroborar el tipo de mineralización existente, como el mapeo de contactos, localización de antiguas obras mineras y levantamientos de interior mina, así como muestreo de esquirlas y muestras de mano, además de perforación con broca de diamante con recuperación de testigo de roca. En la ilustración A, se muestra un diagrama general del método de trabajo.



Ilustración A – Método de trabajo

Trabajo de gabinete

1. Se recopiló información proveniente de informes, mapas, comunicados de prensa, tesis, libros y artículos con información del área de estudio. Como ya se había mencionado la zona de Las Minas tuvo una actividad minera desde la época precolombina.
2. Se analizó la información recopilada, en donde se constató que la mineralización principal era la relacionada con el depósito tipo skarn.

Las zonas de interés inmediato fueron las más próximas a la población de Las Minas, por lo que se planearon diversas visitas de reconocimiento e iniciar posteriormente el mapeo geológico y cubrir en su totalidad la zona del proyecto Las Minas.

Se elaboró una cartografía por medio del uso de SIG y de bases geográficas obtenidas del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI); la carta que se utilizó fue la E14-B26 "Perote" de escala 1:50000 la cual sirvió como punto de partida para realizar la base cartográfica.

Trabajo de campo

1. Se realizó el mapeo geológico y la localización de antiguas obras mineras. Dadas las características del relieve se optó por realizar caminamientos por veredas y caminos antiguos, a manera de cubrir la mayor zona posible para la evaluación preliminar del lote minero del proyecto Las Minas. Se realizaron caminamientos en un área aproximada de 1.21 kilómetros cuadrados en donde se reconoció una zona de skarn de granate y wollastonita y su asociación con magnetita, calcopirita y bornita. Se definieron además, las alteraciones como la silicificación y carbonatación producidas por el metamorfismo de contacto. Asimismo, se visitaron obras mineras antiguas con el fin de obtener su ubicación y su posterior toma de muestras. Esta cartografía se iba actualizando con datos de campo, que eran capturados en la hoja de cálculo para la elaboración de mapas con escala variable, desde la escala 1:10,000 hasta 1:50,000.
2. Muestreo de esquirlas y muestras de mano para enviar al laboratorio. En cuanto a la toma de muestras de esquirla, los sitios fueron seleccionados de acuerdo con la presencia de óxidos de hierro o sulfuros de cobre, como la magnetita o la calcopirita. Por lo general, al tomarse una muestra se marcaba con spray de color rojo sobre una línea que medía entre un metro y dos metros de longitud en el afloramiento; esta muestra se almacenaba en bolsas de plástico en donde se colocaron dos boletas con número de muestra, dicho número se marcaba en la línea del afloramiento donde fue tomada. Si la muestra correspondía a una estructura tabular

o veta, ésta se tomaba de manera perpendicular a la estructura en distintos puntos. Además se tomaron muestras a los costados de la roca que encajona dicha estructura.

Las muestras de esquirla después de haber sido rotuladas en el afloramiento como en las bolsas a los costados de éstas y las boletas en su interior colocados a cada lado de la bolsa, eran puestas en costales de plástico; estos costales se rotularon con los números de cada muestra que contenía. Se colocaron ocho muestras por costal para su mejor manejo. A cada costal con las ocho muestras, se le rotulaba un número consecutivo desde el número 1, hasta el número final de costales que se habían ocupado.

3. Se realizaron levantamientos de las obras mineras antiguas con el uso de una cinta y brújula. Se midieron los pasillos o socavones, marcando cada 2 metros el tipo de roca que se encontraba a ambos lados de la línea central; en estos levantamientos se buscó identificar estructuras mineralizadas y los contactos entre litologías, así como las relaciones entre ambas. Estos datos se marcaban en un dibujo preliminar en libreta de campo para su posterior vaciado en un mapa de interior mina y ubicar las muestras de esquirla obtenidas. Las medidas para formar los contornos de interior mina se hicieron a partir de una línea central base, medida por la cinta métrica principal, en estos puntos tomados cada 2 metros, se medía la longitud tanto a la derecha como a la izquierda para formar dicho contorno. Para obtener la dirección del socavón se utilizó la cinta métrica principal, se tensaba en tramos de 5 metros para tomar su dirección e inclinación, tomando como inclinación, al desnivel que se forma al tomar la cinta por ambos lados entre dos puntos a la altura de la cintura. Las medidas de dirección y de inclinación, se tomaban con la brújula tipo Brunton. El inicio de la línea central, donde partieron todas las medidas y líneas, se tomó en la parte exterior de la bocamina a una distancia de entre 4 a 8 metros de la entrada, ya que este punto fue ubicado con GPS; de esta manera se trabajó con una mejor lectura para georreferenciar las obras mineras en el mapa.
4. Se seleccionaron los sitios para exploración con barrenación a diamante, en los puntos donde se encontró información geológica obtenida en campo y con los análisis geoquímicos positivos con valores anómalos principalmente en oro y cobre realizados previamente en los muestreos de esquirla. En el área de estudio predominan los cuerpos masivos de skarn mineralizados, por lo que se tomó en cuenta para ubicar los puntos de la futura barrenación y que ésta atravesara el mármol y/o caliza que por lo regular circunda las zonas mineralizadas. Al barrenar se buscó intersectar la mineralización y llegar hasta la roca ígnea intrusiva, procurando alcanzar, dentro del intrusivo, aproximadamente entre 12 y 18 metros de zona estéril, sin presencia de mineralización. La ubicación de cada punto se realizó con ayuda de GPS modelo E-trex de marca Garmin y la dirección del barreno se indicaba con la brújula

Brunton. Para la alineación de la dirección se mandaba una visual en dirección a la zona que se requiere perforar y se marcaba con una estaca el inicio y el fin de la trayectoria según la visual determinada previamente con la brújula, se le colocaba una cinta, hilo o cuerda para que sirviera de guía a los perforistas y así pudieran colocar de forma paralela a la cinta la máquina de perforación y perforar en la dirección indicada; la inclinación del barreno se tomaba también con la ayuda de la brújula Brunton. Estas indicaciones de dirección e inclinación se les proporcionaba a los perforistas y se les indicaban todas estas medidas, tomadas en presencia de ellos, para minimizar el error.

5. Supervisión de avance en barrenación. Conforme se avanzó en la barrenación con recuperación de testigo de roca (núcleo), se registraron los tipos de material rocoso que se iban atravesando a profundidad e identificar la extensión de los horizontes con mineralización. Se realizó un “logeo” rápido con el objetivo de contar con información preliminar de lo encontrado en ese día y así describirlo en los informes diarios de perforación. Esto a su vez permitió integrar un esquema de lo que se puede esperar encontrar en futuras barrenaciones y así tratar de evitar atascos y pérdidas de tuberías de perforación con lo que se pudiera detener el avance en el sondeo y retrasar el trabajo. De igual modo fue importante cuidar el límite de la profundidad a la que se debía de perforar, para evitar perforaciones en zona estéril; al reconocerse esto, se debe de parar la perforación o indicarle a la persona calificada a cargo (Geólogo Senior) de lo que se tiene en el momento, para que decida el futuro de la perforación.
6. Después de la perforación se realizó la descripción de los núcleos de perforación. Estos núcleos de roca obtenidos de la perforación se colocaron en cajas de plástico, en las cuales se señaló el metraje o la profundidad a la que pertenece el núcleo; estas medidas fueron recabadas en un formato en hoja de cálculo, en la que previamente se tenía una columna que semeja la longitud del núcleo obtenido en donde se marcan las profundidades a las que pertenece cada testigo de roca. En cada renglón se describió (por lo general un tramo de 2 metros), tipo de roca, mineralización, porcentaje y distribución del mineral, la existencia de fallas, fracturas y vetillas. De igual forma se anotó, en cada tramo, el porcentaje de recuperación o RQD por sus siglas en inglés (Rock Quality Designation) para tener una idea de la calidad de la roca. Cuando se identificó la presencia de mineralización importante, como bornita, calcopirita, magnetita, se marcó en el testigo de roca, el inicio y el fin de un tramo que medía desde un metro, hasta dos metros, al cual se le asignó un número, mismo que correspondía a una boleta con el número de muestra; la muestra fue delimitada en sus extremos inicial y final, además se marcó con crayón el centro del núcleo. Después de marcarse por la mitad, se cortó el núcleo y fue embolsado con su respectivo número de

muestra, para su posterior recolección y envío a laboratorio para el análisis multielemental, y determinación de elementos importantes como oro, plata, plomo, zinc y cobre.

7. Análisis de resultados de la perforación y búsqueda de nuevos puntos de exploración. Con las zonas exploradas y cartografiadas, los muestreos de esquila, la descripción de los núcleos, sus resultados positivos de laboratorio en oro, plata y/o cobre, la profundidad y espesor de la zona mineralizada interceptada, se contó con una guía de la tendencia a profundidad del horizonte o áreas mineralizadas de interés, por lo que se llevó a cabo una sección o modelo en el que se esquematiza este comportamiento, lo que permitió proyectar puntos a barrenar, con lo que se espera interceptar mineralización que aporte más recursos a lo ya explorado.

1 Generalidades

1.1 Localización

El área de estudio de Las Minas se localiza en el municipio del mismo nombre, a 20 km al noreste de Perote, Veracruz (Figura 1.1). La zona se encuentra en la parte central del estado de Veracruz, entre las coordenadas 19°40' y 19°45' de latitud norte y 97°05' y 97°10' de longitud oeste. El proyecto se encuentra dentro de la carta topográfica E14-B26 (INEGI, 1998) "Perote" escala 1:50,000.

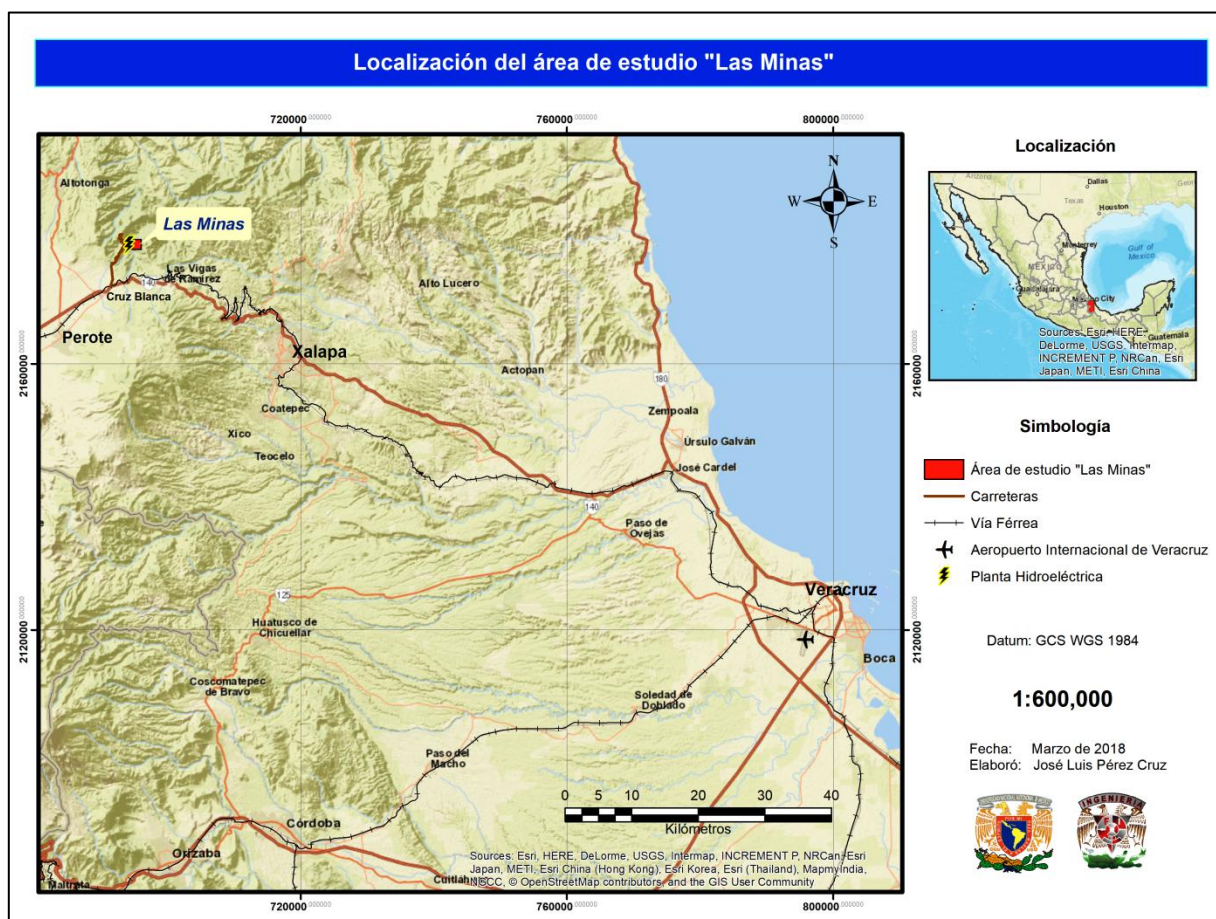


Figura 1.1 – Localización del área de estudio

Fuente: ESRI, HERE, DeLorme, Intermap, INCREMENT P, MapmyIndia, NGCC, © Open StreetMap.

1.2 Vías de comunicación

La principal vía de comunicación es por medio de un camino de terracería que conecta al poblado y zona de estudio con el poblado de Cruz Blanca hacia el suroeste de Las Minas, en este punto se han recorrido ya 18 km. Los primeros 14 kilómetros son de terracería y los restantes 4 kilómetros son recubiertos de asfalto, esta vía se conecta con la carretera federal No. 140 México-Veracruz en su tramo Perote-Xalapa. En este sitio se recorren sobre la misma vía 11 kilómetros hacia el suroeste con lo que se llega hasta la ciudad de Perote Veracruz (Figura 1.2).



Figura 1.2 – Vías de comunicación desde Perote hacia Las Minas

Fuente: ESRI, HERE, DeLorme, Intermap, INCREMENT P, MapmyIndia, NGCC, © Open StreetMap.

1.3 Infraestructura

En cuanto a la infraestructura urbana, la comunidad de Las Minas cuenta con calles pavimentadas principalmente con concreto hidráulico, también cuenta con servicio de energía eléctrica y alumbrado público suministrado por la planta hidroeléctrica Minas (Fotografía 1.1).



Fotografía 1.1 – Planta hidroeléctrica ‘Las Minas’

La población cuenta con servicio de agua potable y alcantarillado, también tienen un centro de salud (Fotografía 1.2) y una pequeña clínica de medicina familiar del IMSS.



Fotografía 1.2 – Centro de salud ‘Las Minas’

La infraestructura en educación cuenta con un kínder, una primaria, una telesecundaria y un telebachillerato.

A partir del 2013, el gobierno municipal instaló señal de internet inalámbrico de señal abierta y una sala de cómputo con acceso a internet dentro del palacio municipal.

1.4 Clima y vegetación

El clima del área de estudio es templado-húmedo, con una temperatura media anual de 16 °C, lluvias muy abundantes en verano y a principios de otoño, con intensidad menor en invierno. El registro de precipitación anual es de 1100-1600 milímetros (INEGI, 2009). Debido a los contrastes tan grandes de altitudes se pueden encontrar, en las partes más altas, árboles de coníferas y pináceas típicas de climas fríos, como son pinos y encinos, también se pueden encontrar árboles de climas subtropicales como papaya y plátano en las partes más bajas. En general, la zona de estudio pertenece a un bosque de niebla o mesófilo de montaña, en el cual se localizan especies como el encino, roble, pino u ocote, liquidambar y jaboncillo. Las altitudes en las que se presenta este tipo de bosque van desde los 1200 hasta 2400 msnm (Martínez L., 2006)

1.5 Actividades económicas

En la zona de estudio se tiene una economía basada en ganadería y en agricultura, la producción se enfoca en el cultivo de maíz, café cereza y frijol. En lo que respecta a la ganadería, se crían ganado bobino y porcino principalmente, además se crían en menor proporción el ganado ovino, caprino y aves de corral (Gobierno del Estado de Veracruz, 2015)

En particular, el cultivo de café cereza es la actividad más socorrida en las cercanías del pueblo de Las Minas, ya que su comercialización se puede realizar directamente en la venta del grano o almacenarse cierto tiempo para tostarlo y prepararse para el uso del consumidor final, en ventas al menudeo en bolsas de un kilogramo.

Existe también la comercialización de lácteos producto de vacas lecheras y cabras. Aunado a esto se preparan quesos tanto de vaca como de cabra, este último producto es comercializado en su mayoría a nivel doméstico. (R. Rangel, comunicación personal, 2011)

Existe en la zona sur, a unos 800 metros de la cabecera municipal, en el pueblo de Las Minas, una planta hidroeléctrica, perteneciente a la Comisión Federal de Electricidad (CFE), se hace mención de ésta, ya que una buena parte de la existencia de este pueblo, se debe a la derrama económica que aportan los trabajadores de dicha planta, ya que la mayoría de estos trabajadores de CFE, viven con sus familias en el pueblo de Las Minas.

