



UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO

CAMPUS GUANAJUATO
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS



**Departamento de Ingeniería en Minas, Metalurgia y
Geología**

**“Programa de barrenación a diamante en San Diego
Curucupatzeo, Michoacán de Ocampo”**

TRABAJO DE EJERCICIO PROFESIONAL
Que para obtener el grado de:
INGENIERO GEÓLOGO

PRESENTA
JAIME OSVALDO RAMOS CRUZ

DIRECTOR DE TESIS:
Juan José Martínez Reyes
Universidad de Guanajuato

Guanajuato, Gto.

fecha

AGRADECIMIENTOS

Resumen

El proyecto en el área de San Diego Curucupatzeo en Michoacán consistió en mi participación como ingeniero en un proyecto de barrenación y logueo para la identificación de nuevos blancos minerales objetivos. Este objetivo se establece a partir de información geológica, geoquímica y geofísica previa. La característica de los yacimientos minerales en la región está relacionada a la evolución tectónica de la región, así como a la sincronía de los eventos geológicos que permitieron el emplazamiento de cuerpos magmáticos, del pertinente régimen de esfuerzos distensivos y a la circulación de fluidos hidrotermales y a la alteración que facilita la creación de importantes minerales que pueden ser explotados. Una vez que se ha creado un modelo geológico que pronostica la presencia de yacimientos minerales importantes en el subsuelo, las campañas de barrenación y logueo cobran mucha importancia. En este caso, las máquinas de barrenación con número 612 y 515 se encontraban ya trabajando en la perforación para identificar algunos blancos mineros de importancia. De estas perforaciones se extrajeron núcleos para análisis de los cuáles se identificaron datos importantes como las fracturas, fallas y tipo de alteración. Al mismo tiempo, se rehabilitaron zonas ya determinadas por los jefes de proyecto para la realización de nuevas perforaciones que complementarían la información ya existente con el fin de mejorar el modelo geológico.

ÍNDICE GENERAL

<u>RESUMEN</u>	<u>IV</u>
<u>TABLA DE CONTENIDO</u>	<u>V</u>
<u>LISTA DE FIGURAS</u>	<u>VI</u>
<u>1. GENERALIDADES DEL PROYECTO SAN DIEGO</u>	<u>1</u>
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2. ANTECEDENTES GENERALES	2
1.3. JUSTIFICACIÓN	3
1.4. HIPÓTESIS	4
1.5. OBJETIVOS.....	4
1.5.1. <i>OBJETIVO GENERAL</i>	4
1.5.2. <i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	4
1.6. LOCALIZACIÓN Y VIAS DE ACCESO.....	4
<u>2. CONFIGURACIÓN GEOLÓGICA</u>	<u>6</u>
2.1. GEOLOGÍA GENERAL	6
2.2. YACIMIENTOS MINERALES	8
2.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	14
2.4. ESTRATIGRAFÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO	19
<u>3. METODOLOGÍA DE CAMPO PARA LA BARRENACIÓN A DIAMANTE</u>	<u>25</u>
3.1. EXPLORACIÓN MINERALÓGICA MEDIANTE SONDEOS	25
3.2. ACONDICIONAMIENTO EN PLAZA DE BARRENACIÓN.....	26
3.3. ALINEAMIENTO DE POLINES	27
3.4. PROCEDIMIENTO PARA INICIAR A PERFORAR	28
3.5. PERFORACIÓN A DIAMANTE	29
3.6. REHABILITACIÓN EN PLAZAS DE BARRENACIÓN	30
<u>4. METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DEL LOGUEO</u>	<u>34</u>
4.1. LOGUEO GEOLÓGICO.....	34
4.2. PROCEDIMIENTO DEL LOGUEO GEOLÓGICO.....	37
4.3. PRUEBAS DE CALIDAD EN EL LOGUEO	41
4.4. MUESTREO	45
<u>5. ACTIVIDADES REALIZADAS DURANTE LA ESTANCIA LABORAL</u>	<u>46</u>
<u>6. CONCLUSIONES SOBRE LA ESTANMCIA LABORAL</u>	<u>50</u>
<u>REFERENCIAS</u>	<u>56</u>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización del área de estudio. En la Figura superior izquierda se visualiza la localización del área respecto la ciudad de Morelia, al norte de la ciudad de Villa Madero. San Diego se encuentra localizado al sureste de Villa Madero, mostrándose en la porción derecha de la figura.....	5
Figura 2. Mapa geológico de San Diego Curucupatzeo. Se muestra la litología del distrito minero según la carta geológica del Servicio Geológico Mexicano. En la parte inferior se muestra la sección estructural CC' que muestra el sistema de fallas predominante de la región	8
Figura 3. Principales sistemas de fallas en el área de estudio (Tapia Cruz, 2012)	18
Figura 4. Estratigrafía del área de estudio (Tapia Cruz, 2012)	24
Figura 5. A) GPS GARMIN ubicando nueva plaza de barrenación. B) Acondicionamiento plaza de barrenación con dimensiones de 5 x 5 m, buscando dejarla lo mejor anivelada posibles para proceder con la colocación de polines	26
Figura 6. Alineamiento de polines (Parte 2)	27
Figura 7. Inicio de la barrenación con la inclinación programada respectivamente	29
Figura 8. Esquema favorable para dar un barreno a diamante con el objetivo de cortar una estructura mineralizada, los ángulos y posición de la maquina, así como el tipo de barreno es normal que cambien, ya que se tienen que tomar en cuenta diferentes factores como la geometría del cuerpo mineralizado, profundidad del objetivo, accesibilidad al área de estudio y estabilidad del terreno (Moon, 2006)	30
Figura 9. A) Una vez que se empieza a perforar con el escariador, el cual permite un diámetro mayor para poder introducir tubería para encamisar, el diámetro de este normalmente se utiliza PQ. B) Una vez hecho el trabajo con el escariador se introduce la tubería PQ, esto para asegurar los primeros 15 a 20 del barreno. C) Las diversas piezas que componen el entubado del sondeo deben ser aislados por algún agente sellante. D) la perforación continua hasta llegar al objetivo (Fundamento del sistema ODEX)	30
Figura 10. Retiro de maleza y exceso de volumen para dejar un área apta para montar la quinaria	31
Figura 11. Maquina en operación, respetando el área de trabajo y adaptándola con señalética de precaución al transito vehicular	32
Figura 12. Distribución de semilla recolectada antes de empezar actividades en el área de trabajo	33

Figura 13. Esquema representativo de partes básicas en una maquina de barrenación a diamante	36
Figura 14. Esquema representativo de las partes de una sarta o barreno de perforación a diamante (Castilla).....	37
Figura 15. A) Representa la buena iluminación que tendría que existir en el lugar de logueo, además del acomodo correcto de caja de acuerdo con su metraje. B) Muestra la verificación del núcleo completo extraído. C) Núcleo medido y limpiado correctamente para un mejor análisis de su composición mineral. D) Medición de parámetros geotécnicos geotécnicos como RQD y recuperación del núcleo. E) Muestreo selecto de acuerdo con sus características minerales y desarrollo correcto del sistema QA/QC. F) Fotografía ordenada de los sondajes recuperados	39
Figura 16. Desarrollo de sistema de control QA/QC. A) Muestra estándar enmarcada en rectángulo de color amarillo. B) Muestra gemela enmarcada en color naranja	44
Figura 17. Diagrama de flujo sobre la metodología del desarrollo de logueo..	46
Figura 18. Tramo de 50 m logueado de acuerdo con la metodología desarrollada durante el proyecto, esta posteriormente era aprobada y cargada al software GVMapper.....	51

1. Generalidades del Proyecto San Diego

1.1 Introducción

El desarrollo de cualquier proyecto minero tiene como objetivo primordial el satisfacer las necesidades civiles respecto a los minerales de valor, como por ejemplo el cobre, la plata, el zinc y el oro, así como de corresponder económicamente a las empresas públicas y privadas interesadas en obtener un rendimiento. El estado actual de la minería en México es muy importante y se sostiene por el desarrollo de proyectos mineros por parte de empresas privadas principalmente. Las cifras resumidas según Ríos (2020) muestran que el sector minero-metalúrgico representa un poco más del 8.2% del producto interno bruto industrial y un 2.4% del producto interno del país. Estos porcentajes se traducen a la generación cerca de 381,456 empleos directos y 2.3 millones de empleos indirectos, así como grandes cantidades de dinero en inversión, sobre todo en exploración, que alcanza los 4,897 millones de dólares (Ríos, 2020).

Considerando los valores y la importancia de la minería para el desarrollo económico de un país, todo geólogo y especialista en el área debe responder ante los desafíos de encontrar nuevos y mejores yacimientos minerales, que impliquen menos costos económicos, sociales y ambientales, utilizando nuevas metodologías o perfeccionando las metodologías actuales utilizadas durante cualquier etapa de los proyectos mineros. Estas metodologías deben ser herramientas que el ingeniero de minas o el ingeniero geólogo debe entender para aplicarse de manera eficiente y cumplir con los objetivos descritos. La síntesis informativa de la minería en México de Ríos (2020) muestra que uno de los sectores importantes es el que abarca el estado de Michoacán con diversos proyectos manejados por diferentes empresas privadas, como: Coeur Mining, Minera México Aura Minerals, Industrias Peñoles, Telson Resources, entre otros. Dentro de esta prolífica área se encuentra el distrito minero de San Diego-Curucupatzeo, mismo que da nombre al proyecto de San Diego-Curucupatzeo, ubicado al SE del estado y cercano al pueblo de San Diego. Este distrito contiene principalmente yacimientos del tipo epíttermal de metales preciosos (Tapia Cruz, 2012)

Dada la importancia y demanda de geólogos e ingenieros en minas expresada en los apartados anteriores, se tuvo por bien participar en el proyecto de San Diego-Curucupatzeo. Con este documento se describe el trabajo como ejercicio profesional en la empresa ya mencionada, mismo que incluye la explicación de los objetivos de la empresa en el desarrollo del proyecto y sus alcances, una consulta bibliográfica extensa referente a la información geológica y estructural, que es considerada siempre antes de la elaboración de anteproyecto de esta índole por parte de una empresa prestadora de servicio ya que ayuda a establecer los objetivos específicos. Además, se explica el procedimiento en campo de la ejecución de la barrenación, de logueo, de las actividades que se realizaron durante la estancia como ingeniero y finalmente conclusiones de acuerdo con el aprendizaje obtenido.

1.2. Antecedentes generales

En San Diego se tienen antecedentes de desarrollos mineros a lo largo de su historia, con obras de hasta 30 metros de profundidad, posteriormente se continuó explotando Au, Ag, Pb y Zn en menor cantidad por pequeños grupos mineros, actualmente cerca de San Diego se encuentran proyectos en exploración, uno de ellos es el Tigre, perteneciente a la minera Peñoles. La planificación del proyecto de trabajo implicaría determinar nuevas zonas potenciales de los minerales mencionados o recuperar minas abandonadas. Cierta información consultada por la empresa es de índole privado, pero en las cartas públicas del Servicio Geológico Mexicano (SGM) puede encontrarse información valiosa que se ha considerado para la determinación de los nuevos puntos de barrenación y logueo de núcleos.

En ciertas áreas donde los afloramientos son escasos, donde se tienen identificados por métodos directos de exploración algunos prospectos de interés o los yacimientos existentes ya han sido muy explotados, se utilizan técnicas geofísicas y geoquímicas para incrementar las posibilidades de encontrar rocas con un alto contenido mineral. Estas metodologías normalmente miden las propiedades de las rocas, inherentes, que dan una gran cantidad de datos para análisis. La carta geoquímica por zinc del SGM (Villa Madero E14-A33) muestra

los resultados del método de levantamiento geoquímico por sedimentos de arrollo en 191 locaciones. Estas muestras fueron analizadas analíticamente por el método de emisión de plasma. Para el distrito minero de San Diego-Curucupatzeo se observan aproximadamente 23 valores en el contenido de zinc, resultado de 23 muestras ubicadas a lo largo del arroyo Monte Grande. Los valores de estas muestras oscilan entre 146 a 169 ppm (partes por millón) de contenido de zinc, siendo mayores cercanos al poblado de San Diego donde se observan mayores prospectos mineros y minas abandonadas.