2 Fisiografía

2.1 Provincia fisiográfica

El sitio de estudio se localiza próximo al límite norte con la provincia fisiográfica “Llanura Costera del Golfo Norte” y al noroeste con la “Sierra Madre Oriental” (Figura 2.1). La localidad del pueblo de Las Minas se encuentra oficialmente dentro de una subprovincia de la Faja Volcánica Transmexicana (antes eje Neovolcánico) la que se denomina subprovincia de Chinconquiaco. La mayor parte de esta subprovincia se encuentra dentro del estado de Veracruz, con una superficie en el estado, de 6,699.21 kilómetros cuadrados. Abarca 24 municipios completamente y parte de otros 30, entre los que se encuentra Las Minas. (Provincias Fisiográficas de INEGI)

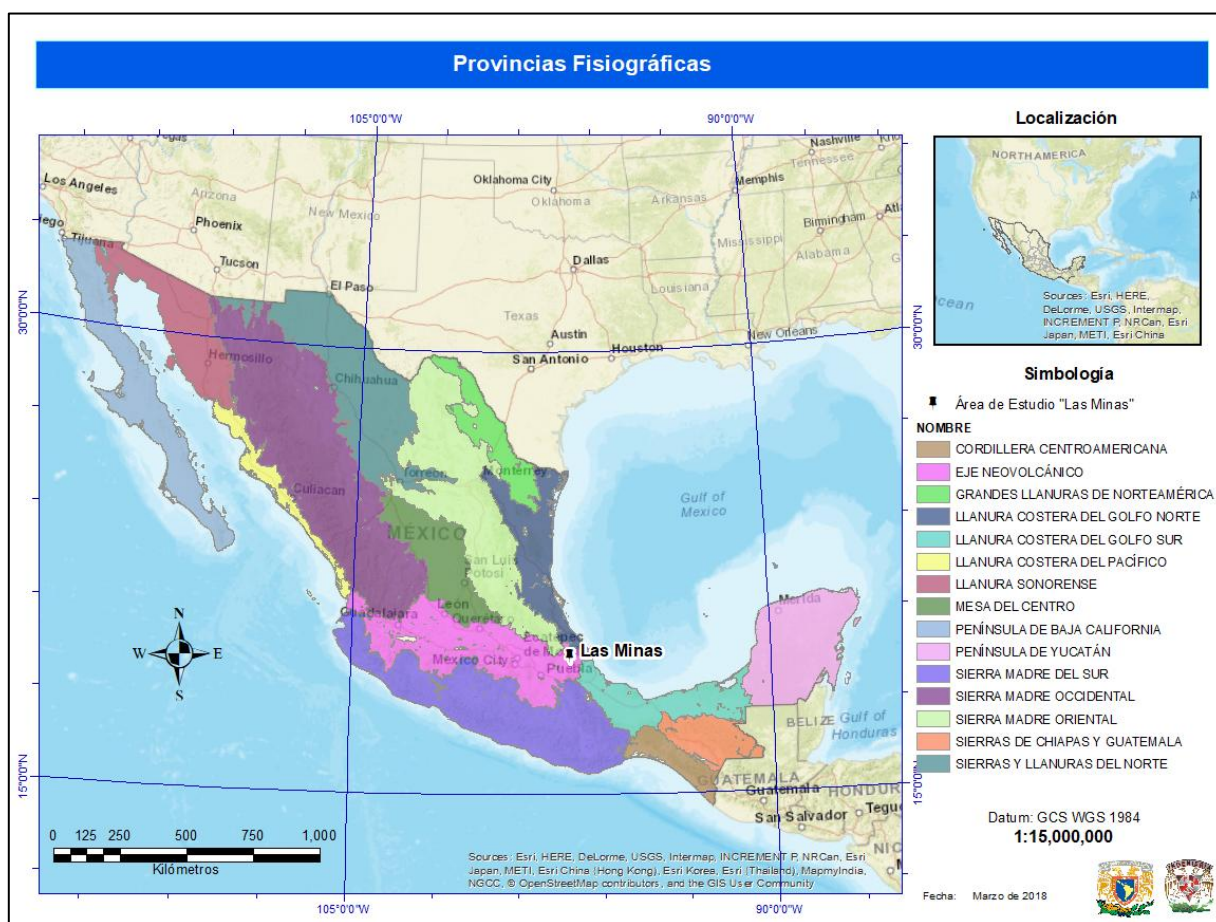


Figura 2.1 – Ubicación del área de estudio “Las Minas” dentro de la provincia fisiográfica Eje Neovolcánico.

Fuente: ESRI, HERE, DeLorme, Intermap, INCREMENT P, MapmyIndia, NGCC, © Open StreetMap.

2.2 Rasgos orográficos

Las pendientes que existen en las colindancias de las Minas son las más pronunciadas van de 35 a 45 grados, se encuentran en un proceso de erosión muy fuerte, ya que se conjugan dos características, el afloramiento de rocas muy susceptibles a la meteorización como calizas y mármol, además que este lugar constituye una entrada natural de los vientos húmedos del Golfo de México, que producen lluvias constantes, por lo que la erosión por agua es importante, esto promueve con el tiempo la formación de paredes casi verticales y barrancas de profunda disección que van de 1,300 hasta 1,800 metros (Martínez, L., 2006)

2.3 Cuenca hidrológica

La zona de estudio se encuentra en la parte sureste de la cuenca del río Nautla, desde su cabecera ubicada en la cumbre del volcán Cofre de Perote situado a 4282 msnm las aguas drenan hacia el Golfo de México. La cuenca Hidrológica del río Nautla tiene como punto de inicio a la cuenca del río Las Minas (Martínez, L., 2006) donde se encuentra el poblado Las Minas y área de estudio del mismo nombre (Figura 2.2).

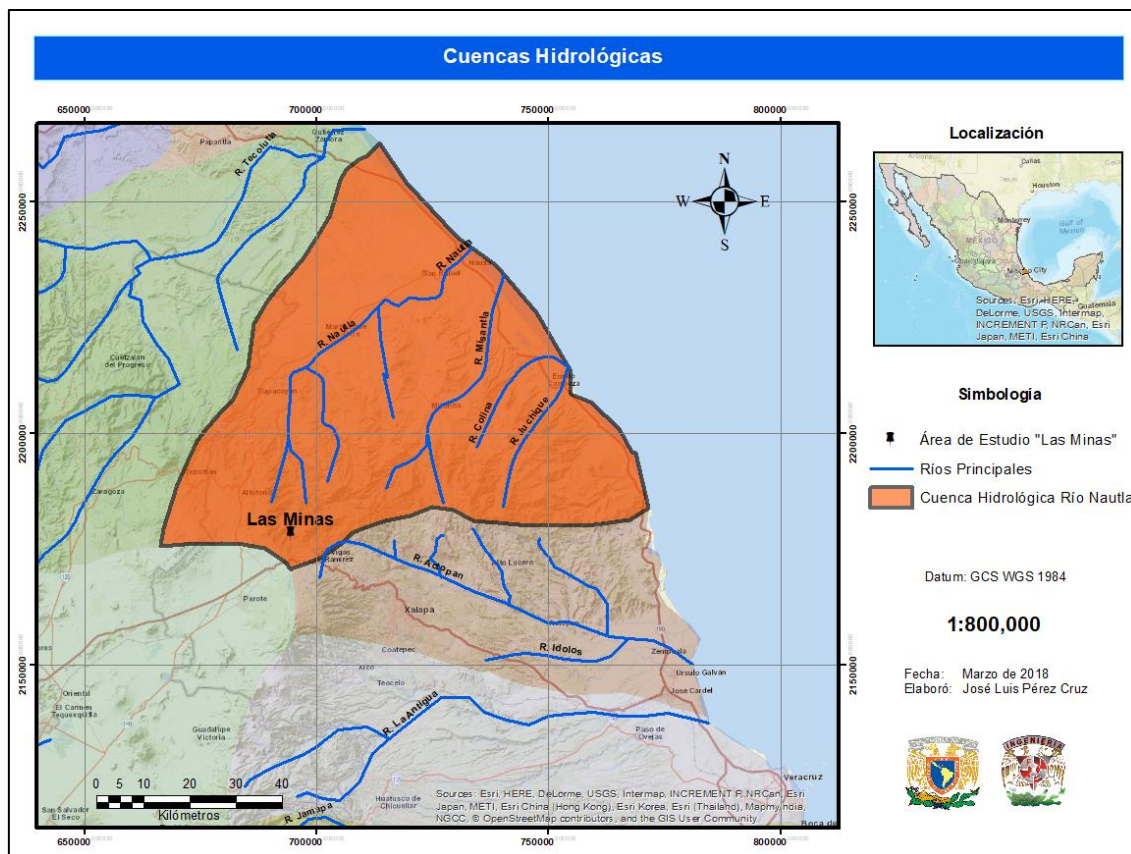


Figura 2.2 – Ubicación del área de estudio y poblado de Las Minas

Fuente: ESRI, HERE, DeLorme, Intermap, INCREMENT P, MapmyIndia, NGCC, © Open StreetMap.

3 Geología

3.1 Marco geológico

El área de las minas se localiza dentro de la provincia geológica Macizo ígneo de Palma Sola en el límite con la provincia Faja Volcánica Transversal Mexicana. Ambos están sobrepuestos al Cinturón Mexicano de Pliegues y Fallas (orógeno mesozoico) (Ortega-Gutiérrez et al., 1992) (Figura 3.1). La configuración de la sobre posición de varias provincias geológicas determina una geología compleja para el área de estudio y de la evolución geológica de la región. La geología está representada por rocas de edad variable que va del Mesozoico al Reciente.

El Mesozoico está representado por el Cretácico Inferior con las calizas de la Formación Orizaba, del Albiano – Cenomaniano (CRM, 1994), deformadas y erosionadas antes del depósito de rocas ígneas del Terciario. El Terciario Inferior está representado por conglomerados polimícticos resultado de la erosión de las rocas cretácicas y rocas volcánicas de composición dacítica.

El Mioceno está representado por rocas ígneas intrusivas de composición desde gabroica a granítica con predominancia de dioritas con una edad de 12.5 Ma (Ar/Ar) (Dorantes C. et al., 2016) que afectaron a las rocas mesozoicas preexistentes y generaron, por contacto y reemplazamiento, a las rocas metamórficas también del Mioceno, según fechamientos por Iriondo de la mica de cromo de nombre fuchsita de la parte distal o retrogrado de la mineralización en el exoskarn que arrojó una edad aproximada de 7 Ma (J. Castro-Mora, comunicación personal, Noviembre de 2015). Las rocas metamórficas alojan una mineralización importante de óxidos y sulfuros en donde el Cu y el Au son las sustancias más importantes que se presentan de forma discreta en un radio de 4 km². Tanto las rocas volcánicas del Terciario Inferior como las rocas ígneas intrusivas del Mioceno, son parte del Macizo Ígneo de Palma Sola. El Terciario Superior está representado por rocas volcánicas de composición andesítica y dacítica de edad Terciario-Plioceno, mientras que las rocas volcánicas de composición basáltica son del Cuaternario; ambas son parte de la Faja Volcánica Transmexicana.

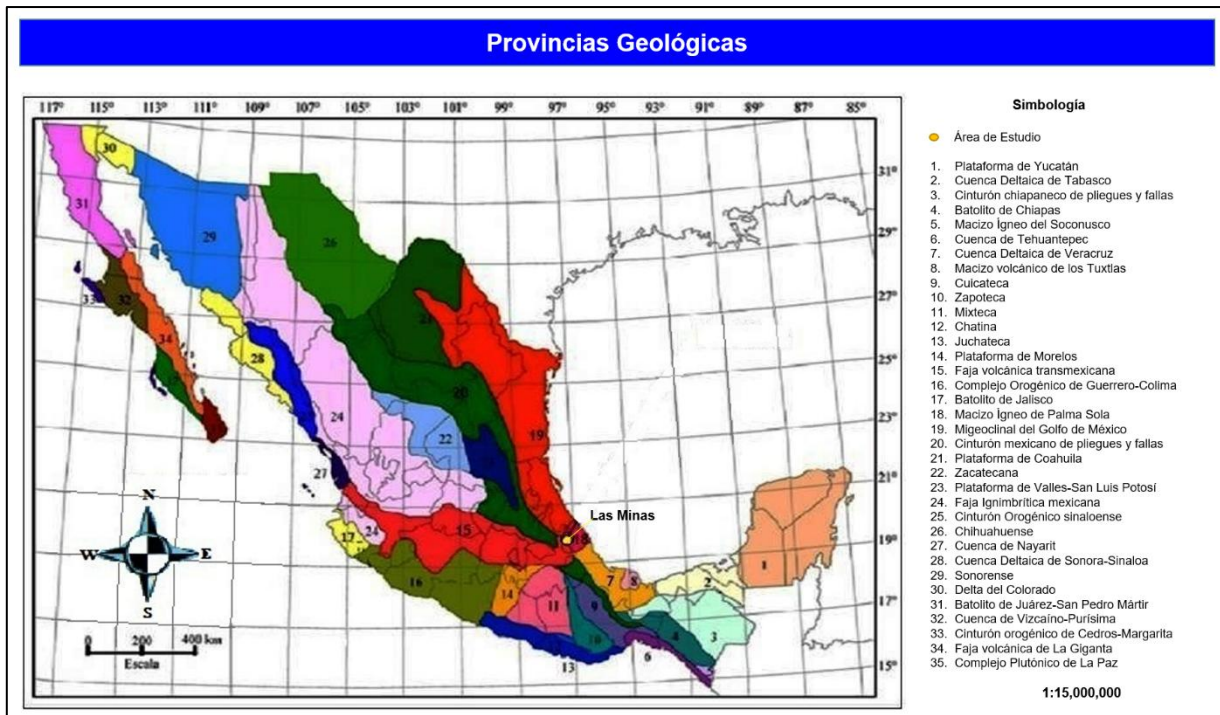


Figura 3.1 – Mapa de Provincias geológicas de México (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1992) y detalle de la zona de estudio.

3.2 Secuencia litológica y estructura

La secuencia litológica reconocida en el área de las Boquillas comprende unidades sedimentarias, metamórficas e ígneas. Las primeras consisten en masas y algunos estratos de caliza cretácica, en forma aislada en el cerro Grande en el municipio Las Minas, las rocas ígneas son rocas de composición intermedia que afectan en forma intrusiva a las sedimentarias y forman las rocas metamórficas, estas últimas pertenecen a un skarn, por contacto y reemplazamiento que se encuentra siempre entre las rocas sedimentarias y las rocas intrusivas siendo las más importantes por alojar la mineralización de óxidos y sulfuros de Fe y Cu. (Figura 5.2).

Caliza (Kace, cz)

La caliza es de color gris claro a verde pálido, de textura micrítica, ligeramente arcillosa, con capas o laminaciones, con fósiles reemplazados por cuarzo o pirita, ocasionalmente presenta bandas y lentes de pedernal gris. La roca caliza pertenece a la Formación Orizaba, de edad Cretácico, Albiano – Cenomaniano, (Kace, cz). Comúnmente se encuentra como masas o grandes bloques dentro del mármol y parcialmente como xenolitos dentro de la granodiorita. No se presenta mineralizada y no presenta alteraciones minerales.

Mármol (Tm, Ma)

El mármol es de color blanco a gris claro, de textura granoblástica de grano fino, con estructura masiva a bandeada, con fracciones de caliza arcillosa verde claro a gris claro. Destaca el contenido de pirita que tiene una variación entre 1 a 2% así como clorita y epidota. En algunas porciones se encuentra reemplazado por bandas de grossularita, el cual se encuentra cortado por mantos delgados o vetas delgadas de magnetita, calcopirita, hematita, goethita. La roca de mármol ha sido asignada al Mioceno al encontrarse ubicada entre los 12.5 Ma y los 7.0 Ma (límite superior según fechamientos de intrusión y límite inferior según la edad de la fugsita de la fase retrógrada del skarn (Tm, Ma). Presenta dos cristalizaciones; una es de color gris, de grano fino, durante un metamorfismo por contacto de baja temperatura y otra de cristalización de color blanco, de grano mediano a grueso por una temperatura mayor por contacto con cuerpos ígneos intrusivos. (J. Uribe-Luna comunicación personal, Diciembre de 2011) En general no se presenta mineralizado y durante su formación se comportó como una unidad de roca refractaria por lo que su mineralización es baja.

Granodiorita (Tm, Gd)

La granodiorita es de color verde claro, de textura equigranular, hipidiomórfica, con masas de cristales de plagioclasa, feldespato, hornblenda euedral, cuarzo en un 5%, biotita subedral y magnetita, con un contenido de entre 6 a 8%, con cristales accesorios de pirita euedral a subedral. Se encuentra como estructura cortante a la caliza o al mármol en forma masiva y en ocasiones como diques delgados. Presenta fracturas con rellenos de cuarzo, pirita, clorita y epidota. Contiene una mineralización importante de skarn con magnetita y calcopirita, como parte de un endo skarn. La alteración primaria es por metasomatismo por reemplazamiento de silicatos compuesta por granate, variedad grossularita y ésta presenta sobreimpresa una alteración hidrotermal posterior (propilítica) con clorita, epidota y pirita. La edad de la granodiorita ha sido asignada al Mioceno según la carta Perote E14-B26 (SGM, 2007), la edad según el método K-Ar se encuentra en 14.5 +/- 7 Ma (SGM, 2007) y en (Dorantes C. et al., 2016) menciona que los intrusivos del área forman parte de un pulso magmático de edad miocena. Su mineralización primaria consiste de un valor alto de magnetita, cuyos contenidos varían del 6 a 8%, presenta una mineralización secundaria que consiste de sulfuros de tipo calcopirita 1 a 2% y pirita 1%. La alteración que presenta es metasomática por reemplazamiento de silicatos, en donde el granate, variedad grossularita es el más importante, asociado con magnetita masiva o bandeada como parte de un endo skarn. Presenta una alteración hidrotermal propilítica de baja temperatura que consiste de clorita, epidota y pirita. La importancia de esta unidad es su participación directa en la formación del skarn y en la mineralización de magnetita, calcopirita en la zona de Las Boquillas.

Skarn (Tm, Sk)

La roca de skarn se ubica entre el mármol y la granodiorita. Tiene una textura granoblástica, ligeramente bandeada, de grano fino y medio. Está compuesta de grossularita, de color pardo oscuro a pardo claro, con bandas y masas de magnetita negra masiva o granular, masas o bandas finas de calcopirita, gránulos de pirita y cristales de flogopita. En menor proporción se presentan masas de granate de tono pardo verdoso. La magnetita en algunas fracciones llega a ser de 50%, con calcopirita entre 3 a 4% y pirita 1%. Se ha asignado al Mioceno por su relación entre el mármol y la granodiorita, (Tm, Sk). La mineralización principal es de magnetita, calcopirita, pero se encuentran fracciones de pirita y cuarzo. La magnetita y los sulfuros resultaron de un reemplazamiento de silicatos como parte del exo skarn, mientras que la pirita y el cuarzo se formaron por una alteración hidrotermal posterior de baja temperatura por la presencia de clorita y epidota.

Diorita (Tm, D)

La diorita es de color verde oscuro, de textura porfídica y ocasionalmente de grano más fino y equigranular, con feldespato, plagioclasa, hornblenda y magnetita. Destaca el contenido de magnetita que llega a estar entre un 8 a 10% del total de la roca que es una de las características que lo distingue de la granodiorita. La diorita se presenta como intrusiones menores y diques gruesos sobre la caliza y se presenta como xenolitos dentro de la granodiorita, la edad según fechamientos (Ar/Ar) es de 12.5 Ma hecha por González-Partida, (Dorantes Castro, comunicación personal, Agosto de 2018), lo que la ubica en el Mioceno (Tm, D) (Dorantes C. et al., 2016). Presenta a su vez numerosos xenolitos pequeños de mármol. También presenta una mineralización pobre que consiste de pirita del orden del 1 al 2%. La Diorita ocasionalmente presenta masas de magnetita, vetillas de cuarzo, pirita, clorita, epidota. La importancia de la Diorita es su participación inicial durante la mineralización del skarn con magnetita y calcopirita, mineralización que llegó a ser reabsorbida y re depositada por la granodiorita.