La carta magnética del SGM para la zona de Villa Madero muestra en el área de San Diego pocas variaciones en la intensidad magnética, es decir, ninguna anomalía importante, ya que las rocas de mayor explotación en esta zona tienen minerales de poca susceptibilidad magnética y muy poco hierro. En general, las anomalías magnéticas muestran una gran amplitud y una dirección general en sentido NE-SW. Los altos magnéticos se encuentran al NE del poblado de San Diego.

1.3. Justificación

La zona de estudio se encuentra circundada por desarrollos mineros antiguos y actuales, esto va desde minas abandonadas hasta proyectos actuales en exploración. Los yacimientos favorecidos para crecer en esta área son aquellos que tienen una presencia predominante de minerales de: fierro, cobre, plata, plomo y zinc (Fe, Cu, Au, Pb y Zn, respectivamente) presentes en los yacimientos de tipo volcánicos, tipo VMS y SEDEX, Skarns, pórfidos de cobre y yacimientos epitérmicos. Los de tipo VMS (yacimientos de sulfuros masivos) corresponden a cuerpos estratiformes o con una geometría lenticular y depositadas principalmente en fondos oceánicos (Proenza et al., 2019). Los yacimientos SEDEX (depósitos sedimentarios exhalativos) están asociados a rocas sedimentarias tipo carbonosas y se consideran como sulfuros masivos (Opazo et al., 2007).

1.4. Hipótesis

Las anomalías detectadas por estudios de geofísica anteriormente dieron blancos favorables para hacer una inspección mas detallada y tener un conocimiento mas profundo, pero se tendría que tener cuidado ya que en cuanto al estudio previo solo hicieron cartografía y geofísica, para lo cual hubiera sido recomendable realizar un estudio geoquímico, de esta manera tienes tres estudios completos y una visión mas clara del panorama ya que varias veces han dado resultados no tan favorables al solo guiarse por la geofísica.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Coordinar el desarrollo del proyecto, para obtener una confirmación lo mas certera posible de acuerdo a los estudios previos realizados en la zona de estudio.

1.5.2. Objetivos específicos

Como objetivos específicos de este proyecto se señalan los siguientes:

- Analizar el núcleo extraído mediante la perforación.
- Coordinar el muestro de una manera precisa y apegada al sistema de certificación QA/QC.
- Dar seguimiento de una manera correcta al acondicionamiento en las plazas de barrenación y posteriormente su cierre de manera correcta, buscando afectar de una manera mínima a la flora y fauna.

1.6. Localización y vías de acceso

La localización del proyecto corresponde a las coordenadas 276249 m E y 2133284 m N (sistema coordinado UTM), y se puede arribar a este siguiendo la carretera al sureste de la CD. Morelia, llamada Morelia – Uruapan, por 46.21 km hasta llegar al municipio Villa Madero. En un punto de la carretera se llega a un

entronque con la carretera Villa Madero – Tacámbaro, aproximadamente a 5 km al NE de Villa Madero. Finalmente, se toma una desviación a la derecha sobre un camino de terracería que continúa por 19 km hasta llegar al pueblo San Diego.

En la Figura 1 se muestra un mapa de la ubicación del pueblo de San Diego y de la ubicación de las principales zonas donde se llevaron a cabo las operaciones.

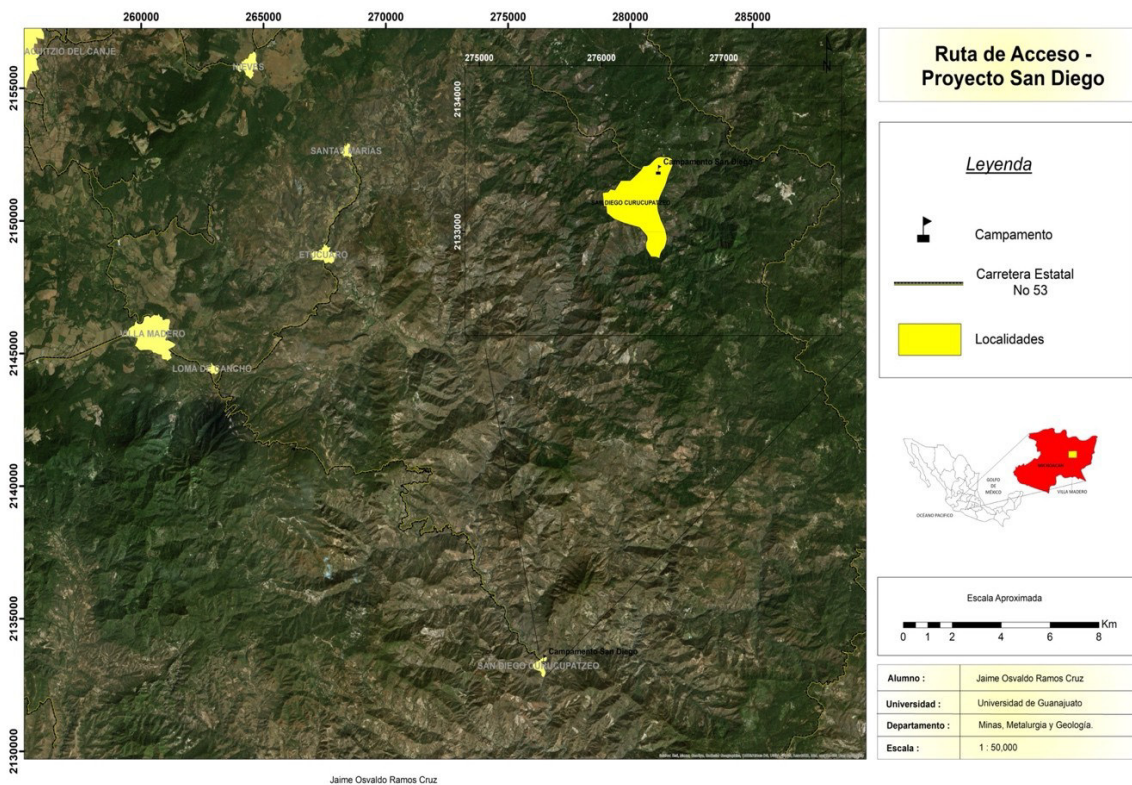


Figura 1. Localización del área de estudio. En la figura se visualiza la localización del área respectola ciudad de Morelia, al norte de la ciudad de Villa Madero. San Diego se encuentra localizado al sureste de Villa Madero, mostrándose en la porción derecha de la Figura.

2. Configuración Geológica

2.1. Geología general

La geología de la zona del proyecto San Diego-Curucupatzeo se ha descrito desde 1978 con la aportación del Servicio Geológico Mexicano y posteriores ediciones (SGM, 2009) de un mapa a escala 1:50000 que contribuye por primera vez con la columna estratigráfica de la zona y de ciertos lineamientos estructurales. Los demás trabajos geológicos se mencionan en el trabajo de Tapia-Cruz (2012), los cuales se consultaron para describir una síntesis.

En una escala regional, con perspectiva tectónica, el área de San Diego-Curucupatzeo yace sobre el terreno tectonoestratigráfico Guerrero. Como definición, un terreno tectonoestratigráfico es un conjunto de rocas de carácter regional, que se caracterizan por tener una evolución geológica diferente a terrenos o rocas adyacentes (Howell et al., 1985, en Corbo-Camargo et al., 2013). Para México se han propuesto la presencia de 12 terrenos tectonoestratigráficos, agrupados en categorías según el origen interpretado para estos (Campa y Coney, 1983, en Corbo-Camargo et al., 2013). La acreción del terreno Guerrero a la placa continental de Norteamérica está relacionada con la convergencia de la placa de Farallón y su subducción al este (Dickinson & Lawton, 2001) la cual comenzó en la edad Albiano-Cenomaniano (Centeno-García et al., 2003). La subducción ha evolucionado hasta convertirse en una subducción de placas más pequeñas, como la placa de Cocos, y la fragmentación de esta hace 5-10 Ma en la microplaca de Rivera (Yang et al., 2009), misma que ha ocasionado el volcanismo en la FVM después del Cretácico (Ferrari et al., 1994). Según Montiel-Escobar et al. (1998) (referencia en Tapia-Cruz, 2012), el basamento del terreno Guerrero está altamente afectado por intrusivos de una composición granito-granodiorita y por un pórfido riolítico (Complejo metamórfico Cuarácuaro) el cual dio origen a las soluciones hidrotermales que crearon los mantos y vetas minerales importantes para explotación en el área. Los subterrenos que sobreyacen el terreno Guerrero se explican más adelante.

Sobre las rocas del basamento del terreno Guerrero se depositaron todas las rocas de la actividad del Eje Volcánica Transversal o Faja Volcánica Transmexicana (FVTM), las cuáles se relacionan con la evolución de un arco volcánico. Este arco surge por la subducción de la placa de Rivera y la placa de Cocos por debajo de la placa norteamericana. La FVTM es un arco magmático de composición principalmente calco-alkalina asociada a la subducción ya mencionada (Luca. Ferrari et al., 1994; Nixon, 1982). Tiene una orientación primordialmente EW y la constituyen más de 8000 centros volcánicos y cuerpos intrusivos (Gomez-Tuena et al., 2005). La evolución de la FVTM ha sido enfoque del trabajo de Ferrari et al., 2012) quienes describen cuatro etapas de evolución magmática. Estas etapas se describen brevemente a continuación:

1) Primera etapa: Volcanismo máfico y evolución a volcanismo silícico en etapas posteriores y migración hacia la trinchera. Edad Mioceno temprano a Mioceno tardío.

2) Segunda etapa: Emplazamiento de volcanismo máfico y gran volumen de lavas fisúrales a lo largo del arco al norte de la región afectada por la etapa anterior. Edad Mioceno tardío a Plioceno temprano.

3) Tercera etapa: Volcanismo silícico en el Mioceno tardío y un volcanismo bimodal en el Pleistoceno al sur del volcanismo de la segunda etapa.

4) Cuarta etapa: La fase final del magmatismo está representada por la actividad actual a lo largo del TMVB que comprende el vulcanismo basáltico a andesítico emplazado desde finales del Plioceno.

Este tipo de rocas producto de la evolución del arco magmático se observan en la porción editada del mapa geológico E14-A33 (Figura 2). Se muestra para la zona una geología superficial compuesta por conglomerados polimícticos de edad reciente, Cuaternarios, y unas sucesiones de rocas ígneas entre las que se destacan granito-granodiorita y pórfidos riolíticos. Al NW del pueblo de San Diego la litología superficial cambia a brechas andesíticas y un afloramiento de areniscas de edad Cretácica Inferior. En este mapa se describen de manera

general un sistema de fallas NE-SW que cortan a las rocas ígneas como la granodiorita y que pasan por el pueblo de San Diego.