Granito (Tm, Gr)

El granito es de gris claro a blanco, de textura fanerítica, de grano fino, compuesta por feldespato, plagioclasa, cuarzo y biotita. Se presenta como intrusiones menores que se encuentran cortando a la granodiorita y a la diorita, así como al skarn. El granito contiene 1% de pirita de grano fino, diseminada, asociada con vetillas de cuarzo, con clorita y epidota. Se le asigna una edad relativa del Mioceno (Tm, Gr) (Dorantes C. et al., 2016). En la figura siguiente (Figura 3.2) se muestra la secuencia litológica:

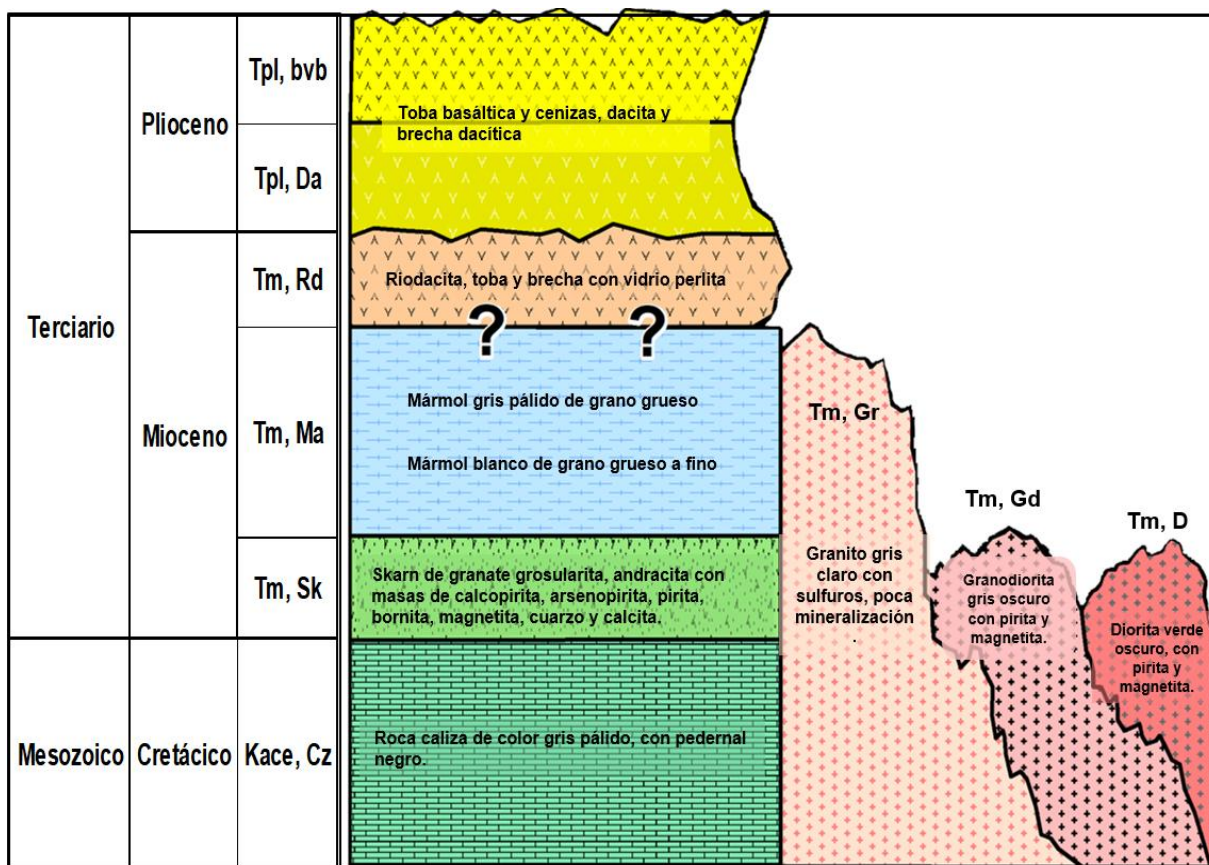


Figura 3.2 – Columna litológica de la zona de estudio y zonas aledañas al Proyecto Las Minas. Modificado de Dorantes Castro, 2016.

3.3 Evolución tectónica

Las transgresiones marinas asociadas al proceso de apertura del Golfo de México, originaron que el nivel del mar ascendiera, por lo cual las aguas someras se volvían más profundas. Este avance paulatino culminó en el Cretácico Superior, cuando todos los altos topográficos quedaron totalmente sumergidos. En el límite de los periodos Cretácico Superior y Terciario, el choque entre las placas de Farallón y de Norteamérica originó la Orogenia Laramide. Como consecuencia de esto, en la parte occidental del país se emplazó un arco volcánico que formó las grandes provincias ignimbríticas de la Sierra Madre Occidental. Mientras que en la porción oriental del territorio, los efectos de dicha orogenia deformaron los sedimentos marinos y provocaron su levantamiento, formando así lo que actualmente es la Sierra Madre Oriental, la que constituye un cinturón plegado y fallado con

orientación noroeste-sureste. Este episodio tuvo como consecuencia el cambio del ambiente marino al continental (Fitz et al., 2017).

En el Paleoceno, la región continental estuvo sometida a esfuerzos corticales y a una intensa erosión de la Sierra Madre Oriental, los sedimentos originados se distribuyeron en forma de abanicos submarinos que rellenaron las cuencas terciarias, formando así la planicie costera del Golfo de México, misma que fue cubierta por la última trasgresión marina. Durante el Mioceno Medio y tardío aparecen los primeros signos del vulcanismo (Gómez Tuena et al., 2005) originado por la subducción de la placa del Pacífico por debajo de la placa Norteamericana, lo cual dio origen a la formación de la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM). Esta provincia geológica atraviesa al país en su parte central con una orientación este-oeste (Demant y Robin, 1975). En el sector oriental de la FVTM, este vulcanismo quedó de manifiesto con la construcción de la Sierra de Chiconquiaco, Palma Sola (Orozco et al., 2007) (en el que se encuentra la zona de trabajo de Las Minas), los estratovolcanes Pico de Orizaba, Cofre de Perote, Las Cumbres y La Gloria, así como los campos monogenéticos de los Tuxtlas y Xalapa y las calderas de los Humeros y Chiconquiaco, (Aguilera, et, al., 2000, Orozco et al., 2007)

4 Tipo de yacimiento.

El tipo de yacimiento, objeto del presente trabajo, corresponde con el tipo skarn, que cuenta con las siguientes características.

El término skarn fue introducido por petrólogos metamórficos suecos, para designar rocas con metamorfismo regional o de contacto, constituidas por silicatos de Ca, Mg y Fe derivados de un protolito de calizas y dolomías, en donde hubo la introducción metasomática de grandes cantidades de Si, Al, Fe y Mg. De modo que se entiende por skarn rocas que contienen minerales calcosilicatados, tales como diópsida, wollastonita, granate andradita y actinolita. Esta alteración, comúnmente conforma aureolas en torno a plutones, en la zona de contacto con secuencias calcáreas (Maksaev, 2001)

El término *skarn* es ampliamente utilizado y es adecuado para referirse a este tipo de depósitos relacionados a intrusivos que generan aureolas en dichas zonas de contacto. Las rocas carbonatadas (calizas y dolomías) formadas por calcita (CaCO_3) y dolomita [$(\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$] se convierten en mármoles, corneas calcosilicatadas (hornfels) y/o skarns por el efecto del metamorfismo de contacto. La producción principal de depósitos de tipo skarn incluye Fe, Cu, W, C (grafito), Zn, Pb, Mo, Sn, U, Au., granate, talco y wollastonita.

La característica de los skarn, a diferencia de otros tipos de depósitos minerales, es la presencia de una ganga de grano grueso generalmente rica en hierro, así como la presencia de una mezcla de silicatos de Ca-Mg-Fe-Al, formados por procesos metasomáticos a temperatura relativamente alta. Así, la mineralogía que define a una roca como skarn es una variedad de minerales calcosilicatados dominados por granates y piroxenos, (Meinert et al., 2005). Los términos *exoskarn* y *endoskarn* se aplican al reemplazo entre carbonatos e intrusivo, respectivamente (Figura 4.1). . En terrenos profundos, donde los plutones están menos fracturados y la circulación de fluidos es más restringida, el skarn sólo desarrolla una zona estrecha muy próxima al intrusivo. En los casos en los que el skarn esté bien desarrollado, la mena se encuentra, por lo general en el *exoskarn*; sin embargo, en ausencia de rocas carbonatadas, la mena puede encontrarse en el *endoskarn*.

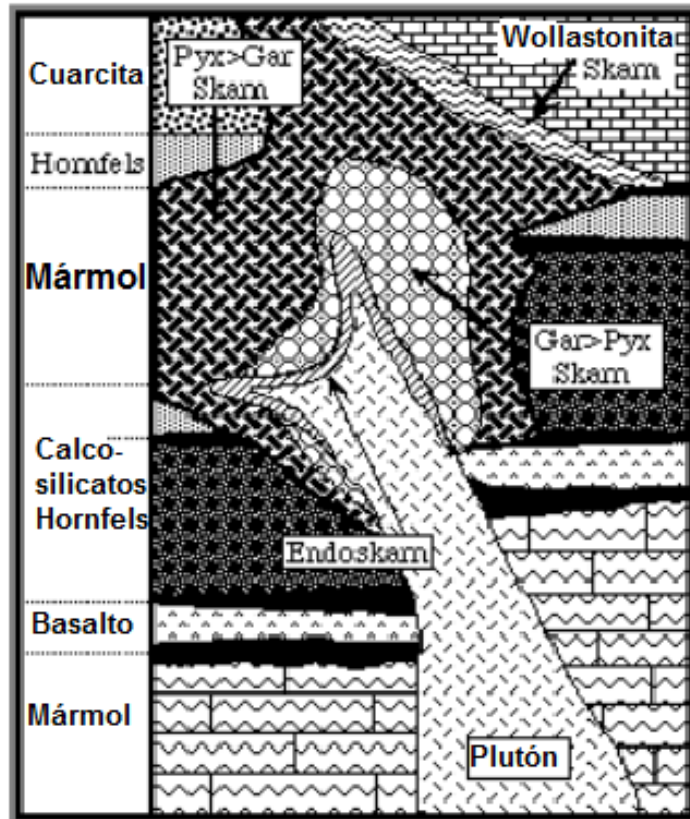


Figura 4.1 – Zonación general de los depósitos tipo skarn, que muestra la geometría del contacto del plutón hacia donde se transporten los fluidos, Gar=granate, Pyx=Piroxeno, Modificado de Meinert (1983).

La clasificación del *exoskarn* puede hacerse con base a la mineralogía dominante, la cual en la mayoría de los casos refleja la composición de la roca carbonatada reemplazada.

Los skarns con predominancia de magnesio contienen un componente importante de silicatos de magnesio, tales como forsterita o sus productos de alteración serpentina comúnmente asociada con diópsido, espinela y calcita. Los skarns cálcicos contienen abundantes silicatos de Ca o Ca-Fe, tales como andradita y hedenbergita. Frecuentemente en la literatura se habla de skarns según su mineralogía y temporalidad de formación, por ejemplo, skarn progrado, o facies progradante para referirse a la facies precoz, de mayor temperatura, rica en granate y piroxena; y de skarn retrogrado o facies retrógrada para referirse a la facies tardía, de menor temperatura, rica en calcita-epidota-clorita. Otra forma práctica de clasificar los skarns, se basa en el contenido principal del metal.

4.1 Mineralogía de los skarn

La clave para reconocer y definir los skarn, es la mineralogía, la que es de especial importancia para comprender su posible origen y diferenciar los depósitos minerales económicos o no económicos.

El tipo de minerales que se forman en el skarn, da la oportunidad de establecer una zonación, que es el halo de alteración que circunda el cuerpo de mena potencialmente económico, dado que la mayoría de los depósitos de skarn muestran zoneamiento. El reconocer las características de alteración proximal y/o distal, son de mucha ayuda en las primeras etapas de la exploración; al diferenciar las zonas, se puede obtener un modelo de exploración y por ende, el ubicar todas las partes del sistema mineralizado, según los rasgos de la mineralización, y así poder orientar la exploración, en un modelo local o a nivel regional. Meinert (1982) explica la distribución de las paragénesis silicatadas y de sulfuros (Figura 4.2) por ejemplo, los granates, piroxenos, cuarzo, oro y cobre se presentan en la zona próxima al intrusivo (*endoskarn*, tal y como sucede en las zonas de La Boquilla, El Dorado y Santa Cruz.

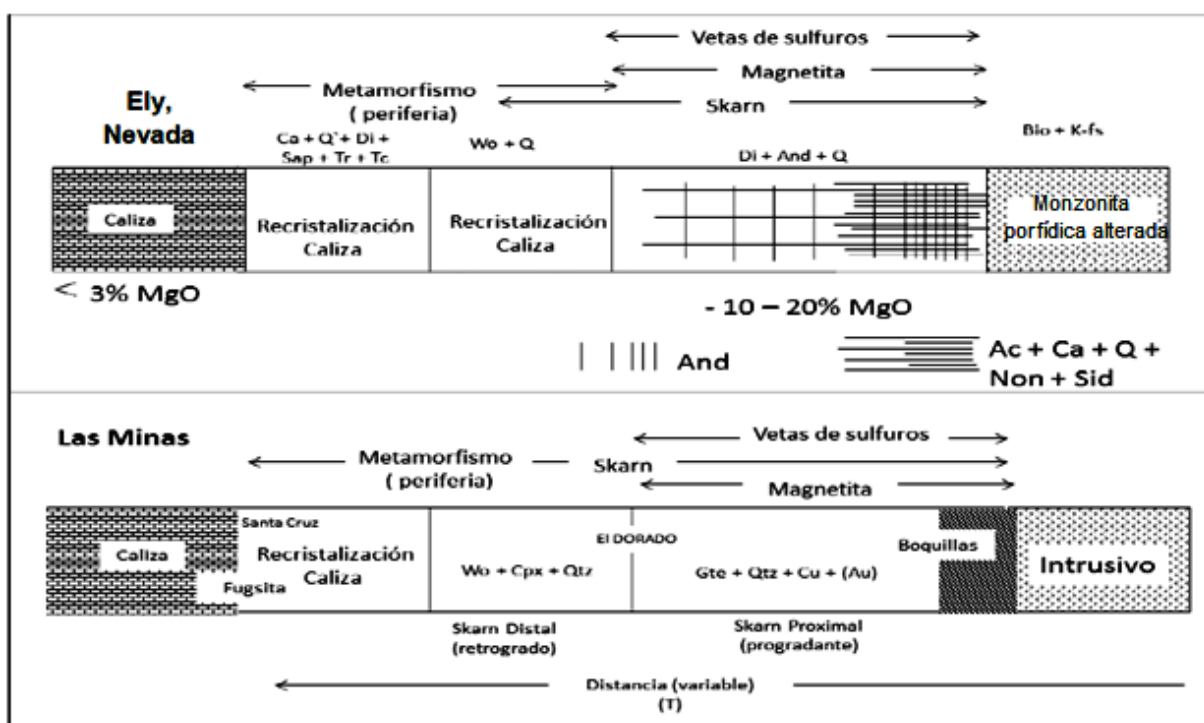


Figura 4.2 – Zonación de las asociaciones minerales de un típico skarn (Ely, Nevada y las Minas): And. Andradita; Ac. Actinolita; Bio. Biotita; Ca. Calcita; Di. Diopsida; K-Fs. Feldespato potásico secundario; Non. Nontronita; Q. Cuarzo; Sap. Saponita; Sid. Siderita; Tc. Talco; Tr. Tremolita; Wo. Wollastonita, (Evans, 1993). Tomada de (Dorantes, 2016) con modificaciones menores.

En el trabajo de Dorantes (2016) se realiza un buen trabajo para colocar al tipo de yacimiento como “Skarn tipo IOCG”, sin embargo este tipo de depósito mineral (IOCG) sigue siendo una clase mal definida, donde se incluyen inclusive a yacimientos bien conocidos, como lo es Olympic Dam en el sur de Australia, responsable de provocar el reconocimiento y posteriormente la ampliación de este tipo de depósitos, por lo que puede o no ser “IOCG” después de todo. (Pirajno, 2009)

5 Trabajos de exploración

El Proyecto Las Minas se dividió en las zonas de El Dorado, Las Boquillas (cercana al pueblo de Las Minas), y la zona de El Chango, ubicada a 400 metros al este de Las Boquillas. Al sur y suroeste del pueblo de Las Minas se encuentra la zona de Santa Cruz y Nopaltepec, respectivamente (Figura 5.1). La cartografía geológica resultante del área se muestra en la Figura 5.2.

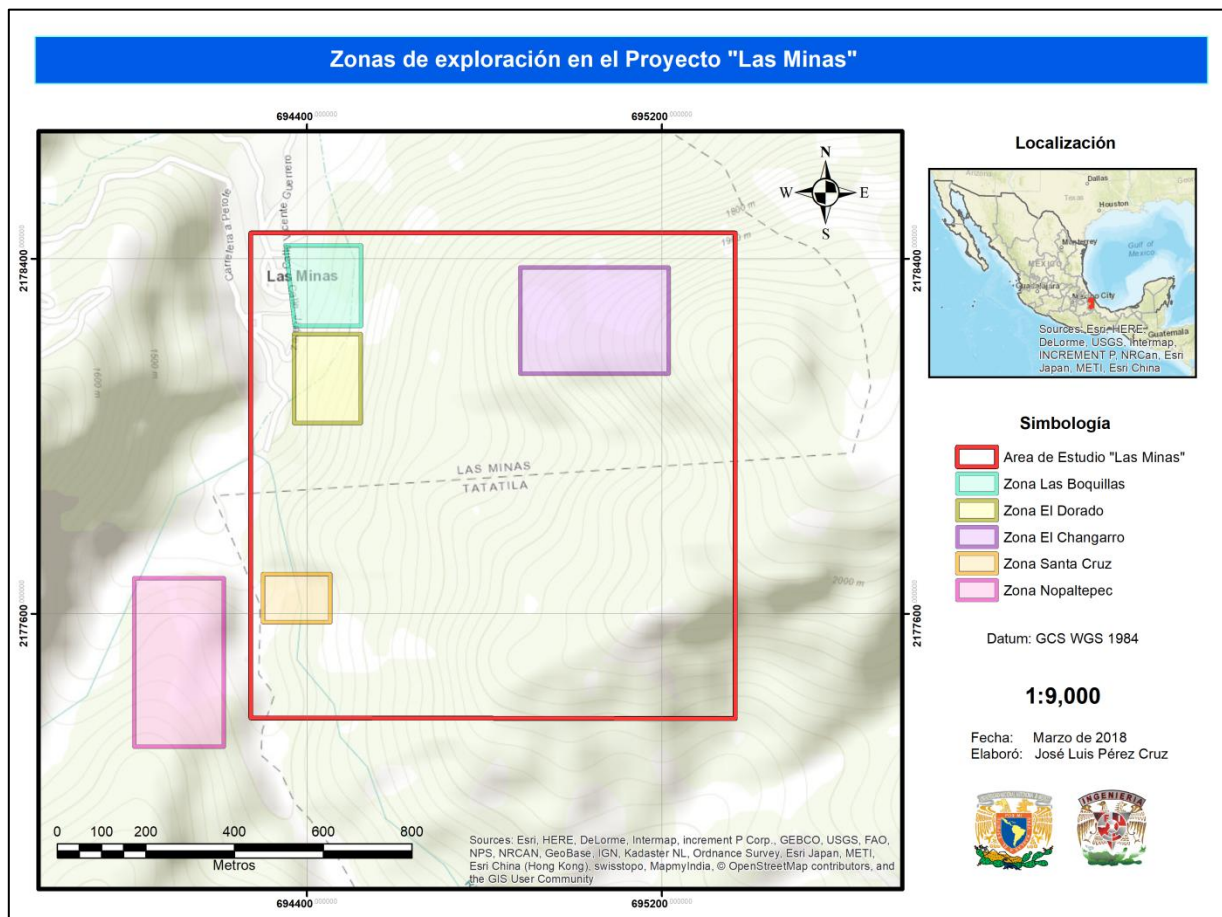


Figura 5.1 – Mapa General de ubicación de las zonas de exploración

Fuente: ESRI, HERE, DeLorme, Intermap, INCREMENT P, MapmyIndia, NGCC, © Open StreetMap.

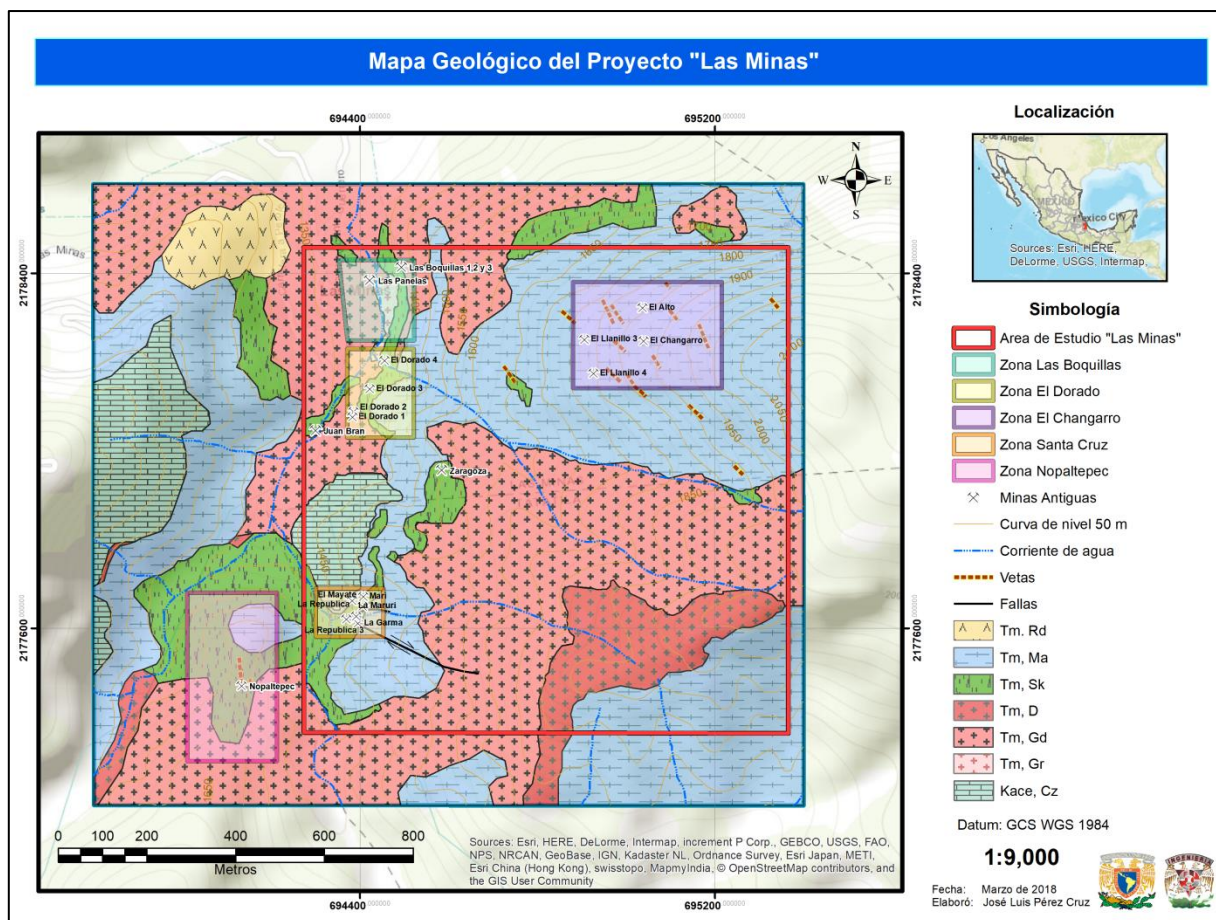


Figura 5.2 – Mapa Geológico del área de estudio.

Fuente: ESRI, HERE, DeLorme, Intermap, INCREMENT P, MapmyIndia, NGCC, © Open StreetMap.

5.1 Zona El Dorado

El área de El Dorado se ubica al oriente de Las Minas, comprende las antiguas obras mineras El Dorado 2, El Dorado 3, El Dorado 4 y otras de menor tamaño. En el área se llevaron a cabo trabajos de muestreo en superficie y en interior de mina, mapeo geológico y barrenación a diamante.

5.1.1 Ubicación

Se localiza 250 m al sur oriente de Las Minas, en las coordenadas X= 694,418 mE, Y= 2,178,135 mN y Z= 1,366 m, en la margen derecha del río Las Minas (Figura 5.3)

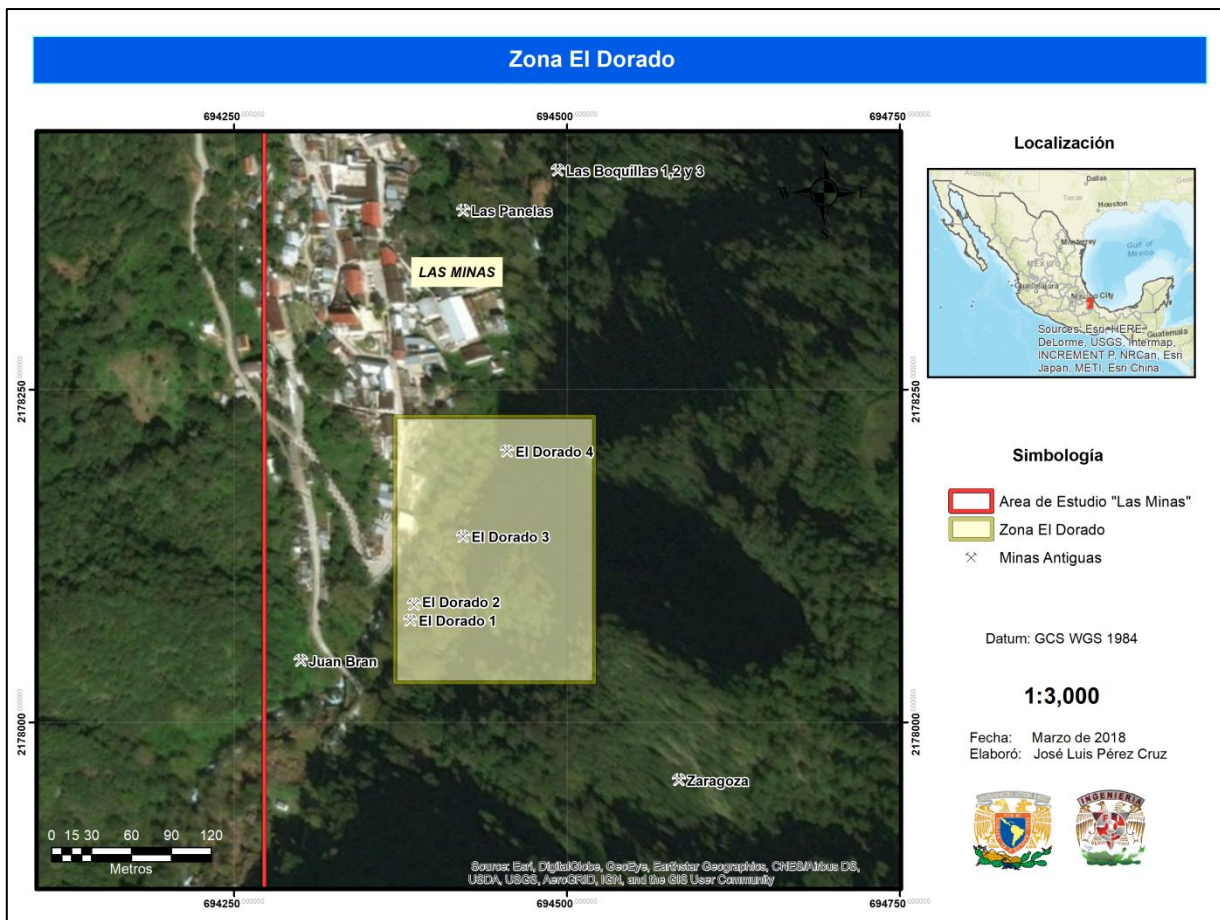


Figura 5.3 – Localización de zona de El Dorado

Fuente: ESRI, HERE, DeLorme, Intermap, INCREMENT P, MapmyIndia, NGCC, © Open StreetMap.

5.1.2 Geología

Las rocas expuestas comprenden rocas ígneas intrusivas y rocas metamórficas ambas del Terciario (Figura 5.4). La roca más antigua en el recuadro de la zona El Dorado corresponde a un mármol y al skarn al ser parte del metamorfismo de contacto. El mármol con una textura granoblástica fina, de color blanco a gris claro, con bandas, masivo, que conserva parte de la estructura original de estratificación y la foliación está bien marcada por lo que tiene una inclinación definida hacia el noreste. El mármol se encuentra afectado por una intrusión de granodiorita de textura equigranular de grano medio a fino, que se caracteriza por su alto contenido de magnetita. La granodiorita está cortando a una diorita verde oscuro de textura porfídica, con intenso fracturamiento con rellenos de cuarzo y piritita. La granodiorita, de color más claro, tiene numerosas fracturas, pero no tiene rellenos. Entre la granodiorita y el mármol se encuentra un cuerpo grueso de skarn, que tiene una textura granoblástica fina y contiene bandas gruesas de magnetita y sulfuros, expuesto en una dirección norte – sur, de 170 m de largo y 30 m de ancho que se une al cuerpo de skarn de Las Boquillas en el arroyo

Chorro Poncho. El skarn presenta una calcosilicatación muy importante y conserva una parte de la estructura original por lo que la foliación está muy bien marcada hacia el noreste. Todas las rocas se encuentran afectadas por fallas, de tipo lateral como se identificó en el portal de la boca mina El Dorado 4, con rumbo general NE-SW.

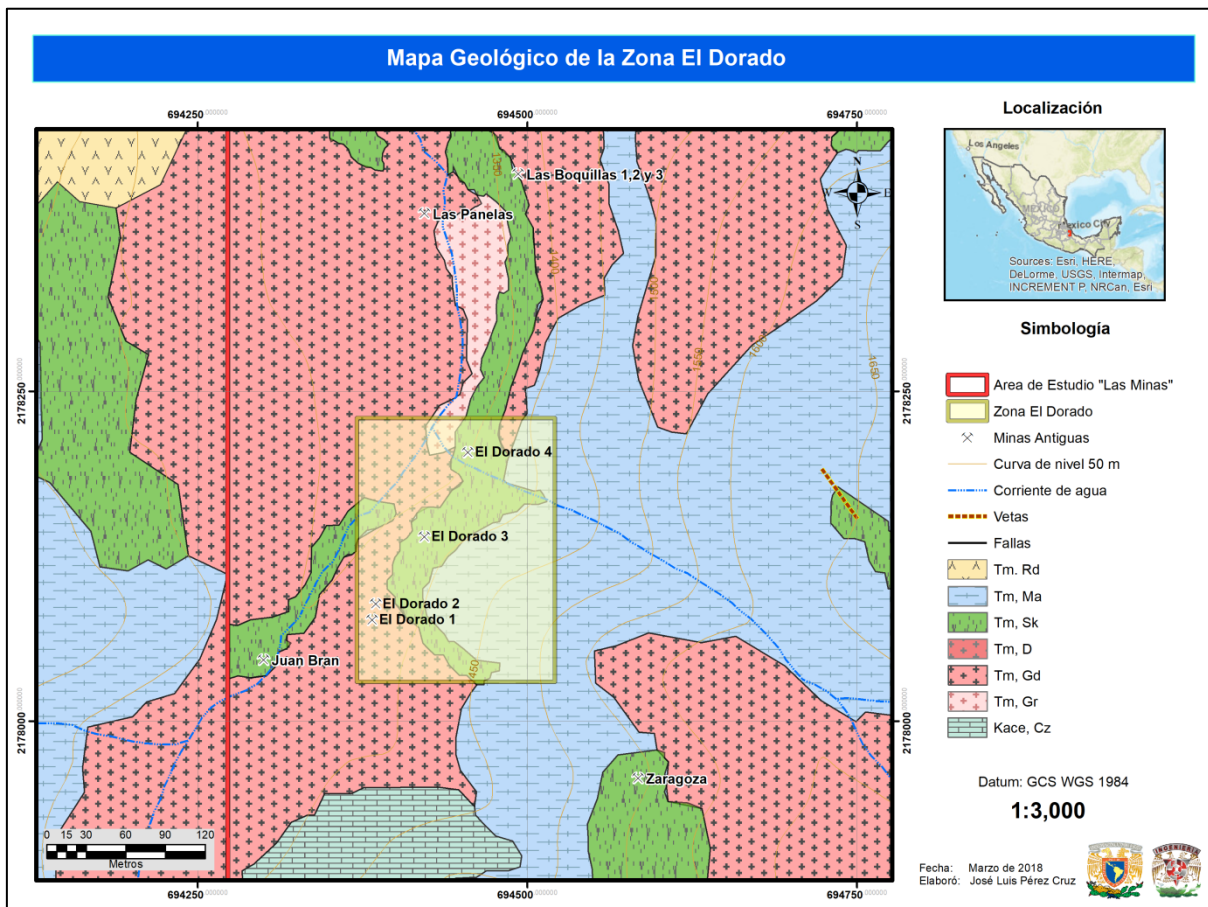


Figura 5.4 – Mapa geológico El Dorado.

5.1.3 Estratigrafía

La estratigrafía reconocida en el área de El Dorado comprende unidades metamórficas e ígneas. Las rocas metamórficas más antiguas corresponden a un mármol y al skarn al ser parte del metamorfismo de contacto. El mármol se encuentra en la parte media y alta del cerro Grande de Las Minas, se encuentra en contacto con un skarn. El skarn, que resultó por contacto y reemplazamiento con las rocas intrusivas de composición granodiorítica y dioríticas. El skarn es muy importante por alojar la mineralización de óxidos y sulfuros de Fe y Cu. En las obras mineras El Dorado 4 y El Dorado 6, en el contacto entre el mármol y la granodiorita se encuentra un cuerpo delgado con estructura delgada a masiva, de magnetita, con calcopirita. Muy cerca de la zona de contacto se encuentran diques

delgados de andesita y dacita, con magnetita y numerosas vesículas parcialmente rellenas de calcita y cuarzo. Según fechamiento las rocas ígneas intrusivas tienen una edad miocena. (Dorantes C. et al., 2016), (S.G.M., 2007)

Mármol (Tm, Ma)

El mármol es de color blanco a gris claro, de textura granoblástica fina, con foliación bien definida con inclinación hacia el noreste, masivo y en parte bandeado. Está expuesto en las localidades de las antiguas minas El Dorado 2 y el Dorado 3, desde los 1400 m hasta las 2100 m en el área de la mancuerna por lo que se estima un espesor de 450 a 500 m. Se encuentra siempre sobre el skarn o directamente en contacto con una granodiorita. Por su posición se le asigna una edad relativa del Mioceno (Tm, Ma). No se observa mineralizado porque durante su formación se comportó como una unidad de roca refractaria por lo que su mineralización es baja.

Diorita (Tm, D)

La diorita es de color verde oscuro, de textura variable de porfídica a textura de cristales más finos, con cristales euedrales de hornblenda y con un contenido bajo de magnetita de hasta 5% y pirita con 1 a 2%. Presenta una alteración propilítica con clorita, epidota, cuarzo y calcita en venillas como en rellenos de fracturas. Cuando la diorita está expuesta por una falla normal menor como se observa en el arroyo Chorro Poncho, la meteorización resalta las fracturas y venillas con rellenos de cuarzo y se muestran como finas “costillas” en la superficie. En la zona de El Dorado, la diorita se presenta como xenolitos dentro de una granodiorita. Por su fechamiento y posición se le asigna una edad del Mioceno (Tm, D) (Dorantes C. et al., 2016).

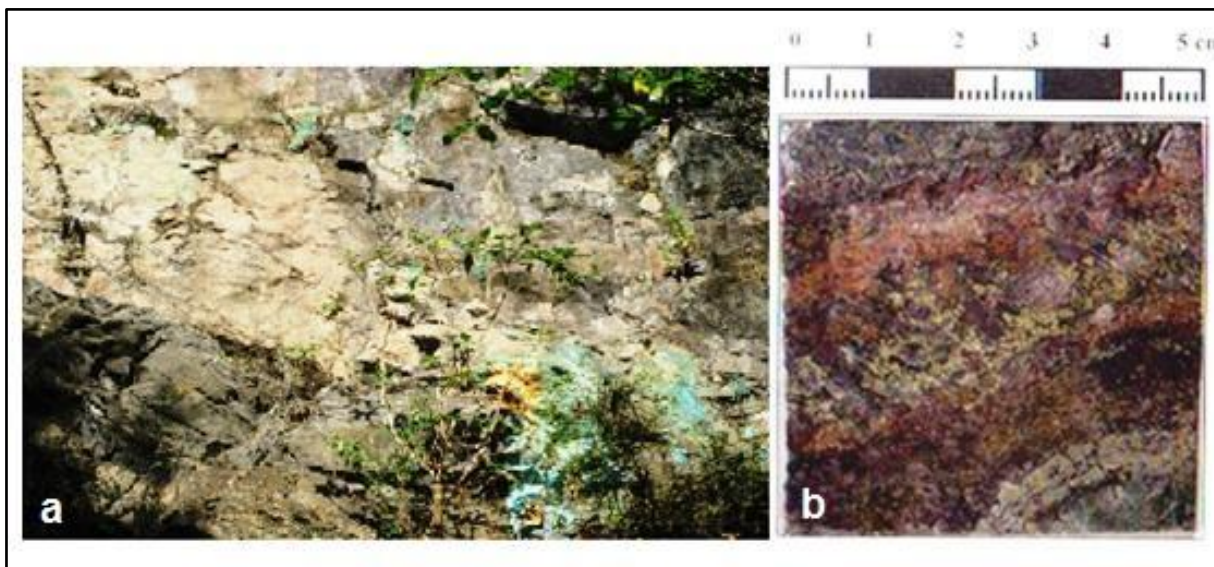
Granodiorita (Tm, Gd)

La granodiorita es de color gris claro, de textura porfídica, de tamaños de cristales medio a fino. La plagioclasa y el feldespato potásico son anedrales y la hornblenda es euedral con tamaños de 2 a 3 mm. El cuarzo se presenta con un porcentaje menor a 5 % y la pirita es 1 % o menor. Destaca por su contenido de magnetita (de 5 a 6%) o ligeramente mayor. Se encuentra intrusionando al mármol y contribuyó a la formación de un cuerpo grueso de skarn. Se le asigna una edad de Mioceno (Tm, Gd). Presenta una alteración de calcosilicatación por reemplazamiento del cuarzo en la matriz que desarrolló grosular con magnetita y calcopirita como parte del *endoskarn*.