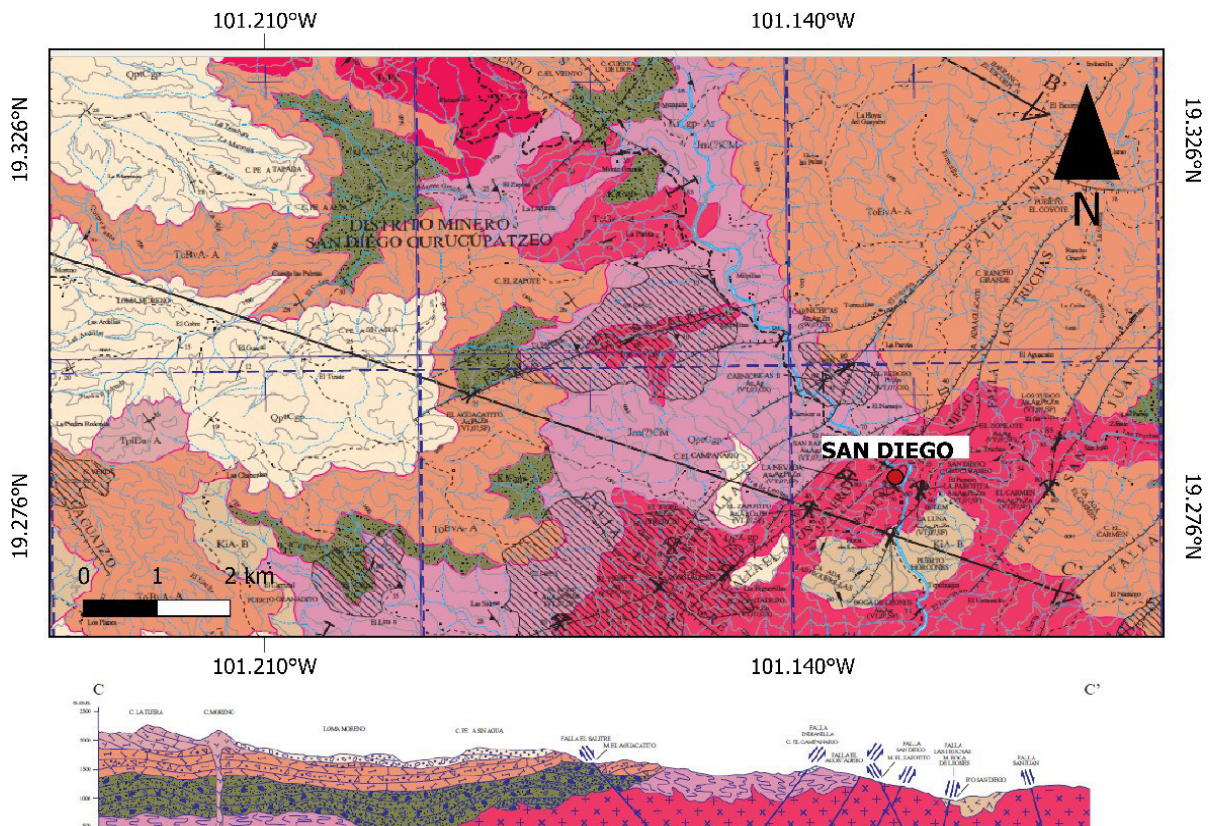


Figura 2. Mapa geológico de San Diego Curucupatzco. Se muestra la litología del distrito minero según la carta geológica del Servicio Geológico Mexicano. En la parte inferior se muestra la sección estructural CC' que muestra el sistema de fallas predominante de la región.

2.2. Yacimientos minerales

Como ya se mencionó, el distrito minero sobreyace lo que se conoce como el terreno Guerrero, el cuál ha sido subdividido en subterrenos. Estos subterrenos contienen diversas variaciones litoestratigráficas que los distinguen entre sí, las cuales se relacionan a diferentes eventos tectónicos. Cada evento permitió la mineralización y aparición de rocas importantes para la minería. El terreno Guerrero entonces se compone del subterreno Teloloapan, del subterreno Arcelia y del subterreno Zihuatanejo. El subterreno Teloloapan consta de una sucesión vulcano-sedimentaria a lo largo de una cabalgadura de más de 100 km de largo de orientación NS. Según las dataciones de (Mortensen et al., 2003), estas rocas tienen edades de entre 146-138 Ma. El subterreno Arcelia esta compuesto por lavas basálticas, de tipo almohadillado, brechas, hialoclastitas y

rocas ultramáficas cubiertas por rocas sedimentarias, con una disposición NS a lo largo de un cinturón de 250 km de largo (Tapia Cruz, 2012). Por último, el subterreno de Zihuatanejo es principalmente un arco de afinidad shoshonítica, lo que quiere decir que se formaron en un ambiente de arco volcánico con una predominancia química alcalina (Arboleda Zapata, 2018).

Los yacimientos favorecidos para crecer en esta área son aquellos que tienen una presencia predominante de minerales de: fierro, cobre, plata, plomo y zinc (Fe, Cu, Au, Pb y Zn, respectivamente) presentes en los yacimientos de tipo volcánicos, tipo VMS y SEDEX, Skarns, pórfidos de cobre y yacimientos epitérmale. Los de tipo VMS son rocas encajadas en rocas ultramáficas, con una geometría lenticular y depositadas principalmente en fondos oceánicos (Proenza et al., 2019). Los yacimientos SEDEX están asociados a rocas sedimentarias tipo carbonosas y se consideran como sulfuros masivos (Opazo et al., 2007). Estos dos primeros yacimientos se consideran pobres y aislados y no se llegan a considerar como provincias metalíferas. Los yacimientos de tipo skarn son los yacimientos formados por el reemplazo metasomático y son los más estudiados en México (Pérez-Segura y González-Partida, 2010). El cambio metasomático en mineralogía es cuando un fluido caliente aporta nuevos elementos a la roca con la que hace contacto, permitiendo la transformación mineral, sin que la roca alcance el estado de fundición. Los yacimientos descritos hasta ahora almacenan la mayor parte de: fierro, cobre, plomo y zinc. El oro y la plata en esta zona se ubica mayormente en los yacimientos epitérmale, pero también aparecen los otros minerales mencionados. El ambiente epitermal se encuentra en zonas muy superficiales y conforman la parte superior del sistema hidrotermal presente en una zona que tuvo actividad volcánica, pero con una temperatura menor a los 200 ° (Camprubí y Albinson, 2006).

La sincronía de eventos tectónicos y las dataciones de cada formación que contiene minerales ha permitido describir una historia metalogénica. En rasgos muy generales, según Tapia Cruz (2012), existen 3 tres episodios metalogénicos. El primero de ellos formó los depósitos de VMS y SEDEX, cuando apenas se formó el arco volcánico relacionado a la separación de la dorsal del Pacífico. Estos se encuentran en los yacimientos de Cuale, El

Bramador, América, Amaltea, La Minita y Arroyo Seco, ubicados en Michoacán principalmente. El segundo episodio tiene edad Cretácica-Paleoceno y se extiende al sur de Michoacán y a lo largo del litoral del Pacífico. Lo componen yacimientos de fierro y cobre, e.g., Las Truchas, Aquila y Peña. El último episodio está relacionado con la aparición de actividad y circulación hidrotermal principalmente, debido a la actividad volcánica de edad Oligoceno-Mioceno, representados por los distritos de: Taxco, Zacualpan, Temascaltepec, el de San Diego Curucupatzeo, entre otros.

La descripción de algunos de estos distritos se encuentra en la carta geológica minera. Aquí se explican brevemente algunas de las características minerales del distrito minero de San Diego-Curucupatzeo y de las minas más importantes. La mina de San Rafael consiste en una veta de cuarzo, que tiene un rumbo N40°E y una inclinación de 80° al NW, tiene un espesor de aproximadamente 1 m y se ha catalogado como una veta de oro nativo contenido en la piritita, presencia escasa de calcopiritita, galena y esfalerita, producto de una alteración principalmente propilitica. Las reservas según esta carta son de 27,000 toneladas con una ley promedio de 0.5 g/t (gramos por tonelada) para el oro de 4.5 g/t para la plata y de apenas 0.02% para el cobre. El Tigre, mina explotada por la empresa minera Peñoles, se caracteriza por tener vetillas de cuarzo formando un *stockwork* con espesores de hasta los 0.2 m. La superficie de las vetillas se extiende hasta 130 m por 15 m de ancho y un desnivel con la superficie de hasta 80 m. Su mineralogía consiste principalmente de: malaquita, azurita, calcantita, cuarzo y calcita. La ley promedio de cada uno de estos cuerpos rocosos va de los 0.22 g/t de oro, 3 g/t de plata, 0.01% de plomo y 0.02% de Zinc. Más a detalle, Tapia-Cruz (2012) describe con más información cada una de las concentraciones de minerales:

Mineralización de cobre

La mineralización de cobre más importante se encuentra al oeste del pueblo de San Diego y está controlada por el sistema de fallas NE-SW. La mineralización hipógena de cobre consiste principalmente en piritita, calcopiritita, con cuarzo y calcita mientras que la mineralización supérgena consiste en

malaquita, azurita, chalcantita como potencial mena de cobre e hidróxidos de hierro. La mineralización hipogénica hace referencia a las rocas que pertenecen a los depósitos originales, mientras que la mineralización supergénica hace referencia a minerales que no pertenecen a depósitos originales o a las formaciones primarias. El proceso de alteración supergénica de depósitos minerales hidrotermales involucra la liberación de cationes metálicos y aniones sulfato mediante la oxidación de sulfuros hipógenos (lixiviación). Los sulfatos de Cu y Ag así generados son solubles y son transportados hacia abajo por aguas meteóricas percolantes. Los cationes descienden en solución y pueden ser redepositados por reacción con iones carbonato, silicato, sulfato o sulfuro. El Cu y Ag pueden formar minerales oxidados que permanecen en la zona oxidada, pero también pueden ser precipitados debajo del nivel de aguas subterráneas por los sulfuros hipógenos y formar sulfuros más ricos en Cu o Ag respectivamente, siendo este proceso más eficiente para el Cu que para el Ag (enriquecimiento secundario). Los depósitos de cobre se encuentran emplazados en una meta-andesita, la cual se considera como parte del complejo metamórfico Carácuaro, a su vez también en el *stock* granítico-granodiorítico “El Hondable” y en el pórfido riolítico “La Conquista”. Los yacimientos existentes en la zona de cobre corresponden a los prospectos El Tigre, El Cerrito, las manifestaciones minerales El Tigre II y El Aguacatito, la primera de ellas descrita en el párrafo anterior. El potencial descrito en el 2012, según las relaciones espaciales y longitudes observadas da una ley media de cobre para El Tigre, El Cerrito, El Tigre II y El Aguacatito de 0.69%, 4.28%, 0.49% y de 0.375% respectivamente. Sería evidente considerar que tras etapas subsecuentes de exploración con el paso de los años estas leyes pueden haber aumentado, pero la información no está disponible de manera pública.

El prospecto de El Tigre, según el trabajo de Tapia-Cruz (2012) quien describe cada uno de estos prospectos, se ubica a los 2.5 km al suroeste del pueblo de San Diego. En este prospecto la mineralización que se ha determinado está controlada por una falla normal de rumbo o dirección de 30° al NE y echado manteo de 80° al NW. La mineralización se concentra en un *stockwork*. Se ha identificado que algunas vetillas contienen principalmente cuarzo con espesores no mayores a los 0.2 cm. En superficie, el *stockwork* se manifiesta en una

extensión de 300 m de longitud por 30 m de ancho, y un desnivel de 100 m. La mineralización hipógena presente consiste en pirita, calcopirita, cuarzo y calcita; la mineralización supérgena consiste en: malaquita, azurita, y chalcantita e hidróxidos de hierro, y el mineral “ganga” es principalmente calcita y las alteraciones hidrotermales son debidas a la propilitización asociada a minerales de epidota-calcita-actinolita. Esta mineralización afecta a las rocas encajonantes de granito-granodiorita.

El Cerrito es el prospecto con más concentraciones de cobre, pero no se ubica tan cercano al pueblo de San Diego. La mineralización que se ha identificado es mineralización supérgena y consiste principalmente en impregnaciones de malaquita acumulada principalmente en fracturas y una menor porción en la matriz rocosa. Esta mineralización ocurre en la falla normal llamada Cerro Blanco con un rumbo de 10° al NW y un echado o rumbo de 85° al SW. La mineralización de tipo hipógena la compone principalmente minerales de cuarzo, de calcita, de pirita y de calcopirita; la mineralización supérgena de mena potencial es: malaquita, azurita y chalcantita, con ganga hematita y calcita. La alteración hidrotermal identificada consiste en una escasa cloritización. La mineralización de El Cerrito está dentro de la roca encajonante que corresponde a un conglomerado polimíctico de edad Cretácico Inferior.