Skarn (Tm, Sk)

El cuerpo de skarn es de color pardo claro a pardo oscuro. La textura granoblástica es fina, compuesta por grosular de color pardo, también se presenta granate de tono pardo verdoso en una menor proporción y se encuentra intercrecido con magnetita en estructura masiva a bandeada (Fotografía 5.1), con gránulos y bandas de calcopirita. La magnetita es de grano fino, subedral, masiva

y ocurre en un porcentaje alto, de 30 hasta 50%; la calcopirita se presenta diseminada y en bandas finas y ocurre entre un 4 y 5%.



Fotografía 5.1 – a). Skarn de grosular con calcopirita en contacto con un dique de dacita. Nótese los sulfatos derivados de la intemperización de la calcopirita. b). El Dorado 4, y grosular en bandas finas de magnetita con calcopirita.

Por su posición y fechamientos de la parte retrógrada del skarn, se le asigna una edad Mioceno (Tm, Sk). La mineralización principal es de magnetita, calcopirita, pero se encuentran fracciones de hematita y bornita. La magnetita y los sulfuros resultaron de un reemplazamiento por calco-silicatación como parte del *exoskarn*, con una leve alteración propilítica

5.1.4 Alteraciones

En la zona El Dorado la alteración predominante es el skarn, que consiste en un reemplazamiento por calco-silicatos, conformado por masas y bandas gruesas de grosular, en una superficie de 170 m de largo por 30 m de ancho, con una burda orientación norte – sur, en la zona del contacto entre la granodiorita (Tm, Gd) y el mármol (Tm, Ma). Se presenta una ligera alteración hidrotermal tardía de baja temperatura, con la presencia de clorita y epidota.

5.1.5 Muestreo de esquirlas (Chip sample)

En el área de El Dorado se realizaron muestreos de esquirlas, en la zona de skarn, precisamente en un cuerpo de granate y magnetita; las muestras arrojaron valores promedio significativos (Tabla 5.1)

Al encontrar los sitios con presencia de óxidos de hierro y/o sulfuros de cobre, estas zonas se midieron y se marcaron con pintura de color rojo, dividiéndose en tramos de entre dos a un metro de longitud, cada tramo dividido se le asignaba una clave o número de boleto para tomar la muestra y así tenerla identificada. Las muestras fueron cortadas con cincel y marro y las esquirlas obtenidas se colocaron dentro de bolsas de plástico gruesas; aproximadamente la cantidad recolectada por muestra fue de 2 a 3 kg (Fotografía 5.2).



Fotografía 5.2 – Marcado de zonas de muestreo (izquierda) y obtención de muestra evitando contaminar el contenido con pintura

Zona El Dorado	Longitud [m]	Au [g/t]	Cu [%]
El Dorado 1	12	0.76	2.06
El Dorado 1	16	1.17	2.4
El Dorado 3	42	0.47	0.77

Tabla 5.1 – Resultados de las muestras de canal El Dorado. Fuente: Reporte técnico MEX-NI-43-101 disponible en <http://www.mexicangold.ca/>

5.1.6 Barrenación

Con base en el muestreo en superficie, en interior de mina y con los antecedentes considerados, se planearon barrenos a diamante en el área de El Dorado. Se llevaron a cabo los barrenos denominados LM-11-ED-6, LM-11-ED-7, LM-11-ED-8, LM-11-ED-9, LM-11-ED-10, LM-11-ED-11, LM-11-ED-12, LM-11-ED-13, LM-11-ED-14, LM-11-ED-15, LM-11-ED-16, LM-11-ED-17, LM-11-ED-18 y LM-11-ED-26. Estos barrenos se planearon para comprender mejor las relaciones de contacto y la profundidad y dirección del skarn con o sin mineralización (Tabla 5.2). Dado que la mineralización se encuentra en la margen derecha del río Las Minas, la plantilla de barrenación se programó con el objeto de cubrir un área aproximada de 180 por 200 metros (Figura 5.4).

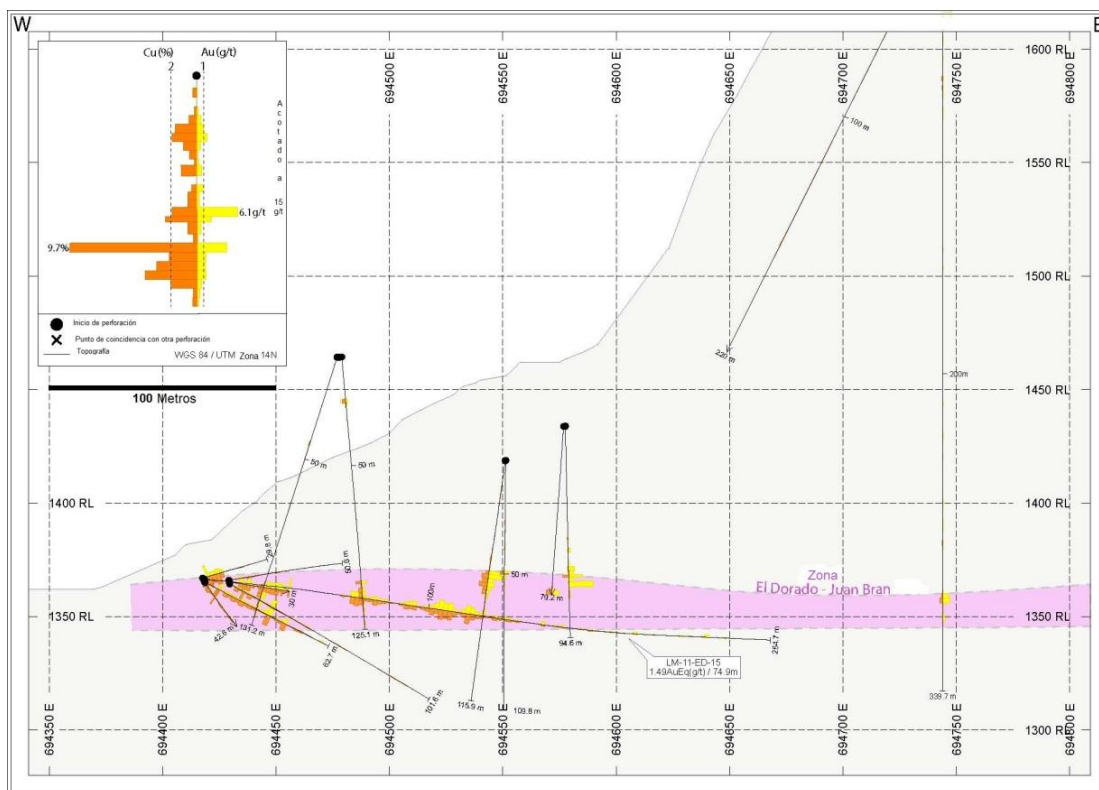


Figura 5.5 – Ejemplo de lugar y dirección de barrenos en la zona de El Dorado. Fuente: Secciones de perforación, disponible en <http://www.mexicangold.ca/>, modificado.

Barreno	Inclinación	Objetivo [m]
LM-11-ED-6	-25°	100
LM-11-ED-7	10°	50
LM-11-ED-8	-5°	100
LM-11-ED-9	-5°	100
LM-11-ED-11	10°	30
LM-11-ED-12	-3°	150
LM-11-ED-15	-5°	150
LM-11-ED-16	20°	50
LM-11-ED-17	-20°	50

Tabla 5.2 – Ejemplo de direcciones en las perforaciones de El Dorado. Fuente: Archivo mapas, disponible en <http://www.mexicangold.ca/>, modificado.

Resultados de la perforación

El barreno LM-11-ED-8 fue perforado para probar la extensión de la mineralización próxima a los trabajos de minado antiguos de El Dorado. Este barreno se perforó a menos 5 grados e intersectó

33.6 metros de mineralización con valores anómalos de Au, Ag y Cu. Los valores más significativos se muestran en la Tabla 5.3.

Barreno	Zona	Desde	Hasta	Intervalo [m]	Au [g/t]	Ag [g/t]	Cu [%]
LM-11-ED-08	El Dorado	4.7	38.3	33.6	0.73	2.85	0.68
LM-11-ED-09	El Dorado	0	13.4	13.4	0.33	3.17	0.78
	El Dorado	29.9	51	21.1	0.88	0.05	1.6
LM-11-ED-15	El Dorado	-	-	21.1	0.88	5.05	1.6

Tabla 5.3 – Resultados significativos de la primera fase de barrenación en El Dorado. Fuente: Comunicado de prensa del 12 de diciembre de 2011 y 3 de mayo de 2011 disponible en <http://www.mexicangold.ca/>

La mineralización típica de la zona consiste en una asociación de calcopirita, pirita y magnetita, en la fotografía siguiente se muestra parte de una muestra ya cortada con disco de punta de diamante por la parte medía del testigo recuperado (Fotografía 5.3).



Fotografía 5.3 – Muestra de 10 cm mineralizada de la zona de El Dorado

5.2 Zona Las Boquillas

El área de Las Boquillas se ubica al oriente de Las Minas, comprende las antiguas obras mineras Las Boquillas 1, Las Boquillas 2, Las Boquillas 3, Las Panelas y otros de menor tamaño. En la zona se

llevaron a cabo trabajos de muestreo en superficie, y en interior de mina, mapeo geológico y barrenación a diamante.

5.2.1 Ubicación

Se localiza 160 m al oriente de Las Minas, en las coordenadas X= 694,493 mE, Y= 2,178,421 mN y Z= 1,350 m, en la margen derecha del río Las Minas (Figura 5.6). Zona del polígono en verde Las Boquillas.



Figura 5.6 – Zona en verde de Las Boquillas al este del pueblo de Las Minas

Fuente: ESRI, HERE, DeLorme, Intermap, INCREMENT P, MapmyIndia, NGCC, © Open StreetMap.

5.2.2 Geología.

Las rocas expuestas comprenden rocas ígneas intrusivas y rocas metamórficas ambas del Terciario que ya habían sido reconocidas en trabajos geológicos regionales anteriores (SGM, 1998). Las rocas metamórficas más antiguas corresponden a un mármol y al skarn al ser parte del metamorfismo de contacto. El mármol con una textura granoblástica fina, de color blanco a gris claro, con bandas, algunas compuestas por grosular, con fracturas rellenas de hematita y goethita. El mármol se encuentra afectado por una granodiorita de textura porfídica con variación a textura de grano más fino. En la textura porfídica destacan los cristales de hornblenda negra eudral y los granos de magnetita. La granodiorita también se encuentra en forma de dique grueso. La granodiorita a su vez tiene intrusiones menores de diorita porfídica de hornblenda, pirita, con un porcentaje más alto de magnetita que la granodiorita y del granito de biotita. Entre la granodiorita y el mármol se encuentra un cuerpo de skarn que consiste de masas y brechas de grosular con un porcentaje alto de magnetita bandeada (Figura 5.7). Asociado a la magnetita se presentan sulfuros y sulfatos de cobre. Las unidades de roca se encuentran afectadas por una deformación frágil que consiste de un fracturamiento regional de orientación NE-SW y una falla regional de tipo lateral izquierdo. En el área se presenta la alteración por reemplazamiento que consiste en calcosilicatación y posteriormente sobreimpuesta, una alteración hidrotermal de baja temperatura (propilítica)

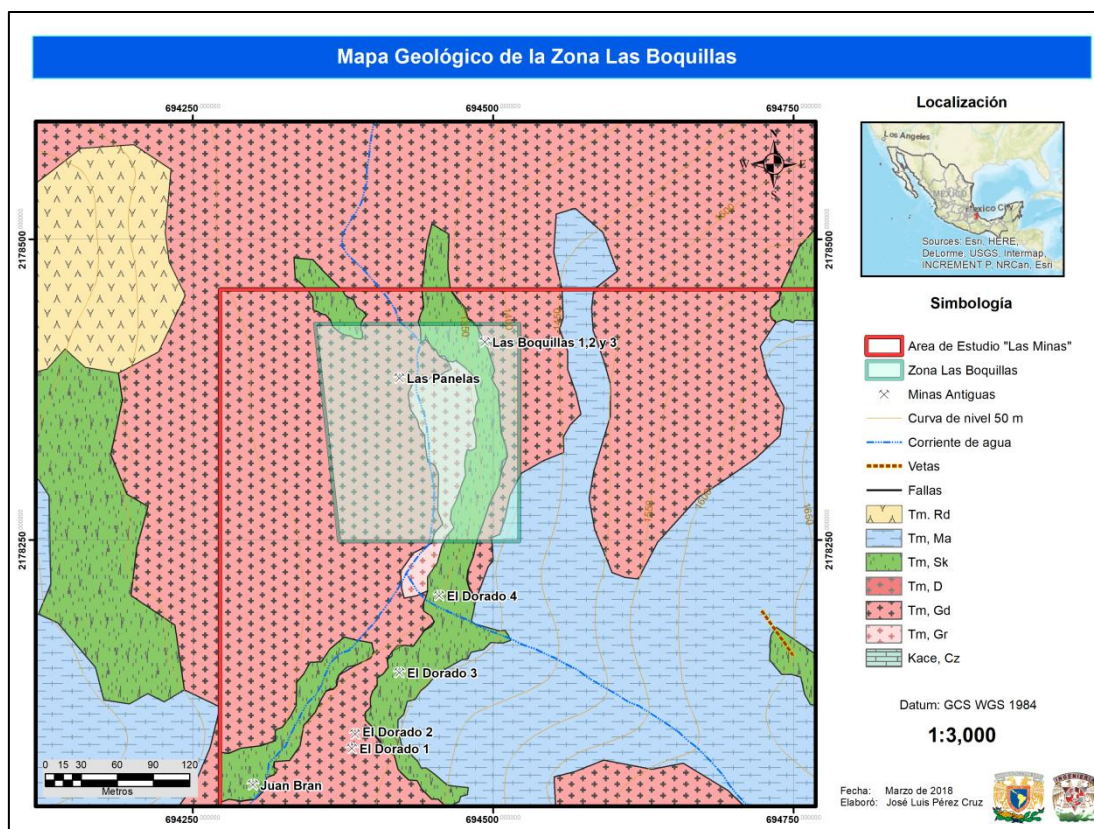


Figura 5.7 – Mapa geológico del área de Las Boquillas.

5.2.3 Estratigrafía y estructura

La estratigrafía reconocida en el área de Las Boquillas comprende unidades sedimentarias, metamórficas e ígneas. Las primeras consisten de masas y algunos estratos de caliza cretácica, en forma aislada en el Cerro Grande en el municipio Las Minas. Las rocas ígneas intrusivas son de composición intermedia que afectan a las rocas sedimentarias y metamórficas. Estas últimas constituidas por un skarn siendo las más importantes por alojar la mineralización de óxidos y sulfuros de Fe y Cu.

Caliza (Kace, cz)

La caliza es de color gris claro a verde pálido, de textura micrítica, ligeramente arcillosa, con capas o laminaciones, con fósiles reemplazados por cuarzo o pirita, ocasionalmente presenta bandas y lentes de pedernal gris. La roca pertenece a la Formación Orizaba, de edad Cretácica del Albiano – Cenomaniano, (Kace, cz). Comúnmente se encuentra como masas o grandes bloques dentro del mármol y parcialmente como xenolitos dentro de la granodiorita. No se presenta mineralizada y no presenta alteraciones.

Mármol (Tm, Ma)

El mármol es de color blanco a gris claro, de textura granoblástica de grano fino, con estructura masiva a bandeada, con partes de caliza arcillosa verde claro a gris claro. Destaca el contenido de pirita que tiene un contenido de entre 1 y 2% así como clorita y epidota. En algunas porciones se encuentran bandas de skarn de grosular y se encuentra cortado por mantos delgados o vetas delgadas de magnetita, calcopirita, hematita, goethita. El mármol ha sido asignado al Mioceno (Tm, Ma). Presenta dos cristalizaciones; una es de color gris, de grano fino, durante un metamorfismo por contacto de baja temperatura y otra cristalización de color blanco, de grano mediano a grueso por una temperatura mayor por contacto con cuerpos ígneos intrusivos. En general no se presenta mineralizado y durante su formación se comportó como una unidad de roca refractaria por lo que su mineralización es baja.

Granodiorita (Tm, Gd)

La granodiorita es de color verde claro, de textura equigranular, hipidiomórfica, con masas de cristales de plagioclasa, feldespato potásico, hornblenda euedral, cuarzo en un 5%, biotita subedral y magnetita, en un contenido de 6 a 8%, con cristales accesorios de pirita euedral a subedral. Se encuentra como estructura cortante a la caliza o al mármol en forma masiva y en ocasiones como diques delgados. Presenta una fractura intensa a moderada, con rellenos de cuarzo, pirita, clorita y epidota. Esta roca alberga mineralización importante en el skarn, con magnetita y calcopirita, como

parte de un *endoskarn*. La alteración primaria es una calcosilicatación compuesta por grosular y presenta sobreimpuesta una alteración hidrotermal de clorita y epidota con pirita. La granodiorita ha sido asignada al Mioceno (Tm, Gd) por su relación de corte con la caliza y el mármol, además de su fechamiento (Dorantes C. et al., 2016). Su mineralización primaria consiste de un valor alto de magnetita, del rango de 6 a 8%, presenta además, una mineralización que consiste de calcopirita 1-2% y pirita 1%. La alteración consiste en una calcosilicatación por reemplazamiento, se sospecha sea andradita por su coloración verde pálido, la más importante, asociada con magnetita masiva o bandeada como parte de un *endoskarn*. Presenta una alteración hidrotermal propilítica de baja temperatura que consiste de clorita, epidota y pirita (1%) que se presenta sobreimpresa a la calcosilicatación y ocasionalmente se presenta parcialmente silicificada. La importancia de esta unidad es su participación directa en la formación del skarn y en la mineralización de magnetita y calcopirita en la zona de Las Boquillas.

Skarn (Tm, Sk)

El skarn se ubica entre el mármol y la granodiorita. Tiene una textura granoblástica, ligeramente bandeado, de grano fino y medio. Está constituido por grosular, de color pardo oscuro a pardo claro, con bandas y masas de magnetita negra masiva o granular, masas o bandas finas de calcopirita, gránulos de pirita y cristales de flogopita. En menor proporción se presentan masas de andradita. La magnetita en algunas fracciones llega a ser de 50%, con calcopirita de 3 a 4% y pirita el 1%. Se ha asignado al Mioceno por su relación entre el mármol y la granodiorita (Tm, Sk). La mineralización principal es de magnetita, calcopirita, pero se encuentran fracciones de pirita y cuarzo. La magnetita y los sulfuros resultaron de un reemplazamiento por calcosilicatación como parte del *exoskarn*, mientras que la pirita y el cuarzo se formaron por una alteración hidrotermal posterior de baja temperatura con la presencia de clorita y epidota.

Diorita (Tm, D)

La diorita es de color verde oscuro, de textura porfídica, con porciones equigranulares, con plagioclasa, hornblenda y magnetita. Destaca el contenido de magnetita que llega a estar entre 8 y 10% de total de la roca, que es una de las características que lo distingue de la granodiorita. La diorita se presenta como intrusiones menores y diques gruesos que afectan la caliza y se presenta como xenolitos dentro de la granodiorita; su edad según posición y por el fechamiento, es del Terciario (Tm, D). Presenta a su vez numerosos xenolitos pequeños de mármol. Presenta una mineralización pobre que consiste de pirita del orden de 1 a 2% con una alteración hidrotermal propilítica con clorita y epidota. Ocasionalmente presenta masas de magnetita, vetillas de cuarzo, pirita, clorita, epidota. La

importancia de esta unidad es por su participación inicial durante la mineralización de skarn con magnetita y calcopirita, mineralización que llegó a ser asimilada y redepositada por la granodiorita.

Granito (Tm, Gr)

El granito es de gris claro a blanco, de textura fanerítica de grano fino, compuesta por feldespato, plagioclasa, cuarzo biotita. Se presenta como intrusiones menores que se encuentran cortando a la granodiorita y a la diorita, así como al skarn. El granito contiene 1% de pirita de grano fino, diseminada, asociada con venillas de cuarzo y con clorita y epidota. Se le asigna una edad relativa del Mioceno (Tm, Gr).

5.2.4 Alteraciones

La alteración predominante dentro del skarn en la zona de Las Boquillas es un reemplazamiento por calco-silicatación que consiste en masas y bandas gruesas de grosular, en una superficie de 250 m de largo y 20 a 30 m de ancho, en una poco definida orientación norte – sur, encajonada en la granodiorita (Tm, Gd) y muy cerca del contacto con mármol (Tm, Ma). Dentro de esta zona de alteración se presentan las obras mineras de Las Boquillas y Las Panelas. Arriba y debajo de la zona de skarn se presenta la granodiorita con una ligera alteración por oxidación y una alteración propilítica leve.

5.2.5 Muestreo de esquirlas (Chip sample)

Se tomaron muestras en las obras mineras de Boquillas 1, Boquillas 2, Boquillas 3 y Las Panelas, donde los mejores resultados de los ensayos se obtuvieron de Boquillas 2 y en el exterior de la mina (Tabla 5.4), en una zona muy próxima a la bocamina de Boquillas 2 en un cuerpo de granate con magnetita (Fotografía 5.4), el que es parte del endoskarn (Fotografía 5.5). En la zona de muestreo se pueden observar los lixiviados de cobre por la coloración azul-verdoso en el exterior de la mina (Fotografía 5.6).



Fotografía 5.4 – Muestreo en Boquillas 2 y detalle de las muestras marcadas para su control



Fotografía 5.5 – Parte del muestreo de esquirla donde se observa el imán atraído por la magnetita



Fotografía 5.6 – En la imagen de la izquierda como de la derecha se observa la lixiviación de mineral de cobre en tonalidades azules en la roca con presencia de calcopirita y pirita en una roca compuesta por granate de color pardo.

Zona Las Boquillas	Longitud [m]	Au [g/t]	Cu [%]
Las Boquillas 2	20	4.46	0.33
Las Boquillas 2	20	3.43	0.45
Superficie	12	3.7	0.4

Tabla 5.4 – Resultados más relevantes de las muestras de esquirla en Las Boquillas Fuente: Reporte técnico MEX-NI-43-101 disponible en <http://www.mexicangold.ca>

5.2.6 Barrenación

Con base en el muestreo en superficie, en interior de mina y con los antecedentes considerados, se planearon barrenos a diamante en el área de las Boquillas. Se llevaron a cabo los barrenos denominados LM-11-LB-1, LM-11-LB-2, LM-11-LB-3, LM-11-LB-4, LM-11-LB-5 con el propósito de cortar el skarn y determinar las relaciones de contacto con las rocas intrusivas y el contacto con las rocas metamórficas (Tabla 5.5).

Los barrenos fueron perforados en forma de abanico hacia el este franco, ya que la zona mineralizada y que arrojó resultados en Au, Ag y Cu en el muestreo de esquirla se encuentra enfrente del punto de barrenación en una pared de roca debajo de las obras antiguas de Las Boquillas.

Este programa de perforación perteneciente a la fase 1 en las zonas de El Dorado y Las Boquillas se ha centrado en la extensión potencial de las zonas conocidas más allá de los trabajos antiguos de la mina. La perforación en El Dorado indica una zona fuertemente mineralizada que se extiende hasta 180 metros más allá de la explotación minera antigua y permanece abierta a rumbo del afloramiento y a profundidad para más exploración directa.

La mineralización en Las Boquillas puede representar la extensión de la zona de El Dorado a unos 200 metros hacia el sur.

Barreno	Inclinación	Objetivo [m]
LM-11-LB-1	11°	100
LM-11-LB-2	0°	100
LM-11-LB-4	-25°	150
LM-11-LB-5	25°	150

Tabla 5.5 – Ejemplo de disposición de los barrenos. Referencia: Archivo de mapas, disponible en <http://www.mexicangold.ca/>, modificado.

Con la información arrojada por la barrenación, se realizó una sección que permitió comprender los cuerpos de skarn mineralizados que se encuentran entre las intrusiones de granodiorita – diorita y la cubierta de mármol. Se realizó en una línea de sección este-oeste, desde Las Boquillas hasta la zona de El Alto. En ella se muestra que el cuerpo de skarn se extiende con una suave inclinación hacia el oriente, aproximadamente entre 7° y 10°.

Resultados de la perforación

La zona de Las Boquillas tuvo resultados anómalos de Au, Ag y Cu, hecho que confirma la continuidad de la mineralización que aflora en superficie, los resultados se muestran en la tabla (Tabla 5.6).

Barreno	Zona	Desde	Hasta	Intervalo [m]	Au [g/t]	Ag [g/t]	Cu [%]
LM-11-LB-01	Las Boquillas	0	17	17	0.61	1.34	0.24
	Las Boquillas	113.4	114.8	1.35	2.25	1.45	0.37
LM-11-LB-02	Las Boquillas	0	8.9	8.9	0.76	1.47	0.24
LM-11-LB-03	Las Boquillas	0	8	8	0.94	2.15	1.97
LM-11-LB-04	Las Boquillas	0	2.8	2.8	0.37	0.96	0.29
LM-11-LB-05	Las Boquillas	0	16	16	1.35	2.74	0.45

Tabla 5.6 - Los resultados se presentaron en las 5 perforaciones desde LB-01 hasta LB-05. Fuente: Comunicado de prensa del 3 de mayo de 2011 disponible en <http://www.mexicangold.ca/>

5.3 Zona El Chango

El área de El Chango se ubica al este de Las Minas y comprende las antiguas obras mineras El Alto, El Chango, El Llanillo 3 y el Llanillo 4. En la zona se llevaron a cabo trabajos de muestreo en superficie, trabajos de muestreo en interior de mina, mapeo geológico y barrenación a diamante.

5.3.1 Ubicación

Se localiza 700 m al este de Las Minas, en las coordenadas X= 695,037 mE, Y= 2,178,300 mN y Z= 1,851 m, en la localidad de El Chango (Figura 5.8).

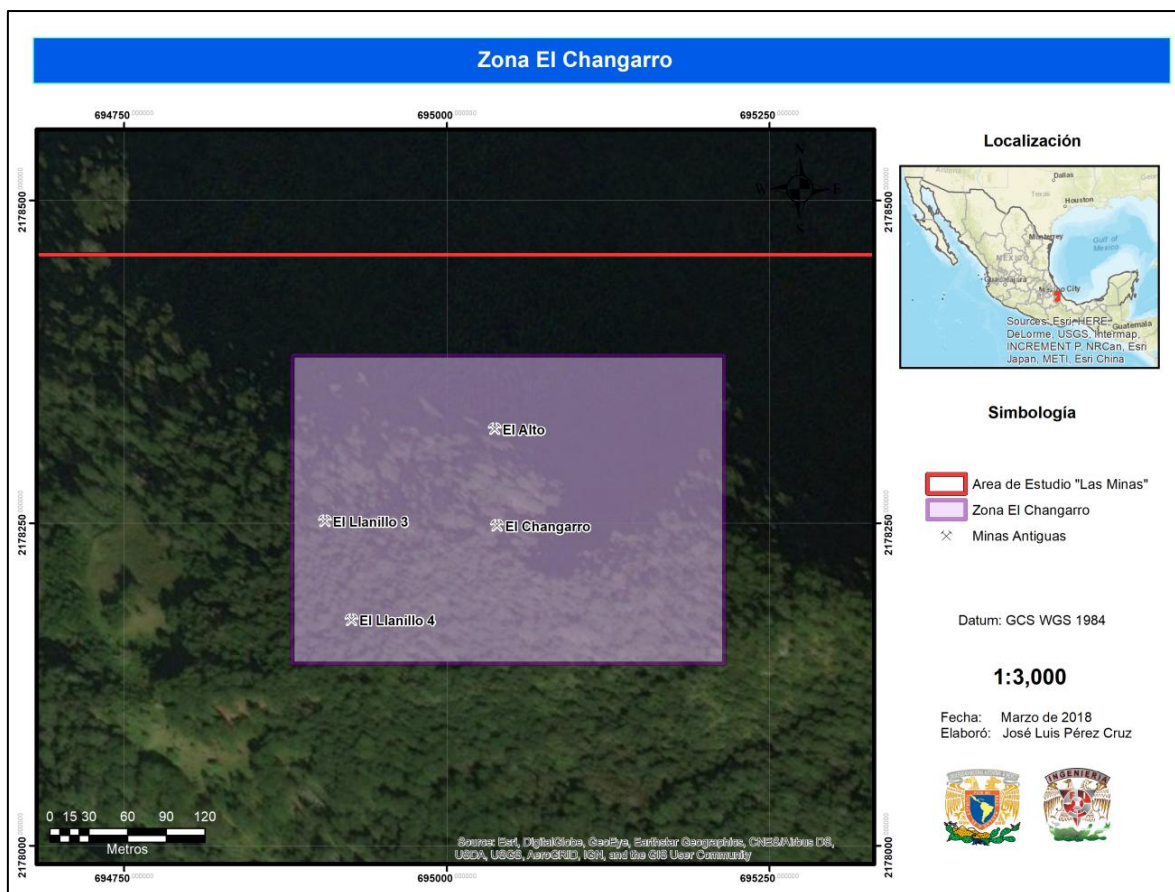


Figura 5.8 – Zona de El Chagarro, las minas de mayor importancia fueron El Chagarro y El Alto

Fuente: ESRI, HERE, DeLorme, Intermap, INCREMENT P, MapmyIndia, NGCC, © Open StreetMap.

5.3.2 Geología

Las rocas expuestas comprenden rocas metamórficas y rocas intrusivas de corta extensión. Las rocas metamórficas fueron cartografiadas en la escala 1:50,000 por el Servicio Geológico (SGM, 1998). La roca más antigua es un mármol con una textura granoblástica fina, de color blanco a gris claro, con bandas, algunas compuesta por grosular, con fracturas rellenas de hematita y goethita. El mármol se encuentra afectado por diques de granodiorita de textura porfídica con variación a textura de cristales más finos. En la textura porfídica destacan los cristales de hornblenda negra euedral y los granos de magnetita. El mármol presenta vetas de magnetita, calcopirita, hematita, goethita y calcita en un patrón regional NW-SE. Localmente se presentan manifestaciones menores de masas y lentes de skarn de granate tono marrón verdoso y diques de granodiorita. El mapa geológico se muestra en la figura 5.9.

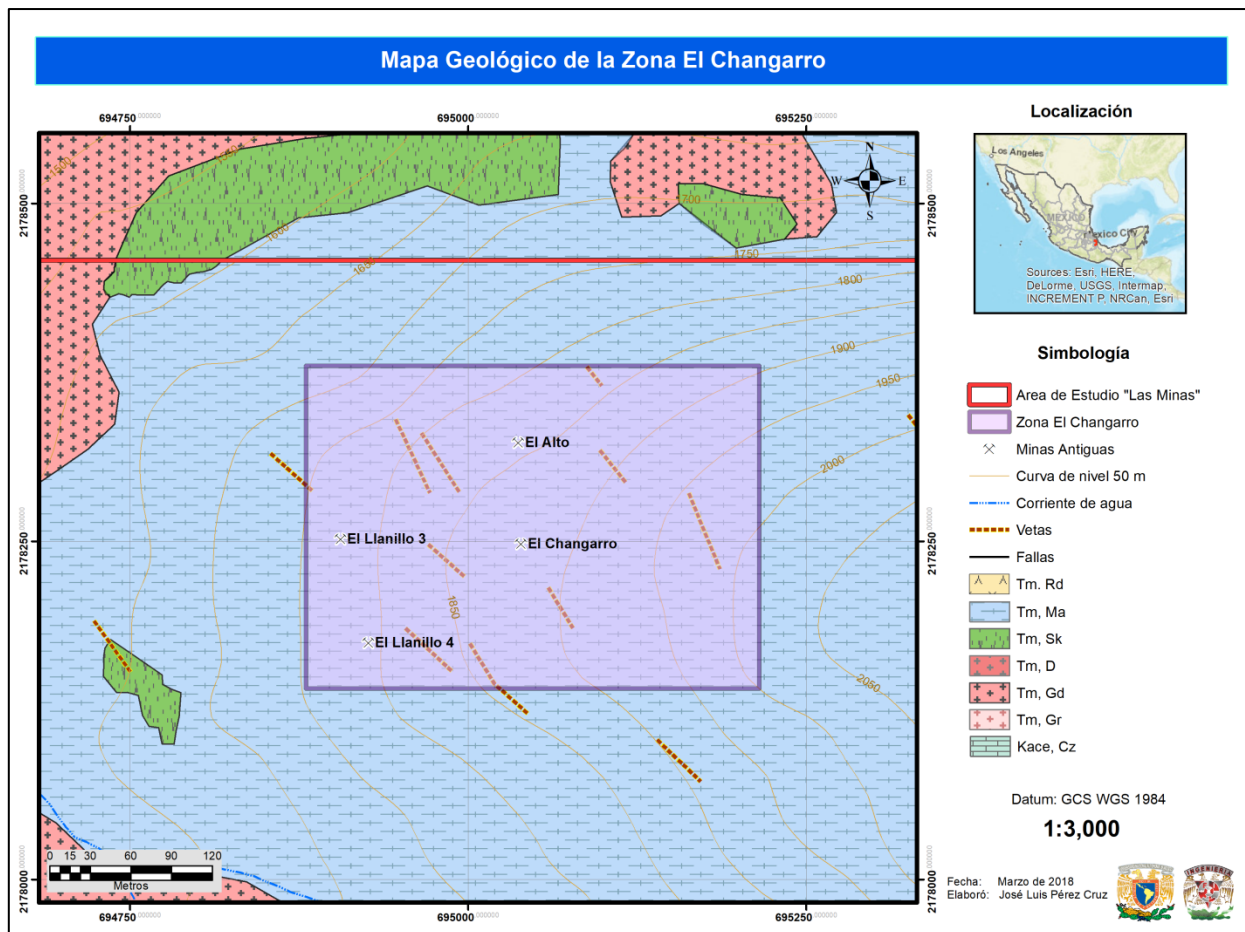


Figura 5.9 – Geología de la zona alta de El Chango.

5.3.3 Estratigrafía

La roca más antigua es un mármol expuesto en las localidades El Llanillo, El Chango, La Mancuerna, con foliación bien definida por su inclinación al NE, con un bandeamiento marcado por la presencia de lentes y bandas finas de grosular. El mármol se encuentra intrusionado por un cuerpo granodiorítico con afloramientos discretos pero que se reconocen por su estructura cortante.

Mármol (Tm, Ma)

El mármol es de color blanco a gris, de textura granoblástica fina, con foliación N40E, 30, que se presenta como un cuerpo masivo de 400 m de espesor. En la zona de El Llanillo el mármol está expuesto a una altura de 1400 m y en la zona de la Mancuerna está a una altura de 1200 m por lo que podría tener 500 m de espesor. Por su posición se le asigna una edad relativa al Mioceno (Tm, Ma).

Granodiorita (Tm, Gd)

La granodiorita es de color verde claro, de textura porfídica, de grano medio a fino, con cristales de hornblenda eudral, magnetita, clorita y epidota. Se encuentra expuesta en la barranca de El Changarro, se reconoce en la mina del mismo nombre y se observa parcialmente en el interior de la mina El Alto. Se encuentra en estructura cortante con el mármol en un contacto con andradita. Esta roca como ya se ha mencionado pertenece al mismo pulso de rocas del Mioceno (Tm, Gd). La intrusión que va de la mina El Alto a la mina El Changarro produjo vetas de magnetita, calcita, calcopirita y vetas de cuarzo, hematita, goethita y pirita emplazadas en el mármol. Estas estructuras se reconocieron en las obras mineras El Llanillo 3 y El Llanillo 4.

5.3.4 Alteraciones.

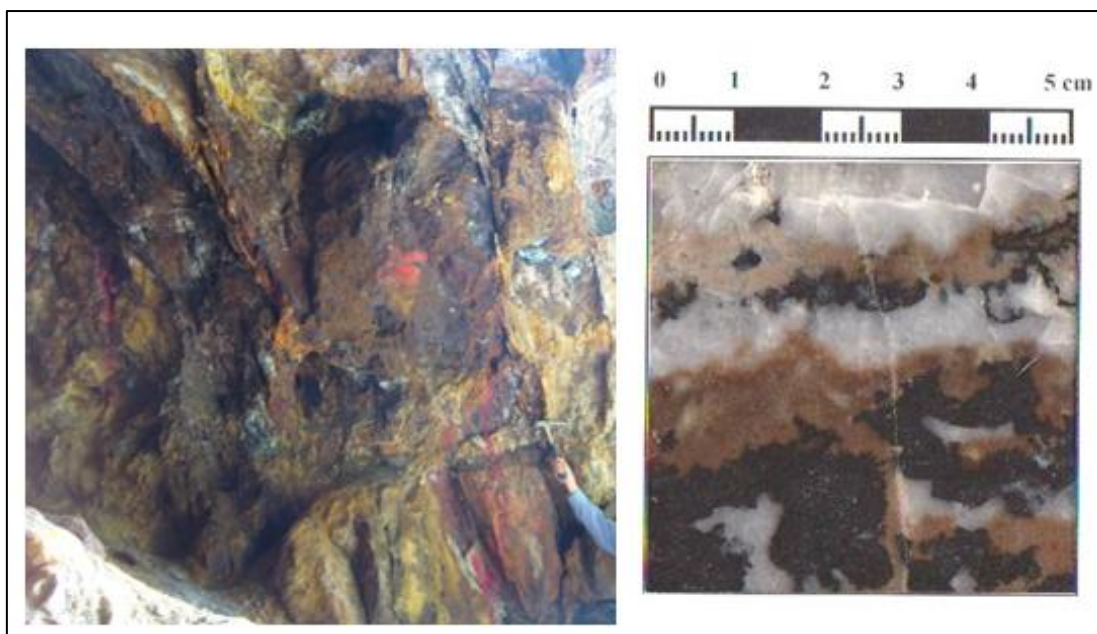
La alteración predominante son zonas menores y aisladas de óxidos en la barranca de El Changarro. Los óxidos son hematita y goethita, con cuarzo, calcopirita y algunos sulfatos de cobre diseminados parcialmente en el mármol y distribuidos en las vetas de cuarzo, hematita, goethita, como es el caso de El Changarro.