El prospecto mineral llamado “El Tigre II” se encuentra localizado a 2 km al suroeste de la comunidad de San Diego. La mineralización de este prospecto se concentra en una veta-falla, con una característica de textura bandeada, con una dirección de 45° al NW y un manteo de 62° al SW. Según Tapia-Cruz (2012), esta veta-falla aflora en la localización ya mencionada y se distingue por poseer 20 m de longitud, un espesor aproximado de 1.2 m y 10 m de profundidad. Como se ha descrito para los anteriores prospectos, la mineralización es principalmente hipógena y corresponde a: pirita, calcopirita, cuarzo y a calcita. Por otro lado, la mineralización supérgena de mena potencial está representada por limonita mientras que la ganga mineral es primordialmente calcita y cuarzo crustiforme, las cuales se encuentran rellenando a las vetas. Las alteraciones hidrotermales identificadas corresponden a cuarzo-sericita, y presentan una asociación mineralógica de cuarzo-caolinita-sericita. Las vetas-fallas que almacenan estos

minerales afectan principalmente a las rocas intrusivas de “El Hondable” y a otras rocas de tipo meta-andesita.

El Aguacatito se localiza a 5 km en línea recta al noreste de la población de San Diego. La mineralización se encuentra concentrada en una veta de cuarzo, que se caracteriza por tener una estructura bandeada. La veta tiene una dirección general de 60° al NE y un echado de 85° al SE. Se ha identificado en la superficie, cerca del poblado de San Diego, con una longitud de 40 m y un espesor promedio de 1.5 m. El régimen que se identificó ha permitido la incrustación de esta veta es un régimen de distensión de dirección 60° NE y un echado de 85° al SE y otro de 05° al NW con un echado de 77° al SW. La mineralización hipógena de mena potencial económico consiste en: galena, en esfalerita y en trazas de calcopirita, la ganga es principalmente de cuarzo, de pirita y de arsenopirita. La alteración hidrotermal identificada corresponde a una silicificación segregada en la matriz de la roca y en forma de vetillas o filones irregulares de cuarzo. La roca de caja corresponde a una andesita de edad Oligoceno, relacionada a la actividad volcánica de la unidad Volcánica Paránguaro.

Mineralización de plomo-zinc

La mineralización identificada en la zona que corresponde a las concentraciones de plomo y zinc más importantes se deben al fallamiento normal identificado como el sistema de fallas de “La Indianilla”, el sistema de fallas “San Juan”, y el sistema de fallas “Los Tepetates” (De las características a fondo de las fallas mencionadas se hablará en el siguiente apartado). La concentración de mineralización de plomo y zinc es concentrada en estructuras de tipo vetillas delgadas, que contienen principalmente cuarzo, calcedonia, hematita y calcita, formando una estructura de *stockwork*. La mineralización hipógena de mena potencial es: galena, esfalerita, escasa calcopirita y tetraedrita, con una ganga consistente en pirita, arsenopirita y cuarzo; la mineralización supérgena de mena potencial es limonita, la ganga primordialmente calcita. La alteración hidrotermal es de moderada intensidad y corresponde principalmente a alteración propilítica,

cuarzo-sericita y argílica, la alteración propilítica caracterizada por la asociación clorita-epidota que afecta a las unidades de andesitas y al intrusivo El Hondable. La asociación mineralógica se caracteriza por casi exclusivamente clorita, pasando por clorita más epidota en vetillas, hasta epidota dominante, con cristales gruesos

Con esta vista general se tiene en cuenta de que el distrito minero es interesante desde el punto de vista económico y que tiene a su vez una relación la información presentada en los antecedentes.

A su vez, las concentraciones minerales se deben a la sincronía de eventos geológicos, que pueden ser descritos por la geología estructural y la secuencia estratigráfica que serán descritos en los siguientes dos apartados.

2.3. Geología estructural

Un ejemplo del control para el ascenso de fluidos y emplazamientos de importantes depósitos minerales es el control que ejercen las estructuras geológicas y el estado de esfuerzos de la región. Por ejemplo, los depósitos de tipo epítermal se asocian siempre a la interacción de un fluido con otro cuerpo que de origen principalmente magmático. El emplazamiento de los depósitos minerales es provocado por el ascenso del fluido hidrotermal por la corteza terrestre, calentado desde abajo. Este ascenso se ha determinado que es controlado principalmente por estructuras geológicas, como fallas y fracturas, que son consecuencia del régimen de esfuerzos presente, principalmente de tipo distensiva. Otro tipo de estructuras que controlan este ascenso se han denominado fallas subsidiarias. Por lo tanto, conocer el estado de esfuerzos y las estructuras geológicas de la zona es importante para la exploración geológica-minera porque permite conocer las zonas con concentración mineral que sean de importancia económica

Los sistemas de fallas principales se encuentran mineralizadas por yacimientos hidrotermales que constituyen zonas de altas concentraciones de:

cuarzo, calcopirita, arsenopirita, galena, pirita, oro y plata. Estos yacimientos se concentran en vetas que siguen el fallamiento de la zona.

El norte del área de San Diego-Curucupatzeo está caracterizada en la escala regional por dos sistemas de fallas regionales con orientaciones EW y NE-SW principalmente (Figura 3). Este sistema se ha nombrado el sistema de fallas Acambay-Morelia, según Suter et al. (1991). Las fallas de orientación forman parte del sector central de la FVTM y se caracterizan por estar activas, tener longitudes de más de 25 km y escarpes de falla de más 100 m. Al este de Morelia, la tendencia de fallamiento es el mismo, pero comienzan a aparecer sistemas de fallas con dirección de N75°E y escarpes de entre 50 y 100 m. Según Suter et al. (1991) y Suter et al. (1992) determinaron en base a los lineamientos de las estructuras volcánicas y los mecanismos focales de algunos sismos que el esfuerzo horizontal máximo es oblicuo al sistema de fallas EW. Según la carta geológica del SGM, se presentan tres tipos de deformación dúctil, dúctil-frágil y frágil. La deformación dúctil se ha encontrado en las foliaciones de las rocas metamórficas de edad Jurásica y la secuencia vulcano-sedimentaria de edad Cretácico. Se observa que la deformación frágil a lo largo de toda la carta son de orientación NE-SW y NW-SE. Estas fallas pasan por San Diego y son catalogados como fallas de cizalla y se nombran como sistema de fallas de San Diego-Curucupatzeo de orientación NE-SW y el sistema de fallas Tepetates con orientación NW-SE.

De acuerdo con los datos estructurales de Tapia-Cruz (2012), la zona de estudio de San Diego-Curucupatzeo puede describirse de manera más local basado en distintos sistemas de fallas con la orientación descrita en el párrafo anterior. Tapia-Cruz (2012) interpretó varias imágenes de satélite para determinar las zonas en las que debía hacer las mediciones estructurales. En campo identificó principalmente indicadores cinemáticos como estrías verticales con escalonado, y estructuras sigmoidales de tamaños muy variados. Los sitios que presentan la mineralización son dos sistemas de fallas que se describen a continuación según Tapia-Cruz (2012): estos sistemas son el sistema de fallas Tepetates y el sistema de fallas San Diego-Curucupatzeo, ubicadas en la parte central y una porción norte del pueblo de San Diego.

El sistema de fallas de San Diego-Curucupatzeo, al sureste del pueblo de San Diego, es una zona de fallamiento lateral con una dirección predominantemente NE. Este sistema posee una longitud de 17 km y un ancho de 10 km. Se compone principalmente de varios subconjuntos de fallas, en primer lugar 10 fallas paralelas, con el mismo rumbo mencionado, y en segundo por otro conjunto de 4 fallas normales con una orientación casi perpendicular. Estas le dan una morfología de pilares y fosas a la región de estudio. Dentro de los subconjuntos de fallas más importantes se destacan aquellos que han sido asociados a los principales yacimientos minerales de la zona, los cuáles serán descritos a continuación (la relación entre el fallamiento y la secuencia estratigráfica se menciona, pero los detalles de cada formación se describen más adelante):

Sistema de fallas “La Indianilla”

Este sistema de fallas está relacionado con los yacimientos de plomo y de zinc. Este sistema se encuentra en la porción sur de la parte central de San Diego. Su nombre proviene de su cercanía con la rancharía llamada “La Indianilla”. Según los datos estructurales de Tapa-Cruz (2012), la traza principal del sistema es de 16 km de longitud con una orientación de 30° al NE y un echado o manteo de 70° al NW. Las fallas secundarias del sistema poseen una orientación de 65-70° E y un manteo de 60°-80° al NW. Se describe como un sistema de fallas de tipo normal a partir de estrías verticales, sigmoides sub-verticales, salbanda de falla, escalones congruentes. Además, corta a las rocas del complejo metamórfico Carácuaro del Jurásico Medio, al arco Amengarícuaro, al conglomerado del Cretácico Inferior, al Volcánico Paránguaro del Oligoceno, y al granito granodiorita El Hondable del Oligoceno. Dado que corta a las formaciones más jóvenes, este sistema de fallas se asocia a un evento de deformación reciente.

Sistema de fallas “San Juan”

Este sistema de fallas se ubica al sur del poblado de San Diego. Se ha descrito que posee una traza de falla de 7 km de longitud, con un rumbo de 45° al NE y un echado o manteo de 75° al SE. Esta dirección no es predominante ya

que se ha observado que tiene una dirección predominantemente EW en una zona llamada puerto El Perro, según Tapia-Cruz (2012). Es un sistema de fallas normales identificado a partir de estrías verticales, sigmoides sub-verticales, salbanda de falla y escalones congruentes. Este sistema de fallas afecta solamente a la unidad del volcán Paránguaro, de edad Oligoceno.

Sistema de falla “Las Truchas”

La traza de la falla fue identificada con una longitud de 7 km en las imágenes satelitales analizadas por Tapia-Cruz (2012). Tiene una dirección de 20° a 40° NE y un echado o manteo de 60° a 85° al NW. Tiene una terminación de “colade caballo” y es paralela a la falla de La Indianilla. El sentido del movimiento que generó la falla es de tipo normal. De la misma manera que el sistema de fallas “La Indianilla” y del sistema “San Juan”, la mecánica se determinó a partir de se determinó a partir del plano de falla, por la presencia de estrías verticales a sub-verticales con escalones incongruentes, también se analizaron estructuras sigmoidales sub-verticales y verticales con arreglo anastomosado. El arreglo anastomosado son en realidad *sets* de múltiples subzonas de mayor o menos grado de la deformación, sub-paralelas a oblicuas entre sí, resultando en la ya mencionada configuración anastomosada. Estas fallas cortan y afectan al complejo metamórfico Carácuaro, al volcanismo del volcán Paránguaro y al granito-granodiorita.

Sistema de fallas “Tepetates”

Este sistema es un sistema de fallamiento lateral con una dirección predominante al NE-SW. Este sistema se ubica al noroeste de la población de San Diego. Tiene una longitud de 15 km y un ancho de 10 km. Está conformado por un subconjunto de fallas, compuesta por 4 fallas principales con un rumbo o dirección NE que son cortadas por 5 fallas casi perpendiculares. Se identifican en imágenes satelitales y en los lineamientos de los mapas geológicos como un sistema de fallas enrejado. Según Tapia-Cruz (2012), en campo las fallas fueron identificados por la presencia de brechas, por la presencia de salbanda de falla, por la presencia de estrías verticales con un escalonamiento incongruente, por

estructuras sigmoidales de diferente tamaño, y por la separación de horizontes guía y un fuerte fracturamiento.