5.3.5 Muestreo de esquirlas (Chip sample)

En esta área se encuentra una antigua obra minera muy conocida en la zona por la extracción de oro en la época colonial. Se localiza a 1794 msnm y se aloja en mármol, afectado por un dique granodiorítico prácticamente vertical. Las muestras de esquirla dentro de la obra antigua arrojaron una serie de ensayos de alta ley (Tabla 5.7) la mineralización existente es de calcopirita, magnetita y granate rojo – marrón. El mármol es en ocasiones gris pálido a blanco y varía de grano fino a grano grueso, con una textura granoblástica (Fotografía 5.7).

Zona	Longitud (m)	Au [g/t]	Ag [g/t]	Cu [%]
El Changarro	8	9.92	20.78	0.63

Tabla 5.7 – Valores promedio de exterior e interior mina en obra antigua El Changarro. Fuente: Comunicado de prensa del 10 de mayo de 2011 disponible en <http://www.mexicangold.ca/>



Fotografía 5.7 – Obra minera antigua el changarro y del detalle de la mineralización en el mármol

5.3.6 Barrenación.

Con base en el muestreo superficial y la sección geológica de campo se planearon barrenos para conocer la estructura y la profundidad del mármol y la presencia de un skarn a profundidad en el contacto con la granodiorita. Se planearon y llevaron a cabo los barrenos LM-11-CH-33, LM-11-CH-35, LM-11-CH-38 y LM-11-CH-39, (Tabla 5.8).

Barreno	inclinación	Blanco [m]
LM-11-CH-33	-60°	200
LM-11-CH-35	-70°	200
LM-11-CH-38	-70°	150
LM-11-CH-39	-75°	150

Tabla 5.8 – Ejemplo de la disposición de las perforaciones. Referencia: Archivo mapas, disponible en <http://www.mexicangold.ca/>, modificado.

Los barrenos se planearon para cortar desde la cima del mármol para encontrar el contacto con la granodiorita y la zona de skarn entre las dos unidades, así como cortar las estructuras de vetas de magnetita NW-SE que se presentan cortando el mármol.

Resultados de la perforación

Los resultados más significativos en cuanto a Au, Ag y Cu, fueron los del barreno LM-11-CH-38 (Tabla 5.9) que confirma que existe continuidad de la mineralización que aflora en superficie. Los demás barrenos fueron abandonados al estar perforándolos debido a la naturaleza del terreno; en uno de los barrenos se interceptó una caverna o antigua obra minera en la que se perdieron hasta 60 metros de tubería.

Barreno	Zona	Desde	Hasta	Intervalo [m]	Au [g/t]	Ag [g/t]	Cu [%]
LM-11-CH-38	El Chango	46.8	74.8	28	0.67	25.52	0.18
	El Chango	62.75	65.75	3	1.19	148	0.36

Tabla 5.9 – Resultados de la zona de El Chango más significativos. Fuente: Comunicado de prensa del 26 de enero de 2012 disponible en <http://www.mexicangold.ca/>

5.4 Zonas complementarias (Santa Cruz-Nopaltepec)

Para complementar la evaluación se estudiaron hacia el sur, sureste del pueblo de Las Minas, el área de Santa Cruz-Nopaltepec. En esta zona se encuentran las antiguas obras mineras de Nopaltepec (En la zona del mismo nombre) al este de ésta se encuentran las obras La República, La República 3, La Garma, El Mayate, La Maruri y Mari (Zona Santa Cruz). En este sector se realizó muestreo de canal, mapeo geológico y barrenación a diamante.

5.4.1 Ubicación

Estas zonas se localizan aproximadamente a 470 metros de la zona de El Dorado y son divididas por una corriente de agua llamada Río Frio, que en su margen derecha se encuentra la zona de Santa Cruz y en su margen izquierda se localiza la zona de Nopaltepec Figura (5.10).

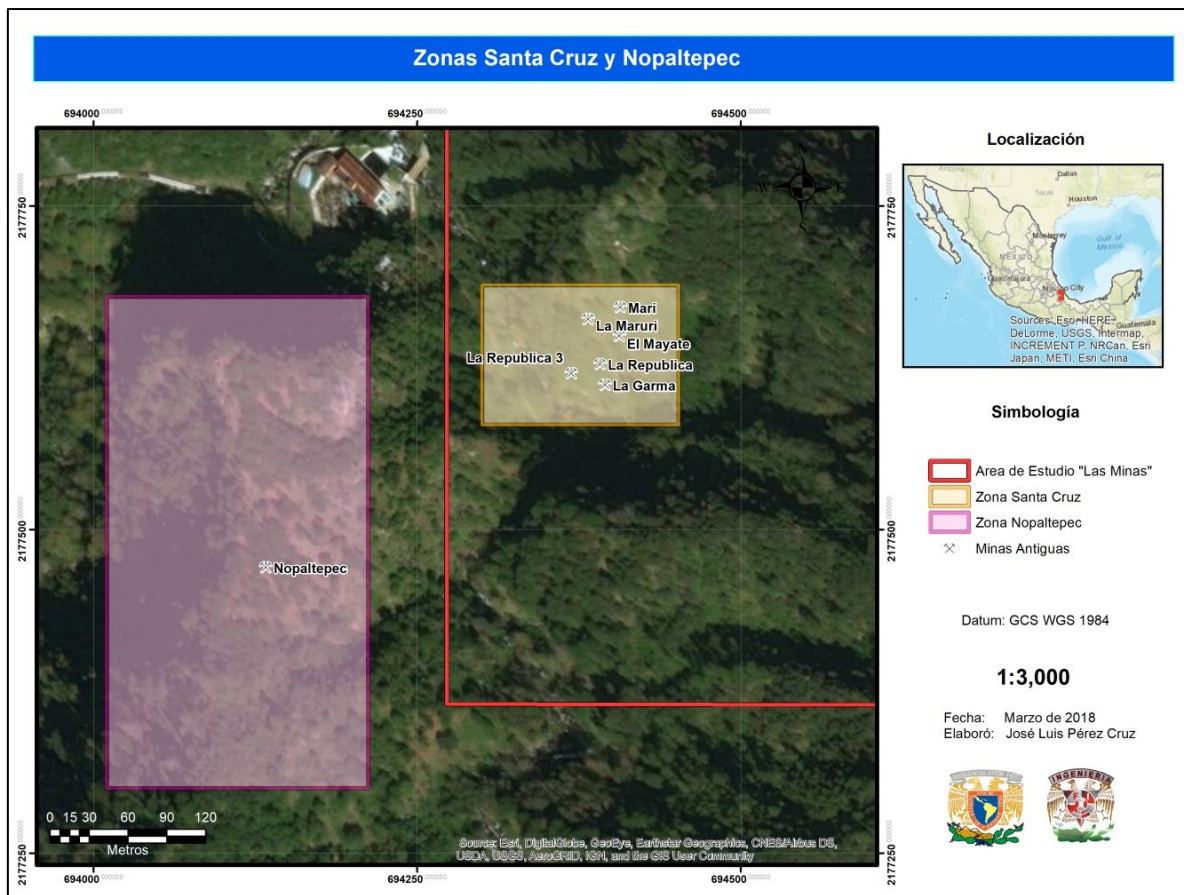


Figura 5.10 – Mapa de ubicación de las áreas al sur-suroeste

Fuente: ESRI, HERE, DeLorme, Intermap, INCREMENT P, MapmyIndia, NGCC, © Open StreetMap.

5.4.2 Geología

En general las rocas de la zona de Santa Cruz-Nopaltepec (Figura 5.11) están constituidas por rocas ígneas intrusivas pertenecientes al mismo pulso de rocas de naturaleza granítica ya mencionadas, de edad del Mioceno (Dorantes C. et al., 2016); el mármol es la roca más antigua con una textura granoblástica, de color gris claro, con predominio del color blanco, masivo con una foliación con inclinación marcada al noroeste; esta roca metamórfica contiene bandas muy delgadas de magnetita, flogopita, fuchcita, calcopirita, clorita y epidota del Mioceno (Tm, Ma). También presenta vetillas de cuarzo, hematita y goethita. La granodiorita del Mioceno es de textura porfídica, de grano medio, con magnetita, en estructura cortante sobre el mármol y con una pobre mineralización de pirita, clorita y epidota. Entre el mármol y la granodiorita (Tm, Gd) se presenta un skarn de granate y óxidos, que presenta una buena mineralización de calcopirita y cobre nativo en venillas. El skarn se encuentra afectado por la falla lateral La Garma (Fotografía 5.8 y 5.9) de componente derecho, como se observó en la mina del mismo nombre y en la obra La República (Fotografía 5.10). La sección que va de Santa

Cruz y termina 800 metros al este, con dirección Este – Oeste, muestra un cuerpo grueso de skarn, en la Zona de Santa Cruz, en las localidades de arroyo Los Brujos y Nopaltepec.

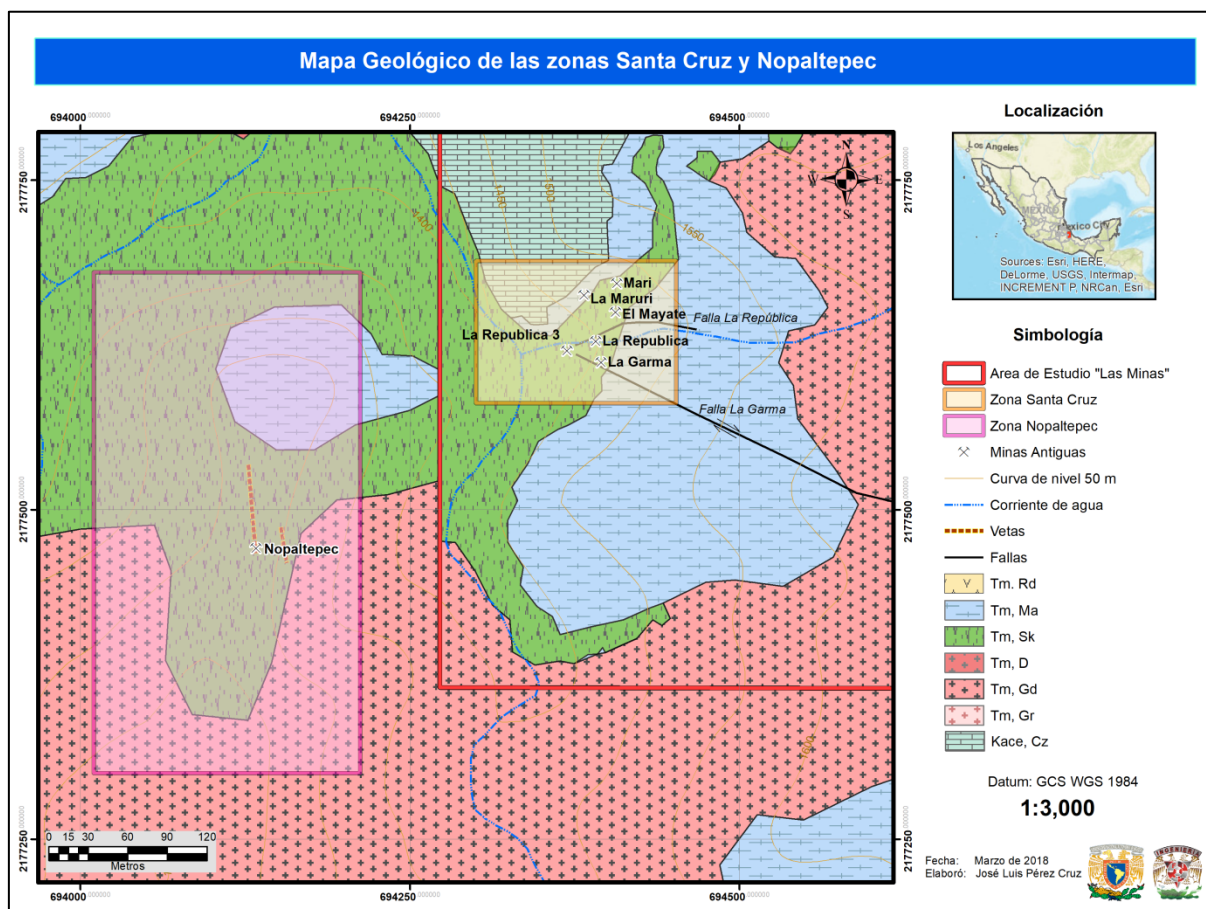


Figura 5.11 – Mapa de geológico del área Nopaltepec y Santa Cruz

5.4.3 Barrenación

Hacia el sur-sureste del pueblo de Las Minas, aproximadamente a 470 metros de la zona de El Dorado, se realizaron perforaciones en las áreas denominadas Santa Cruz y Nopaltepec, en donde se interceptaron tramos con altas leyes de Au, Ag y Cu (Tabla 5.10), que han incrementado la mineralización previamente esperada, de tal manera que la mineralización se extiende por aproximadamente 840 metros, desde la zona de Las Boquillas a la de Santacruz-Nopaltepec. En este sector y con lo interceptado por el barreno, LM-11-SC-36 y 37, se alcanza un espesor de hasta 200 metros de zona mineralizada de tipo skarn.

Barreno	Zona	Desde	Hasta	Intervalo [m]	Au [g/t]	Ag [g/t]	Cu [%]
LM-11-SC-41	Nopaltepec	22.8	192.15	169.35	0.26	1.61	0.12
	Incluyendo	-	-	14	0.76	2.59	0.21
LM-11-SC-36	Nopaltepec	-	-	82	1.08	2.54	0.4
LM-11-SC-42	Nopaltepec	33.15	35.15	2	0.36	0.8	0.11
LM-11-SC-44	Nopaltepec	10	34	24	1.17	4.23	0.38
	Incluyendo	-	-	6	2.24	7.23	0.61
	Incluyendo	46	72	26	0.62	3.89	0.35
	Incluyendo	-	-	8	1.19	6.38	0.56
	Incluyendo	82	98.6	16	0.69	4.14	0.45
LM-11-SC-45	Nopaltepec	55.6	75.6	20	8.22	7.4	1.29
	Incluyendo	-	-	4	37.26	25.4	4.01
	Incluyendo	-	-	10	15.89	12.98	2.25
LM-11-SC-47	Santa Cruz	240.6	252.1	11.5	0.18	1.2	0.13
LM-11-SC-49	Santa Cruz	68.2	113.8	45.6	0.34	0.28	0.11
	Incluyendo	-	-	4	1.28	0.9	0.41
	Incluyendo	-	-	42	1.08	3.05	0.42
	Incluyendo	-	-	18	2.21	5.18	0.64
LM-11-SC-50	Santa Cruz	76	166.6	90.6	0.75	3.31	0.4
	Incluyendo	-	-	48	1.3	5.63	0.68
	Incluyendo	-	-	24	2.06	8.62	1.04

Tabla 5.10 – Mejores valores encontrados en los barrenos de la zona. Fuente comunicado de prensa del 26 de enero de 2012 disponible en <http://www.mexicangold.ca/news/news-releases/>

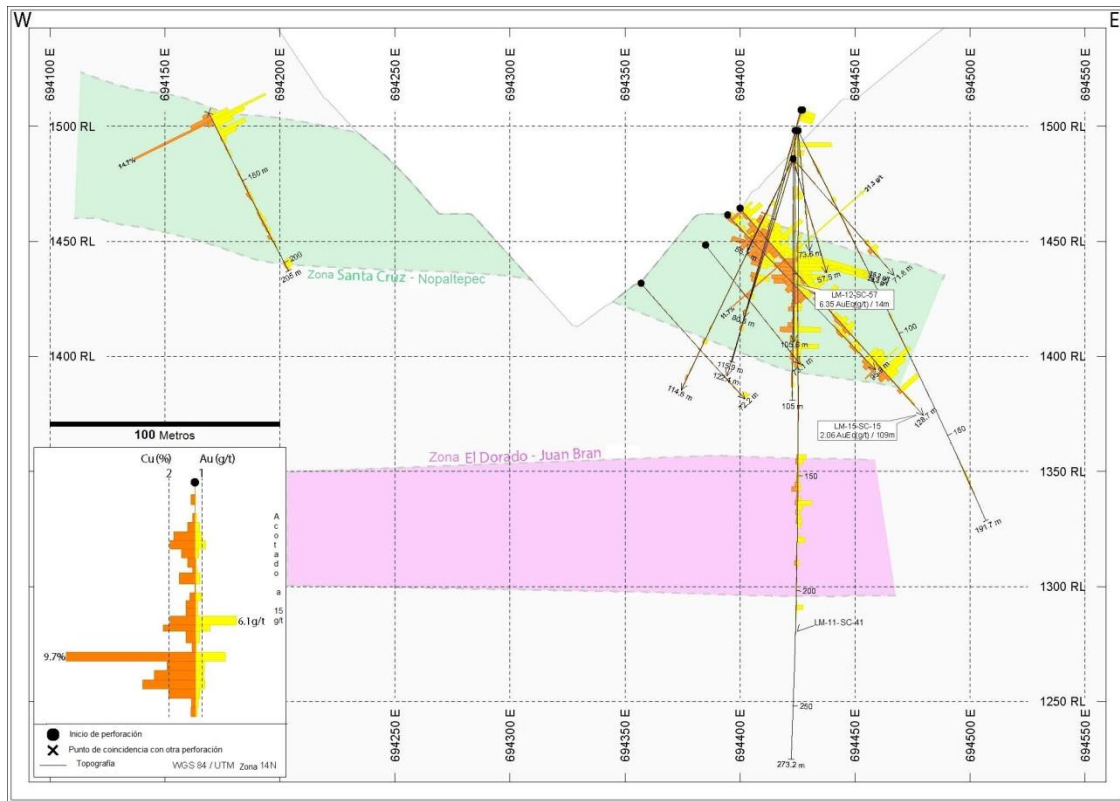
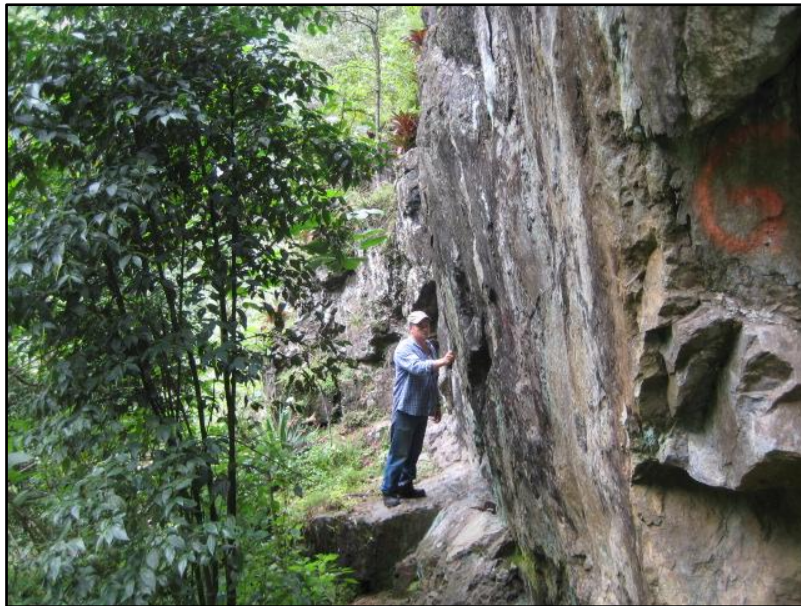


Figura 5.12 – Ejemplo de Sección con las rocas perforadas en la zona de Santa Cruz. Fuente: Secciones de perforación, disponible en <http://www.mexicangold.ca/>, modificado.



Fotografía 5.8 – Superficie de falla La Garma. Zona Santa Cruz



Fotografía 5.9 – Estrías y escalones de falla lateral derecha próxima mina La Garma



Fotografía 5.10 – Escalones de falla normal La República en la zona Santa Cruz

5.5 Análisis de Resultados

Con base en la integración de la información de la cartografía geológica, los resultados de las perforaciones, los resultados de laboratorio [SGS Servicios Minerales en Durango, México, el tipo de ensayo fue realizado para Au, Ag, Cu y otros 33 elementos. Au: FAA313 (ensayo de fuego de 30 g con espectroscopia de absorción atómica (AAS), 0.005 ppm a 10.0 ppm). Ag: AAS12E (2 g de digestión acuática, determinación de AAS, 0.3 - 300 ppm). 34 elementos (incluido Cu): ICP14B (digestión agua regia seguida inductivamente plasma acoplado - determinación de espectroscopia de emisión atómica (ICP-AES); Cu 0.5 ppm a 10,000 ppm).], de las muestras de núcleo y las secciones generadas, se conformó un modelo 3D, en el que se comprueba la existencia de dos cuerpos con mineralización importante, el primero, denominado El Dorado – Juan Bran (cuerpo de color rosa) y el segundo denominado Santa Cruz – Nopaltepec (cuerpo de color verde). Con esto se puede proponer un programa de barrenación a diamante que permitirá confirmar y/o actualizar la extensión del

depósito mineral inferido. En las Figuras 5.13 y 5.14, tanto en planta cómo en sección, se observa una zona donde no se han hecho perforaciones, esta franja comprendida entre las secciones 8230 y 7780 en su parte oeste, aunado al punto propuesto para barrenación (en amarillo) y que de acuerdo al modelo 3D podría existir continuidad a profundidad del cuerpo mineralizado de color rosa, por lo que se propone la perforación de un barreno para comprobar dicho cuerpo.

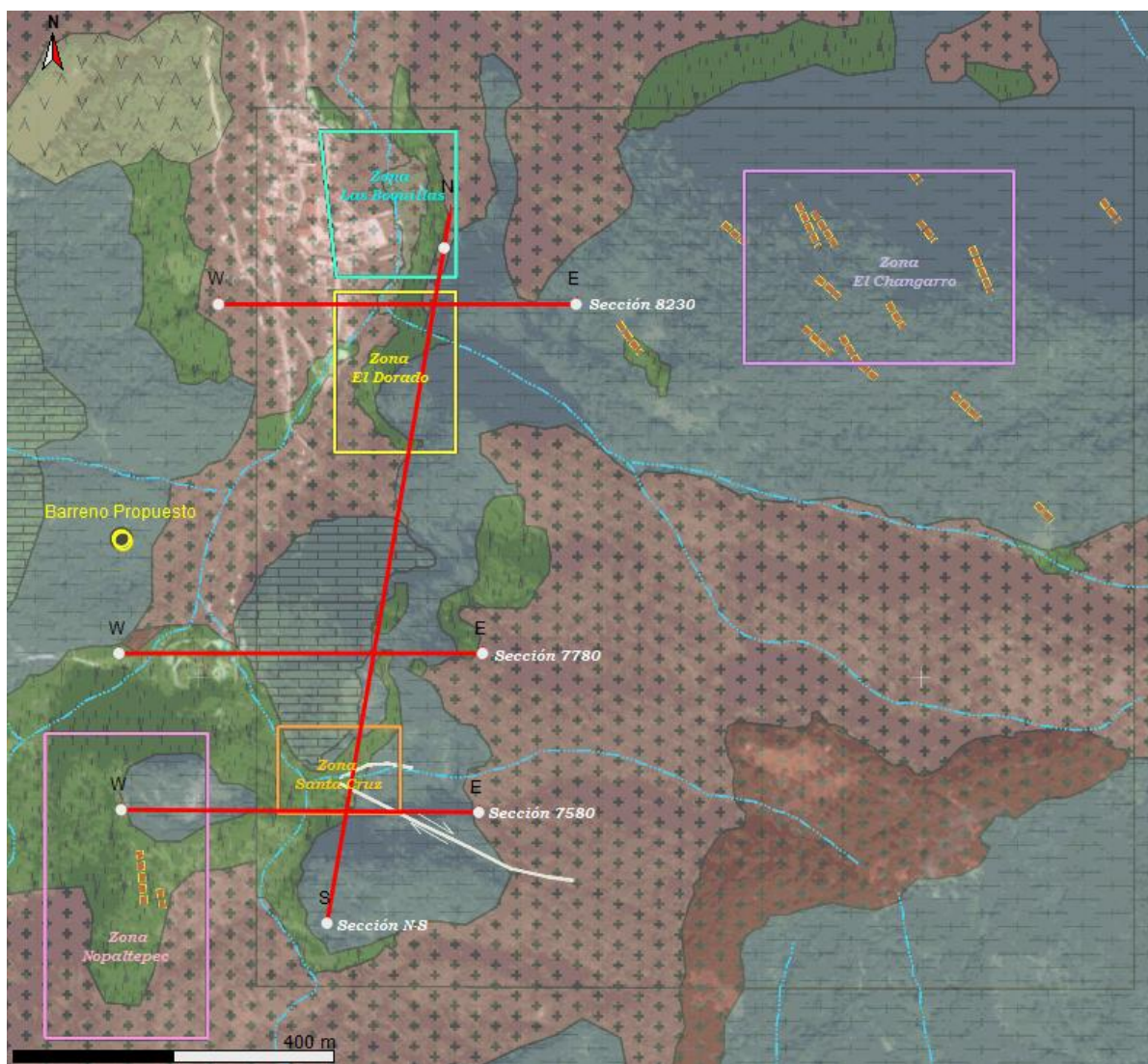


Figura 5.13 – Vista en planta del Modelo 3D del área de estudio Las Minas

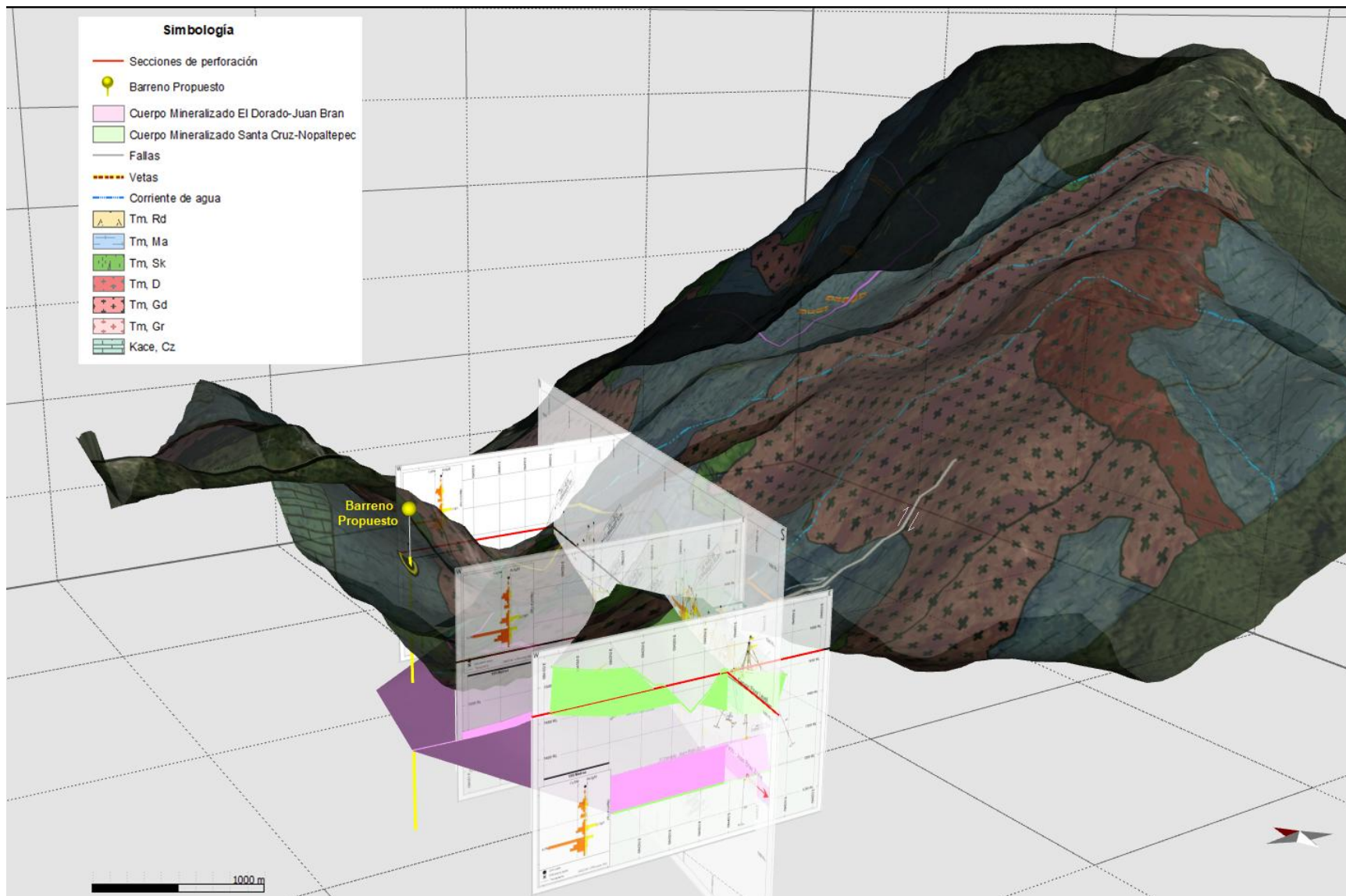


Figura 5.14 – Modelo 3D del área de estudio Las Minas

Conclusiones

Existen al menos tres episodios magmáticos que se han reconocido en los barrenos perforados. La intrusión más antigua es una diorita, de color verde oscuro, de textura porfídica a textura de grano más fino, con plagioclasa, cuarzo 2-3%, biotita, magnetita 8-10%, pirita 1-2%, clorita y epidota. Se encuentra cortando al mármol y contiene xenolitos de caliza y también se presenta como xenolitos dentro de una granodiorita.

La segunda intrusión es la de una granodiorita, de color verde claro, textura porfídica con algunas partes con textura de grano medio más fino, parcialmente silicificada, plagioclasa, feldespato potásico, cuarzo 3-5%, biotita, magnetita 2-3%, clorita, epidota. Se encuentra cortando al mármol y a la diorita.

Una tercera intrusión corresponde a un granito que se encuentra cortando a la granodiorita.

La mineralización con valores económicos presente en los barrenos, que de acuerdo a la zonación o aureola de un depósitos tipo skarn, se encuentran prácticamente en todas las zonas: la zona próxima, (zona de ocurrencia de granate + cuarzo + cobre y oro en zona de Las Boquillas) la zona intermedia (en donde se encuentra la zona de El Dorado) y la zona distante donde se sitúa la zona de Santa Cruz, en la que según lo mostrado en las perforaciones se tienen epidota, granate y mármol.

La zonación o aureola de metamorfismo cuenta con una extensión de aproximadamente 1000 metros y un ancho de 190 metros aproximadamente, el depósito mineral tiene un espesor variable aproximado que va desde los 18 metros en Las Boquillas, 28 metros en El Dorado y 82 metros en Santa Cruz.

En la zona comprendida del Chagarro, así como entre el Chagarro y Las Boquillas se recomienda continuar con la exploración en superficie y con barrenación a diamante para confirmar o descartar el potencial de la zona mineralizada. Sin embargo, esta zona del proyecto Las Minas es de las que más implica trabajo en cuanto a la logística de traslado de materiales para colocar planillas de perforación, por lo que se recomienda realizar más perforaciones en las zonas probadas con existencia de mineralización, ya que se requiere tener una mayor densidad de sondeos para cuantificar los recursos de toda el área, sobre todo hacia el norte de Santa Cruz y al oeste de la zona de El Dorado.

Se tienen resultados de laboratorio en prácticamente toda el área perteneciente al proyecto Las Minas, sobre todo en las zonas más próximas a las márgenes de los ríos, ya que éstas son más accesibles.

Aunque en la parte sur de la zona de Santa Cruz se tienen muy buenos valores en el skarn, se tiene una área abierta a la exploración, la zona comprendida entre el dorado y la zona de la mina Juan Bran

(esta zona se encuentra al oeste fuera del polígono principal, a unos cuantos metros del mismo) y la zona de Las Boquillas-El Dorado y hacia la zona de El changarro, se recomienda seguir con la perforación de estas dos zonas.

Es probable encontrar más mineralización, por lo que hay que continuar en la búsqueda, a la par de los trabajos de perforación (si la logística y la economía lo permite) con la exploración en superficie para encontrar zonas que sean susceptibles a barrenación, la cartografía sería de escala 1: 20,000 para mayor detalle. Por otra parte, se tiene perforación en las zonas del skarn ya identificadas como la parte próxima-media-distante del depósito, sin embargo debido a que este tipo de mineralización está asociado a un sistema hidrotermal ocasionado por las intrusiones post-Laramílicas, es probable que se manifieste un típico zoneamiento metálico Cu-Pb-Zn.

Es posible interceptar el cuerpo mineralizado llamado El Dorado-Juan Bran al perforar en la franja donde se encuentra el punto en amarillo en la figura 5.13, zona al nor-noroeste de la hidroeléctrica de Las Minas, la cual se encuentra a las faldas del cerro Nopaltepec y al sur- suroeste de la mina Juan Bran, zona comprendida al oeste de las secciones 8230 y 7780. Por lo tanto, y ya que en dicha área se encuentran las mismas asociaciones de rocas que en la zona de Santa Cruz, se espera interceptar la continuidad del cuerpo mineralizado El Dorado-Juan Bran y añadirle extensión hacia el oeste del área o se puede dar el caso opuesto y verificar que ya no existe tal extensión.

Fuentes de información

- Aguilera, Martínez M. A., Vergara Martínez A. 1985. Informe final del proyecto Tatatila-Las Minas, municipios de Tatatila y Las Minas, estado de Veracruz. Informe C.R.M.
- C. G. Dorantes Castro, 2016 “Características Petroológicas y Geoquímicas de los Intrusivos Relacionados a la Mineralización y Paragénesis del Skarn tipo IOCG en la Zona Minera de Las Minas, Estado de Veracruz.” Instituto Politécnico Nacional, Tesis de licenciatura. 132 pp.
- Dorantes C., González Partida E., Camprubi A., Canet C., González Ruiz L.F., Rodríguez Galeotte J. E., Castro Mora J., 2016, Características petrológicas y geoquímicas de los intrusivos relacionados a la mineralización del yacimiento tipo IOCG en la Zona Minera de las Minas, Estado de Veracruz, INAGEQ 112-121.
- Dorantes, C., 2018, Características petrológicas y geoquímicas de Las Minas, Veracruz, disponible en <http://explorock.com/caracteristicas-petrologicas-y-geoquimicas-de-las-minas-veracruz/>
- Fitz-Díaz, E.; Lawton, T. F.; Juárez-Arriaga, E.; Chávez-Cabello, G. , The Cretaceous-Paleogene Mexican orogen: Structure, basin development, magmatism and tectonics, Earth Science Reviews, abril de 2017
- Gobierno del Estado de Veracruz, Sistema de información municipal, cuadernillos municipales, 2015. Las Minas. P. 7
- Gómez-Tuena, A., Orozco-Esquivel, T., y Ferrari, L. Petrogénesis Ígnea de la Faja Volcánica Transmexicana. 2005. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Volumen Conmemorativo del Centenario. Temas Selectos de la Geología Mexicana. Tomo LVII, número 3: 227-285.
- I.N.E.G.I., Mapa Digital de México Disponible en <http://gaia.inegi.org.mx/mdm6/?v=bGF00jE5LjU5MjQ4LGxvbjotOTYuNzZzMjksejo1LGw6YzQxNQ==&layers=c411,c414,c415,consultado el 29/12/2017>
- I.N.E.G.I., 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Las Minas, Veracruz de Ignacio de la Llave. P. 2
- Maksaev, 2001. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Universidad de Chile Disponible en <https://www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/metalogenesis.html>, consultado el 25/04/2018
- Martínez, L., 2006, Hidrografía de la cuenca del río Las Minas, Estado de Veracruz. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F.
- Meinert, L.D., 1983, Variability of skarn deposits: Guides to exploration, Revolution in the earth sciences, Kendall-Hunt Publishing Company, p. 301- 316
- Meinert, L.D., Dipple, G.M., and Nicolescu, S., 2005, World skarn deposits: ECONOMIC GEOLOGY 100TH ANNIVERSARY, p. 299–336

- Mexican Gold Corp., 2018, disponible en <http://www.mexicangold.ca/las-minas/ni-43-101-mineral-resource-estim/>
- Ortega-Gutiérrez, F., Mitre-Salazar, L. M., Roldán-Quintana, J., Aranda Gómez, J. J., Morán-Zenteno, D. J., Alaniz-Álvarez, S. A., Nieto Samaniego, Á. F., 1992, Carta geológica de la República Mexicana, quinta edición escala 1:2.000,000: México, D. F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología; Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, Consejo de Recursos Minerales, 1 mapa.
- Pirajno Franco, 2009, Hidrothermal processes and mineral systems: Australia, ed. Springer, pp. 365-543.
- Rodríguez Elizarrarás S. R., Morales Barrera W. V. 2010, Geología: En: Atlas del patrimonio natural, histórico y cultural del estado de Veracruz, tomo I patrimonio natural. Gobierno del estado de Veracruz .P. 45-59
- S.G.M., 2007a. Monografía Geológico-Minera del Estado de Veracruz Segunda Edición.
- S.G.M., 2007b. Carta geológico minera, E14-D26, Perote, Veracruz y Puebla, 2007.
- Teresa Orozco-Esquivel, Chiara M Petrone, Luca Ferrari, Takahiro Tagami, Piero Manetti., 2007, Geochemical and isotopic variability in lavas from the Eastern Trans-Mexican Volcanic Belt: Slab detachment in a subduction zone with varying dip, Lithos, Vol. 93, p, 149-174.
- Valencia, M.D., 1980. Informe de la 1ª etapa del estudio de la zona Las Minas, Tatatila, Ver. Informe C.R.M.