Considerando los sistemas de fallas presentes, se ha podido hacer una reconstrucción de los cambios en los regímenes de esfuerzos a lo largo del tiempo geológico. Según Morales (2005), se pueden corroborar la existencia de tres eventos de deformación de tipo frágil (correspondientes a los tres sistemas de falla descritos en el párrafo anterior) tras el estudio de rasgos estructurales en una región al sureste de San Diego. El primero de ellos es un sistema de esfuerzos distensivos que dio origen al sistema de fallas NW-SE. El segundo evento ha tenido una cinemática de convergencia transcurrente en un sentido de NS, dando como producto estructuras geológicas del tipo de cizalla lateral derecha. Por último, el tercer evento dio lugar a fallas laterales derechas y fallas normales con la orientación NE-SW, que son las más jóvenes y que se pueden observar en el mapa geológico de la Figura 2, en San Diego-Curucupatzeo.

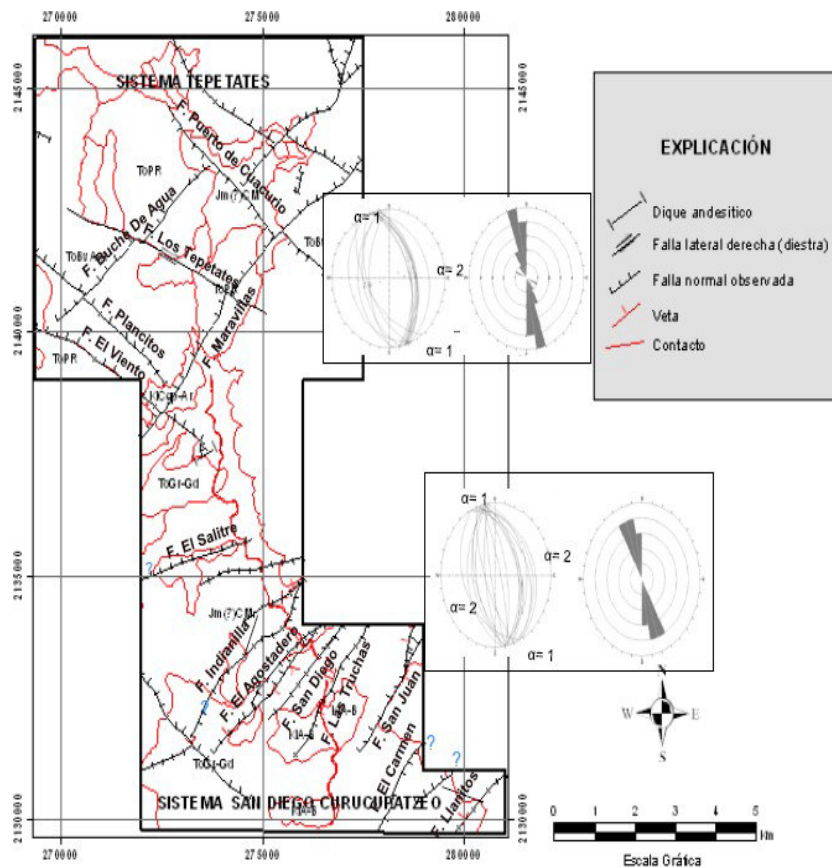


Figura 3. Principales sistemas de fallas en el área de estudio (Tapia Cruz, 2012).

2.4. Estratigrafía del área de estudio

La estratigrafía en este apartado se va a describir en base a la columna estratigráfica de la Figura 4. Este apartado considera la descripción de las rocas y las edades desde las que conforman la litología del basamento metamórfico debajo del terreno Guerrero, el terreno Guerrero y los subsecuentes depósitos de plataforma, rocas sedimentarias, rocas vulcano-sedimentarias y productos volcánicos de la FVM.

Complejo metamórfico de Carácuaro (Jm)

Este basamento posee una litología principalmente de rocas con un metamorfismo de bajo grado, como lo son las: filitas, pizarras negras, esquisto, meta-andesita y meta-arenisca. Estas rocas afloran en la porción central y norte de San Diego-Curucupatzeo. Este conjunto metamórfico es intrusionado principalmente por un granito-granodiorita denominado “El Hondable” y por diques de composición andesítica y riolita. Según el trabajo de Centeno (1993), el complejo Carácuaro tiene afinidad oceánica, lo que quiere decir que, ya sea que pertenezcan a un ambiente oceánico (zonas de dorsal oceánica) o continental (zonas de rift), contienen grandes volúmenes de rocas ígneas, de afinidad principalmente toleítica y alcalina. En estas zonas la actividad metamórfica es relativamente poco significativa, predominando los tipos de baja presión y, en el caso de las zonas de dorsal oceánico, el denominado “metamorfismo de fondo oceánico”, es de baja temperatura y con una destacada variación química.

Esta roca ha sido datada gracias a muestras de los lugares que tienen afloramiento. Esta datación se ha hecho con el método de K/Ar. Fernández-Becerra (1986) le dio una edad aproximada de 156 Ma, lo que la posiciona en la columna estratigráfica en el Jurásico Medio.

Terreno Guerrero

Andesita-Basalto del Arco Amengarícuaro (Ki A-B)

Este segundo ambiente es considerado, según el mapa geológico del SGM, mostrado en la Figura 2, como una secuencia vulcano-sedimentaria de edad Cretácica. Esta secuencia se compone principalmente de andesitas y basaltos con textura fanerítica y porfídica, con una interdigitación de arenisca de composición volcánica y brechas de composición andesítica. En el área se pueden encontrar al suroeste de San Diego-Curucupatzeo y llega a tener un espesor máximo de 300 m aproximadamente. Estas secuencias presentan relaciones con las rocas que tiene por debajo, ya que presentan una discordancia con el Complejo Metamórfico de Carácuaro y está también afectado por los intrusivos de “El Hondable”.

Conglomerado Polimíctico-Arenisca (Ki Cgp-Ar)

En la zona norte del mapa geológico (Figura 2) se observa un afloramiento de un conglomerado polimíctico, el cuál ha sido denominado el conglomerado de Acuyo. El conglomerado es polimíctico cuando la matriz de arena o arcilla soporta clastos de dos o más tipos de rocas o minerales. Según Tapia-Cruz (2012), este conglomerado posee potentes secuencias de limolita calcárea, arenisca, caliza intermareal y pedernales blancos. Esta intercalación de secuencias sugiere una evolución de facies clara. Se trata de una roca formada en un ambiente continental de tipo plataforma, justo en las márgenes del arco volcánico. La alternancia de areniscas con la limolita sugiere que el ambiente tuvo etapas de inundación dejando los sedimentos estancados en la planicie, la arenisca masiva representa los abanicos aluviales y los conglomerados depósitos de canal. La relación estratigráfica de esta secuencia le da una edad del Cretácico Inferior con un límite inferior discordante con el Complejo Metamórfico Carácuaro, igualmente intrusionado por “El Hondable” y otro intrusivo hipabisal de composición riolítica llamado “La Conquista”.

Actividad volcánica de la Sierra Madre del Sur

Brecha volcánica Andesítica-Andesita (To BvA-A)

Toda la actividad volcánica de la Sierra Madre del Sur está relacionada con la convergencia de la antigua placa de Farallón, de la cual se desprendieron las actuales placas de Rivera y placa de Cocos. El magmatismo se caracterizó primordialmente a intrusiones y cuerpos subvolcánicos calco-alcalino que evolucionó con el tiempo, pasando de un tipo de magmatismo andesítico a una composición félsica. Esto último indicaba la contaminación del magma producto de la subducción con la placa continental.

Esta actividad magmática se presentó en el área de San Diego-Curucupatzeo con la presencia del volcán Paránguaro. Este volcán depositó una sucesión potente de brechas y derrames de composición andesítica-dacítica. Estas secuencias volcánicas componen una parte de la Sierra Madre del Sur. En la zona de estudio, las rocas afloran en la zona norte y muy poco en la zona sur. Las dataciones radiométricas realizadas por Pasquarè et al. (1991) resultan en una edad para la base de las brechas volcánicas de 33.4 Ma, lo que la coloca dentro de la columna estratigráfica en el Oligoceno y parte del Mioceno. Asimismo, la secuencia de brechas y de derrames andesíticos sobreyace en una discordancia angular las rocas de edad Cretácica en el área e igualmente son afectadas por los intrusivos de granito-granodiorita y el cuerpo hipabisal.

Faja Volcánica Transmexicana

Como ya se mencionó en el capítulo 2, el ambiente de la FVM consistió en uno correspondiente a la evolución de un arco volcánico continental, debido a la convergencia de placas en la costa del suroeste mexicano. Este arco volcánico, en toda su extensión oblicua a la convergencia de placas mencionada, tiene una composición química muy variada. Estas variaciones han sido estudiadas y dependen de la gran cantidad de procesos e interacciones de los *slabs* que subducen y las afinidades de la corteza y astenosfera que le sobreyacen. Los productos volcánicos de la FVM identificados en la zona son:

Andesita-Basalto (Tpl A-B)

En la zona noreste de San Diego Curucupatzeo aflora principalmente grandes espesores de derrames de lava, de una composición de tipo andesita con una variación a basaltos. Estos derrames llegan a tener hasta 200 m de espesor y en relación con la estratigrafía tienen una discordancia angular con las secuencias volcánicas del volcán Paránguaro, descrito en el párrafo anterior y con el volcanismo monogenético tipo basaltos y andesitas de algunas partes de la FVM. Igualmente, Pasquaré et al. (1991) reporta una edad de 1.03 a 2 Ma lo que la coloca en el Plioceno Superior- Pleistoceno Inferior. En lo relacionado a los yacimientos volcánicos de los productos de la FVM, Tapia Cruz (2012) menciona que no existen minerales metálicos importantes para su explotación, pero si una basta cantidad de minerales no metálicos, usados principalmente para la construcción.

Depósitos terciarios

Conglomerado Polimíctico (Qpt Cgp)

Esta secuencia de rocas sedimentarias la componen rocas de un ambiente de abanico aluvial con capas de conglomerado con clastos con grandes dimensiones (hasta 3 m de diámetro). Los clastos están soportados con una matriz lodosa, principalmente arcilla y con cierto porcentaje de arena e interdigitaciones de limolita y arenisca. Los fragmentos del conglomerado fueron identificados como rocas ígneas, basalto, riolita y andesita. El conglomerado ha sido encontrado aflorando en la zona sur del área de estudio donde tiene 300 m de espesor, se le ha nombrado el conglomerado “La Angostura”.

Rocas ígneas intrusivas

Granito-Granodiorita (To Gr-Gd)

El intrusivo que ha penetrado las secuencias descritas anteriormente se define como un cuerpo plutónico de una composición granito-granodiorita que aflora al sur y al centro del área de estudio, y es llamado el intrusivo “El Hondable”. Este intrusivo se observa de color gris claro, con una estructura

masiva y un micro fracturamiento observable, tiene textura fanerítica y una mineralogía conformada por albita, biotita y cuarzo. Su componente de granito es de color beige, principalmente, tiene una textura porfídica con una alta presencia de minerales feldespático, como lo son la plagioclasa, la moscovita, la biotita, y otros pequeños cristales que han sido reconocidos como minerales de ilmenita. La granodiorita ha sido datada por medio de estudios isotópicos. En el caso del isótopo Kr/Ar, el estudio arrojó una edad aproximada de 32.1 Ma con un margen de error entre 0.8 Ma (Clark et al., 1982). Esta unidad entonces penetra las secuencias del complejo metamórfico Carácuaro, a la secuencia volcanosedimentaria del arco de Amengarícuaro, al conglomerado Acuyo, y por último afecta la unidad volcánica de Paránguaro, como se mencionó en la descripción de cada una de las unidades.

Pórfido riolítico (To PR)

El pórfido riolítico denominado “La Conquista” no presenta una correlación evidente con cuerpos similares del área, sin embargo, ha sido correlacionado con el volcanismo principalmente ácido que formó a la Sierra Madre del Sur. En el área de estudio, el pórfido se puede encontrar al norte de San Diego-Curucupatzeo.

Las características de esta roca le dan un carácter masivo, con un color gris en las zonas no alteradas y un color más marrón en las zonas con alto intemperismo, posee un fracturamiento moderado y una textura porfídica. Los minerales principales identificados se encuentran en las siguientes proporciones: 52% de feldespatos del tipo anortoclasa-sanidino, vistos como minerales tipo fenocristales y en cristales que forman la mesostásis de la roca. La mesostásis se define como la última fracción de la mezcla fundida que se consolida en los espacios existentes entre los cristales formados anteriormente y presenta alteración moderada de tipo sericitica. El 20% de composición lo conforma el mineral de cuarzo, en forma de fenocristales “corroídos”, oligoclasa en fenocristales de geometría tabular en un 15%, con sericita y maclado combinado. Finalmente presenta un 3% accesorio como fayalita, con una geometría rómbica con inclusiones de cuarzo-calcedonia. Según la relación estratigráfica respecto

al complejo metamórfico Carácuaro y a la unidad volcánica Paránguaro se le ha asignado una edad del Oligoceno (36 Ma-24 Ma).

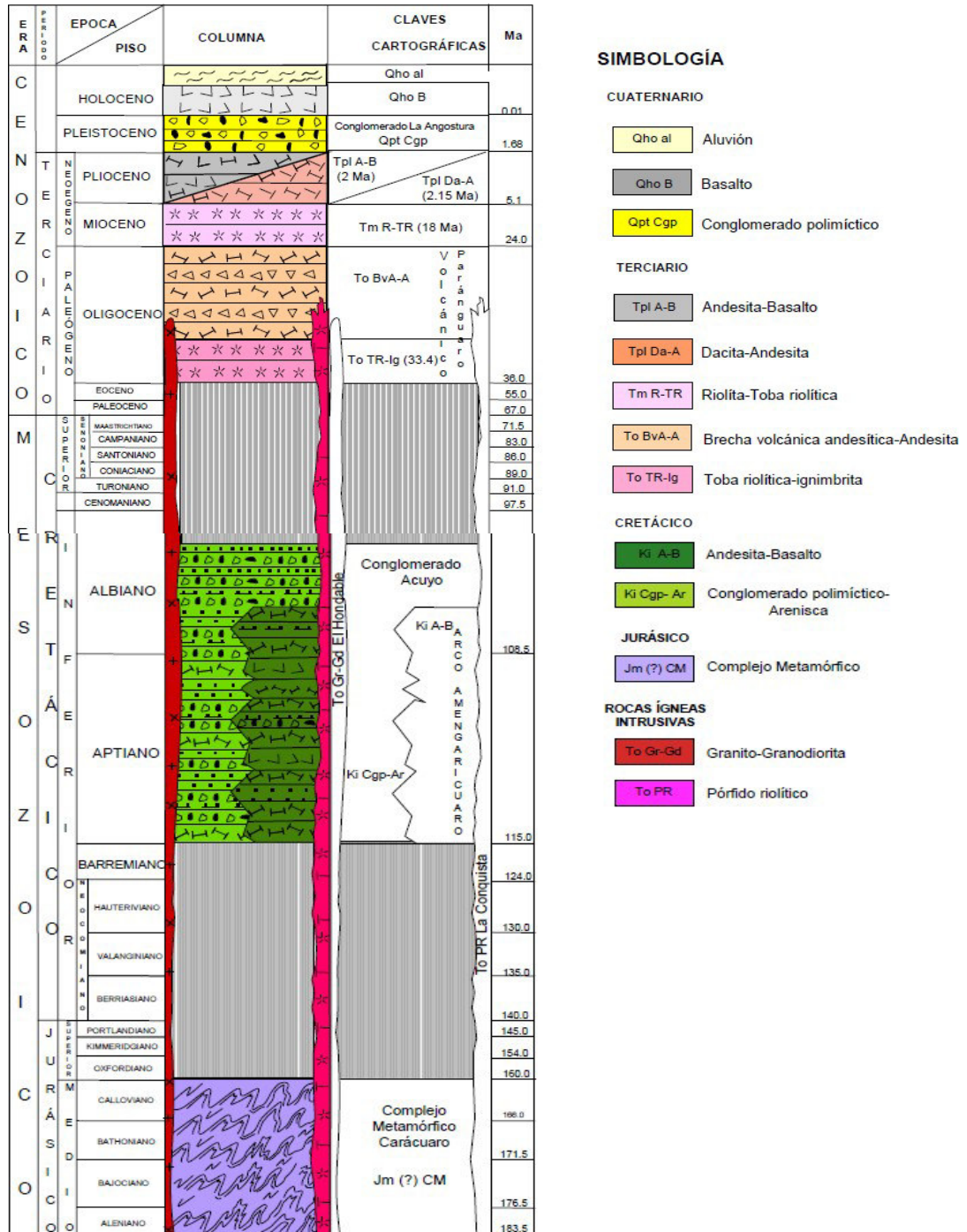


Figura 4. Estratigrafía del área de estudio (Tapia Cruz, 2012).

3. METODOLOGÍA DE CAMPO PARA LA BARRENACIÓN A DIAMANTE

3.1. Exploración mineralógica mediante sondeos

La definición de exploración minera consiste en todas las fases o procesos que debe realizar un grupo multidisciplinario de ciencias de la tierra para reconocer, identificar y explotar un yacimiento minero. Cada parte del proceso tiene un objetivo particular con lo que se facilita la caracterización y descripción de los detalles en cuestión de cada yacimiento y así permitir su evaluación. Esta evaluación dará una idea de la rentabilidad económica que el yacimiento tiene, con lo que se tomará la decisión de iniciar el proyecto o no. Según la explicación de (Castilla Gómez y Herbert Herrera, 2012), en la explotación mineral, “son necesarias muchas tareas previas para llegar a poder definir las características del yacimiento que se quiere explotar, incluyendo como parámetro fundamental la calidad del material y su ubicación espacial. En este aspecto es importante entender la calidad de un mineral como la cantidad de elementos que son aprovechables económicamente dentro de la matriz de roca, sus características geotécnicas, que influirán en gran medida de la selección de los métodos de explotación”.

Las dos formas que se describen y que permiten que dentro de un proyecto se puedan conocer las propiedades de la roca y su contenido mineral son la forma indirecta y la forma directa. Estas metodologías se describen a continuación:

- Forma indirecta: la metodología o metodologías indirectas que permiten inferir los parámetros importantes en la exploración minera, son aquellas que no necesitan de la interacción física o directa con las rocas que almacenan al yacimiento. Estos métodos pueden ser los métodos geofísicos, como la magnetometría y la gravimetría, y otros como los métodos geoquímicos de aguas, percepción remota, etc.
- Forma directa: la metodología o metodologías directas implica que las propiedades de las rocas se obtienen mediante la observación de las

muestras de rocas a escala de “muestra de mano” y de los minerales que las conforman mediante el uso de lupa de geólogo o bajo microscopio. Estas muestras en este caso pueden venir desde una profundidad determinada, y son muestras que se toman por medio del método de logueo geológico. La aplicación del método de logueo es guiada siempre por los métodos indirectos, *e.g.*, toda la información geológica, geofísica y geoquímica, que reduzca la zona de estudio a objetivos particulares dentro de áreas extensas.

En este capítulo se enfocará en las bases teóricas del método directo de exploración minera llamado logueo geológico, así como de las observaciones que se realizan en base al análisis directo de los núcleos extraídos por este método.

3.2. Acondicionamiento en plaza de barrenación

La denominada plaza de barrenación era ubicada por medio de GPS y sería el primer paso antes de iniciar una perforación, una vez marcado el punto se proseguía con su acondicionamiento, el cual consiste en dejar un espacio de 5 x 5 m, este debe de estar completamente plano sin brumos ni pendientes, esto porque en ese mismo espacio se excavará 15 cm para introducir polines de madera, los cuales hacen la función de soporte donde se montará la máquina para empezar a perforar (Figura 5).



Figura 5. A) GPS GARMIN ubicando nueva plaza de barrenación. B) Acondicionamiento plaza de barrenación con dimensiones de 5 x 5 m, buscando dejarla lo mejor anivelada posibles para proceder con la colocación de polines.

3.3. Alineamiento de polines

Una vez terminado el acondicionamiento con la plaza de barrenación, proseguíamos con el alineamiento de polines, los cuales se manejaban en rumbos azimutales de acuerdo con la dirección del barreno programado, para esto se utilizaba una brújula y se direccionaba el polín de acuerdo al rumbo planeado, la función de este polín sería donde montaría la máquina de perforación (Figura 6 y Figura 7).



Figura 6. Alineamiento de polines (Parte 2).

3.4. Procedimiento para iniciar a perforar.

1. El geólogo se dirige a la zona de estudio, marcará el punto donde se instalará la máquina, esto con ayuda de un GPS donde se busca un error menor a 5 metros de acuerdo a las coordenadas programadas.
2. Una vez indicado el punto de la plaza, es necesario acondicionar el área de barrenación, es decir, se nivela con costales y polines extrayendo el exceso de materia, de manera que quede un área plana y estable de 5 x 5 m (Figura 12).
3. Ya acondicionada de manera correcta la plaza de barrenación o planilla es necesario que el geólogo regrese nuevamente para indicar con exactitud la dirección a la que se va a perforar, esto con ayuda de una brújula, cabe mencionar que es de suma importancia indicar la dirección sin ningún tipo objeto metálico que pueda alterar la lectura de la brújula.
4. Terminando la indicación del geólogo, el perforista junto con sus ayudantes empieza con el armazón de la máquina, esto no les toma más de 5 horas.
5. Una vez armada la máquina, esta empieza a perforar a 90° con un tubo preferentemente de diámetro HQ, esta perfora hasta que el tubo entra en contacto con roca compacta y él tubo rota hasta fundirse y adherirse completamente con la roca compacta, una vez terminado este proceso, se utiliza una cadena, enganchándola a la tubería fundida con la roca y del muerto, una vez terminado este proceso la maquina está anclada, y se puede dar la inclinación a la pluma para que empiece con el barreno.
6. El geólogo regresa nuevamente a la máquina para dar la inclinación indicada a la máquina y terminando este proceso la maquina esta lista para romper con el nuevo barreno.



Figura 7. Inicio de la barrenación con la inclinación programada respectivamente.

3.5. Perforación a diamante

El trabajo de Ancalle Aquispe (2019) reconoce este término “perforación a diamantina” como un sinónimo de perforación a rotación con recuperación de testigo ya que lo define “como la perforación con uso de una broca diamantada para perforar la roca, esta operación utiliza un cabezal o broca diamantada, que rota en el extremo de las barras de perforación (o tubos). La abertura en el extremo de la broca diamantada permite cortar un testigo sólido de roca que se desplaza hacia arriba en la tubería de perforación y se recupera luego en la superficie”.

Cualesquiera de los términos utilizados hacen referencia a lo mismo y se considera también un diámetro en la broca de perforación o corona de diamante lo que permite cortar y extraer testigos de diferentes tamaños según el objetivo. El diámetro más utilizado para fines de exploración es el diámetro llamado HQ de 63.50 mm ya que se considera el diámetro que contiene la cantidad de muestra necesaria para realizar pruebas completas.

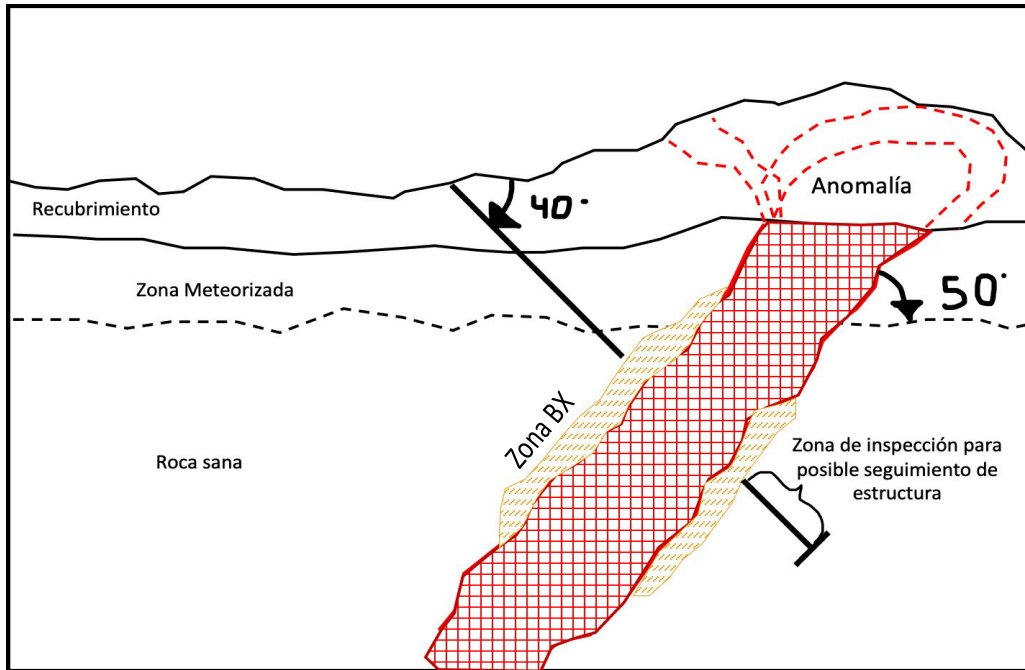


Figura 8. Esquema favorable para dar un barreno a diamante con el objetivo de cortar una estructura mineralizada, los ángulos y posición de la maquina, así como el tipo de barreno es normal que cambie, ya que se tienen que tomar en cuenta diferentes factores como la geometría del cuerpo mineralizado, profundidad del objetivo, accesibilidad al área de estudio y estabilidad del terreno (Moon, 2006).

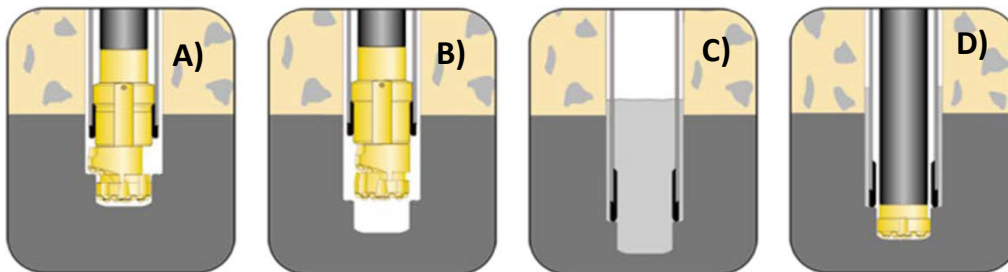


Figura 9. A) Una vez que se empieza a perforar con el escariador, el cual permite un diámetro mayor para poder introducir tubería para encamisar, el diámetro de este normalmente se utiliza PQ. B) Una vez hecho el trabajo con el escariador se introduce la tubería PQ, esto para asegurar los primeros 15 a 20 del barreno. C) Las diversas piezas que componen el entubado del sondeo deben ser aislados por algún agente sellante. D) la perforación continua hasta llegar al objetivo (Fundamento del sistema ODEX).

3.6. Rehabilitación en plazas de barrenación

Todo proyecto de minería debe considerar ante todo el impacto ambiental que puede provocar. En este asunto, la Secretaría de Medio Ambiente ha formulado un sistema de normas que destacan la importancia y la necesidad que requiere una empresa minera para evitar el impacto en gran escala de los sitios donde

realiza sus actividades. Es importante para el geólogo de exploración y para los gerentes de proyectos considerar un conjunto de actividades que están encaminados a los objetivos que establecen las normas. Estas actividades deben considerarse durante las etapas que prosiguen a la detección de prospectos mineros, antes de la barrenación, durante la barrenación y después de la barrenación. Estas actividades se describen a continuación.

Antes de barrenar

Según el trabajo de Rojo Zenil (2011) , las actividades empleadas antes de la barrenación, incluyen el mantenimiento de caminos, de brechas de acceso y de plazas de barrenación. Las actividades consideradas contemplan:

- La eliminación de la maleza y el retiro de los troncos, si los hay. Las herramientas empleadas para el retiro de maleza y troncos incluyen azadón, pala, hacha y machete. Entre las actividades también se incluye el acondicionamiento de caminos y de los accesos para llegar a la plaza de barrenación, con lo que el camino debe quedar libre para el paso de los vehículos que transportan los equipos de perforación (Figura 10).



Figura 10. Retiro de maleza y exceso de volumen para dejar un área apta para montar la quinaria.

Durante la barrenación

Durante la barrenación, las actividades a realizar pretenden que se pueda supervisar y dar mantenimiento para cumplir con medidas de mitigación y lograr

los ajustes y correcciones necesarias para procurar el impacto mínimo de la zona. En este caso, en estas actividades, se sigue las indicaciones generales para cualquier proyecto en minería, como lo describe también Continuum Resources México S.A. de C.V., (2004):

- Se deberá tener a una persona responsable para la supervisión de las medidas acordadas para no afectar tanto la zona. Esta persona también deberá tener un control de proyecto de acuerdo con los tiempos del proyecto y en caso de no cumplirse, deberán proponerse nuevas medidas, que generen impactos menores al proyecto.



Figura 11. Máquina en operación, respetando el área de trabajo y adaptándola con señalética de precaución al tránsito vehicular.

Durante la restauración

Las actividades de restauración después de la barrenación pretenden recuperar las áreas afectadas por la rehabilitación antes de la barrenación (Figura 14). Según la Secretaría de Medio Ambiente y la norma mexicana NOM-120-ECOL-1997, la restauración debe considerar que “En las actividades de restauración, se utilizarán únicamente individuos de especies arbóreas, arbustivas y herbáceas locales. El material recuperado durante las actividades de desmontes y conservados para tal fin, será empleado en las actividades”. La norma establece que el estado final del sitio deberá reportarse a la secretaría.



Figura 12. Distribución de semilla recolectada antes de empezar actividades en el área de trabajo.

4. Metodología para el desarrollo del logueo

4.1. Logueo geológico

El logueo geológico consiste en la extracción de porciones rocosas en forma cilíndricas mediante herramientas específicas. Las zonas que requieren ser *logueadas* deben ser guiadas por prospecciones previas, que hayan permitido identificar anomalías referentes a yacimientos minerales ya descubiertos. Hacerlo sin formación previa implicaría el aumento de los costos de un proyecto minero. Como se mencionó en el objetivo del trabajo, el proyecto consistió en el logueo de blancos positivos, detectados mediante estudios de geofísica previos. Estos estudios que permitieron detectar algunos blancos de interés, inferidos como mantos de leyes regulares y de interés económicos. Dicho esto, se demuestra que el logueo debe iniciarse y guiarse mediante otra información.

Cabe mencionar que, dentro de la literatura, el *logueo* geológico pueden encontrarse o referirse como perforación a rotación con recuperación de testigo (Castilla y Gómez, 2012). Este método se destaca de los otros métodos como la perforación a rotación y a la perforación a rotopercusión ya que permite la recuperación de la muestra de roca que será analizada posteriormente.

La herramienta que permite la perforación a rotación con recuperación de testigo consta de varios elementos característicos, mostrados en la Figura 14. La descripción de cada una de las partes está en base a la descripción del trabajo de Castilla y Gómez (2012):

- Corona de diamante: Esta parte de la sarta de perforación contiene diamantes industriales, colocados al final. Este elemento se encarga de cortar la roca, de manera que pueda obtener el núcleo en forma de cilindro. Este núcleo se va alojando en la parte interior de la sarta. Este es el método más útil en depósitos masivos con una ley baja, principalmente en aquellos donde la distribución de minerales es en la roca matriz. Cuando la roca con mineralización es más superficial, no se utiliza ninguna sarta de perforación con recuperación de testigo ya que las

condiciones de la roca, e.g., grado de fracturamiento, no permite la extracción completa de los núcleos.

- Espacio anular de la corona de diamante: este elemento se encuentra hasta el final de la sarta de perforación y permite el flujo de los fluidos de perforación, los que pueden ser agua, aire o agua con lodo. Estos fluidos son bombeados por toda la sarta y salen hasta el espacio anular, por lo que tiene la potencia para retirar el material cortado.
- Tubo porta testigo: Es la parte de la sarta que aloja a los testigos cortados. Este tubo es desmontable, lo que permite que los núcleos puedan maniobrase mucho mejor y ser colocados en los moldes de madera sobre los que se analizan. Cuando el núcleo es cortado y almacenado en el tubo porta testigos, se “agarra” por medio de un casquillo en forma de cuña, montado en la base de la sarta. A esta parte se le denomina muelle rompe testigo o porta testigo.
- *Wireline*: cuando el núcleo está completo (normalmente los núcleos tienden a tener 3.05 metros de largo), este se extrae de la sarta por medio de un tipo mordaza que baja hasta el interior y se ancla a un dispositivo en forma de arpón de la porta testigos.

Según el trabajo de Ancalle Aquispe (2019), otros componentes de los equipos de perforación, independientemente de que extraiga testigos o no son la máquina o planta motriz, torre o cabria de perforación, mesa rotatoria, mecanismos de transmisión de potencia, bombas y sistemas de lodo, malacate, bloque corona y bloque viajero. Estos elementos dependen del diseño del equipo de perforación, según el objetivo del trabajo. En las prácticas profesionales también conocí sobre otros parámetros que van a definir el coste y tiempo que se llevará para una perforación.

Dentro de los parámetros aprendidos se considera siempre una importancia sobre la determinación de la velocidad de la rotación de la sarta. En la selección de una velocidad de rotación pueden intervenir muchos factores como lo son:

1. Velocidad de la penetración
2. Diámetro de la broca
3. Profundidad del agujero
4. Vibraciones.

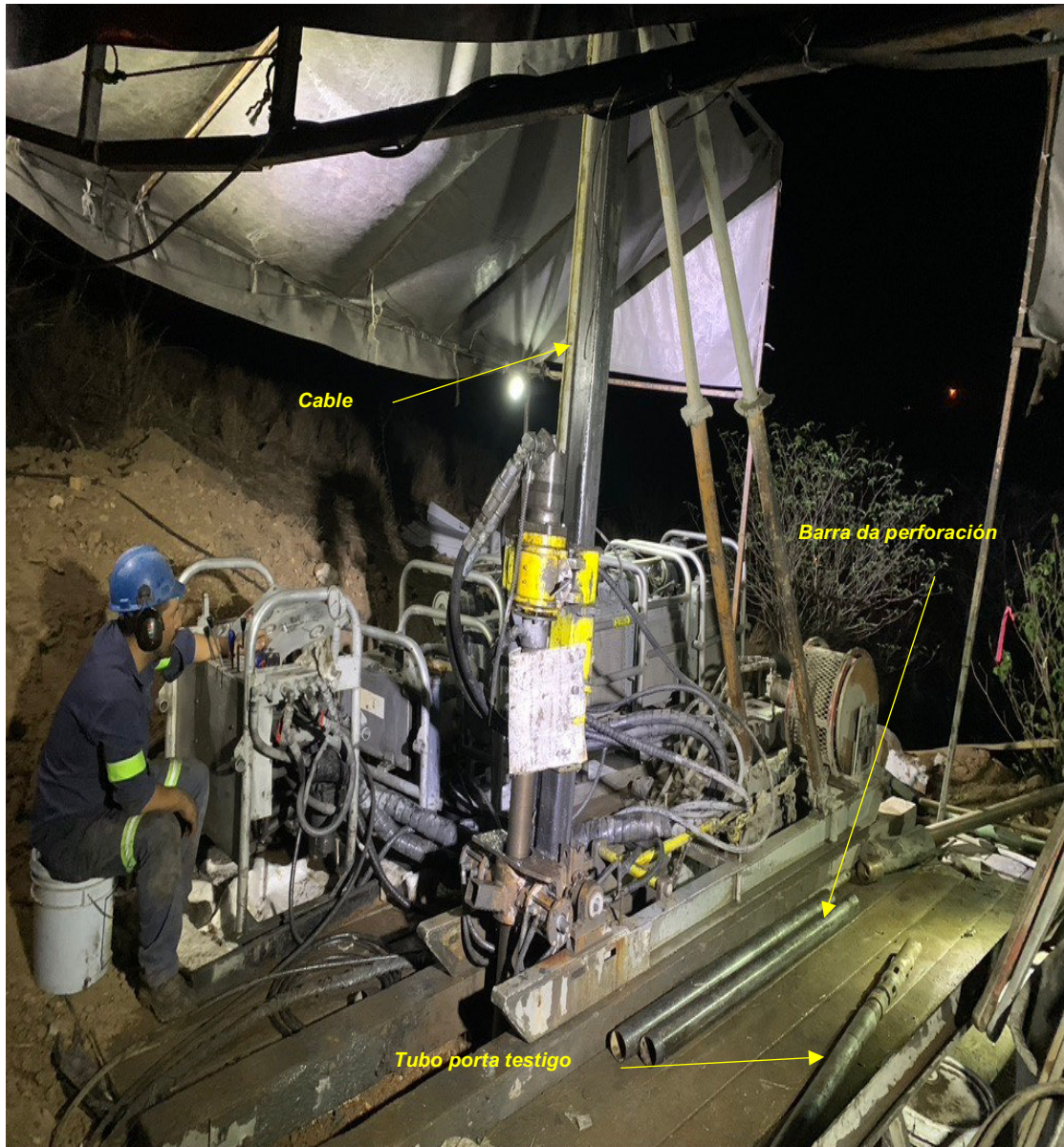


Figura 13. Esquema representativo de partes básicas en una maquina de barrenación a diamante.

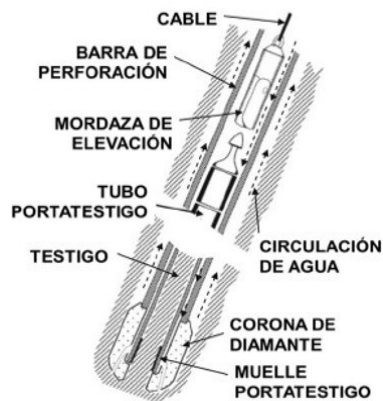


Figura 14. Esquema representativo de las partes de una sarta o barreno de perforación a diamante (Castilla).

4.2. Procedimiento del logeo geológico

El procedimiento de campo para el logeo puede variar, pero se describe el realizado en la instancia laboral. Los pasos descritos a continuación están basados en los pasos descritos por Cama Hanco (2017):

1. Se debe procurar la buena iluminación de la sala donde se realizará el análisis, preferentemente aprovechar la luz natural del día.
2. Se debe verificar la integridad de las muestras recuperadas durante la perforación. Se debe medir la distancia del tramo perforado.
3. Se moja el aspersion y se limpia en algunos casos la muestra con agua, utilizando brocha con la finalidad de observar de una mejor manera los detalles.
4. Se definen parámetros físicos de las rocas, como las propiedades geomecánicas.
5. Se toman fotos de los sondajes en forma ordenada.
6. Identificación de los tramos de la muestra considerando la litología, mineralogía, detalles estructurales y la alteración.

7. Se describe y se gráfica lo observado en cada tramo. En software de logueo también se anota el ángulo de contacto y buzamiento en cuestión a litología rescatada y estructuras encontradas.
8. En los tramos mineralizados (manto, veta, diseminado) marcar y definir la estructura de acuerdo con su control mineralógico y/o estructural en el software de logueo.
9. En los tramos a muestrear el geólogo de logueo procederá a marcar con lápiz de cera (crayola) de color rojo el intervalo de interés y sobre el testigo la línea de corte y con plumón indeleble el metraje del tramo en la caja.
10. En gabinete se verificaron los resultados de ensayos de los elementos y se registran en sus columnas respectivas.



Figura 15. A) Representa la buena iluminación que tendría que existir en el lugar de logueo, además del acomodo correcto de caja de acuerdo con su metraje. B) Muestra la verificación del núcleo completo extraído. C) Núcleo medido y limpiado correctamente para un mejor análisis de su composición mineral. D) Medición de parámetros geotécnicos geotécnicos como RQD y recuperación del núcleo. E) Muestreo selecto de acuerdo con sus características minerales y desarrollo correcto del sistema QA/QC. F) Fotografía ordenada de los sondajes recuperados.

La actividad de muestreo y logueo es una de las más importantes en cualquier proyecto de minería. Esta etapa determinará el éxito de la etapa exploratoria ya que con las muestras representativas se podrá definir el valor de los depósitos minerales en el área, y se logrará terminar entonces la viabilidad técnica-económica.

En un proyecto, el ingeniero geólogo estará a cargo de esta actividad y procurará mantener la calidad de las muestras por el método previamente explicado. Para Cama Hanco (2017), el objetivo del muestreo es determinar los contenidos de los elementos útiles, para definir, las reservas y su valor en base a las leyes de las muestras reportadas en laboratorio.

Una vez que se ha procurado los antecedentes de la zona de estudio, que incluyen estudios previos como la geofísica y la geoquímica, propios de la etapa de exploración se procede a iniciar con la etapa de barrenación y logueo que ayude a cumplir con los objetivos del proyecto. En el siguiente capítulo se explica la metodología de campo para realizar las jornadas de barrenación y logueo, abarcando cada aspecto teórico, tanto términos y definiciones de la geología, explicado en los capítulos anteriores.

En primer lugar, las jornadas comienzan con la decisión de la zona que se quiere perforar. Estas zonas son indicadas por los ingenieros geólogos que en base al análisis geológico visto con anterioridad indican. El método consiste en la asignación y habilitación de la zona para la perforación, del alineamiento de los polines, y de la colocación e instalación de la sarta de perforación. La extracción de núcleos se hace en base a la teoría explicada y los análisis y observaciones se van ingresando a un software. Todas las actividades de mis prácticas profesionales se explican más adelante de la metodología de campo y se realizan ciertas conclusiones y comentarios acerca del aprendizaje durante esta etapa profesional.

4.3. Pruebas de calidad en el logueo

Una vez que se ha determinado con toda la información disponible los puntos de interés para realizar el logueo, con el que pretendemos mejorar el entendimiento del subsuelo y comprobar la existencia de blancos minerales de interés geológico debemos seguir ciertos procesos que aseguran la calidad de nuestros resultados. En cualquier marco de exploración mineral, existen programas que aseguran la calidad de la información. Estos aseguramientos de los datos nos dan fiabilidad a la hora de realizar el cálculo de reservas (Figura 16).

Para Cama Hanco (2017), “comprende aquellas acciones sistemáticas y preestablecidas orientadas a elevar el nivel de la confianza de un programa de exploración, el control de la calidad abarca los procedimientos rutinarios seguidos para monitorear la calidad”. En otras palabras, la calidad de los trabajos y el análisis se asegura mediante el seguimiento de protocolos de trabajo con lo que se evita que los geólogos que realizan la inspección de los núcleos no cometan tantos errores y sepan integrar la información a los *softwares* utilizados.

El término QA/QC se refiere al aseguramiento de calidad (AQ) y al control de calidad (QC), siglas que se utilizan así por su traducción al idioma inglés. El aseguramiento de calidad es el conjunto de actividades preestablecidas y sistemáticas necesarias para garantizar que una determinada actividad u operación alcance un grado aceptable de calidad (Ancalle Aquispe, 2020).

El control de calidad o QC, son las técnicas y actividades de carácter operativo utilizadas para determinar el nivel de calidad realmente alcanzado, el control de calidad por seguridad puede llevarse a cabo en tiempo real (Ancalle Aquispe, 2020).

Existen ciertas definiciones que son importantes conocer y que se utilizaron durante las prácticas profesionales para el control de calidad:

- Muestras gemelas: Se obtienen al realizar un canal paralelo sobre el área donde previamente se ha colectado una muestra (Cama Hanco, 2017). Estas también se pueden obtener al dividir por la mitad las muestras del testigo de corte a diamante. Ambas muestras deben ser extraídas bajo las mismas condiciones y preparadas en el laboratorio de la misma manera.
- Duplicados gruesos o de preparación: Los duplicados gruesos se usan para evaluar el error de cuarteo o sub-muestreo.
- Blancos gruesos: Son muestras de material estéril, con granulometría gruesa, que deben ser sometidas a todo el proceso de preparación en conjunto con las demás muestras ordinarias, y que deben ser preparadas a continuación de muestras fuertemente mineralizadas.
- Duplicados de pulpa o duplicados internos: Son duplicados de muestras ordinarias previamente pulverizadas, que son enviados con diferente número al laboratorio primario para su análisis en el mismo lote analítico que las muestras originales. Se utilizan para evaluar la precisión analítica del laboratorio.
- Blancos finos: Son muestras de material estéril pulverizado, que deben ser analizadas a continuación de muestras fuertemente mineralizadas, y que se utilizan para determinar si se produce contaminación durante el proceso de análisis.
- Duplicados externos: Son duplicados de muestras ordinarias previamente pulverizadas, que son reanalizados en el laboratorio secundario. Estas muestras son utilizadas para evaluar la exactitud analítica del laboratorio primario, de modo complementario a los estándares.
- Estándares: Son muestras elaboradas bajo condiciones especiales, que deben formar parte de los lotes analizados tanto por el laboratorio primario como por el laboratorio secundario.

- Pruebas granulométricas: Este procedimiento se realiza con la finalidad de chequear la calidad de la pulverización en el laboratorio primario.

Los programas QA/QC que se utilizan para monitorear el trabajo rutinario y el desempeño que se lleva a cabo en el laboratorio de análisis el error. El monitoreo de la calidad se lleva a cabo considerando algunos parámetros que distinguen la recolección y cuarteo de las muestras de campo, la preparación y submuestreo de las muestras de laboratorio, la exactitud y precisión analítica y la exactitud (Cama Hanco, 2017; Ancalle Aquispe, 2020). Estos parámetros se definen como sigue:

- Precisión: Es la habilidad de reproducir consistentemente una medición en condiciones similares. Este término nace de la suposición de que la diferencia de errores en las diferentes observaciones se debe a la presencia de ruido, probablemente relacionada al error humano. Su evaluación exige reproducir la medición en condiciones tan cercanas como sea posible a las existentes durante la primera medición (medición original).

Este parámetro se puede evaluar cuando se envían las muestras gemelas o duplicados al mismo laboratorio.

- Exactitud: Se define como la proximidad de los resultados a un valor verdadero o aceptado. La diferencia de los valores respecto al valor original se debe a errores sistemáticos.

Se puede realizar la evaluación de esto en el mismo laboratorio, mediante estándares certificados donde los materiales sean preparados y documentados en condiciones especiales y controladas bajo el mandato de un laboratorio que tenga una reputación distinguida. En otros laboratorios se hace a través de muestras de chequeo.

- Contaminación: Esto ocurre cuando por equivocación se traslada una cantidad de material a otro lugar donde se encuentra otra muestra. Otra

- Contaminación:

Esta situación ocurre cuando cierta parte del material extraído no puede ser retirado completamente de la sarta y contamine al siguiente material extraído. La contaminación es considerada cuando se tienen valores en los blancos que exceden un cierto límite. Los blancos son muestras certificadas y no tienen leyes representativas, son usadas para la evaluación de la contaminación.

En el marco de toda exploración, el propósito de estos conceptos y de la aplicación del programa de calidad es procurar una integridad de la información y toda empresa minera utilizada el método de QA/QC.

En el logueo de muestras por medio de la perforación a rotación con la recuperación de testigo, los geólogos de exploración son los encargados de cumplir con el QA/QC, que conserve lo mejor posible las características geológicas de los testigos que puedan ayudar en determinar un buen cálculo de reservas, a partir de los modelos geológicos que se crean. El geólogo se valdrá de las herramientas como la picota, lupas de geólogo, lápiz de dureza, flexómetro, un aspersor, de ácido clorhídrico, hojas de logueo, protector, borrador y un lápiz de cera.

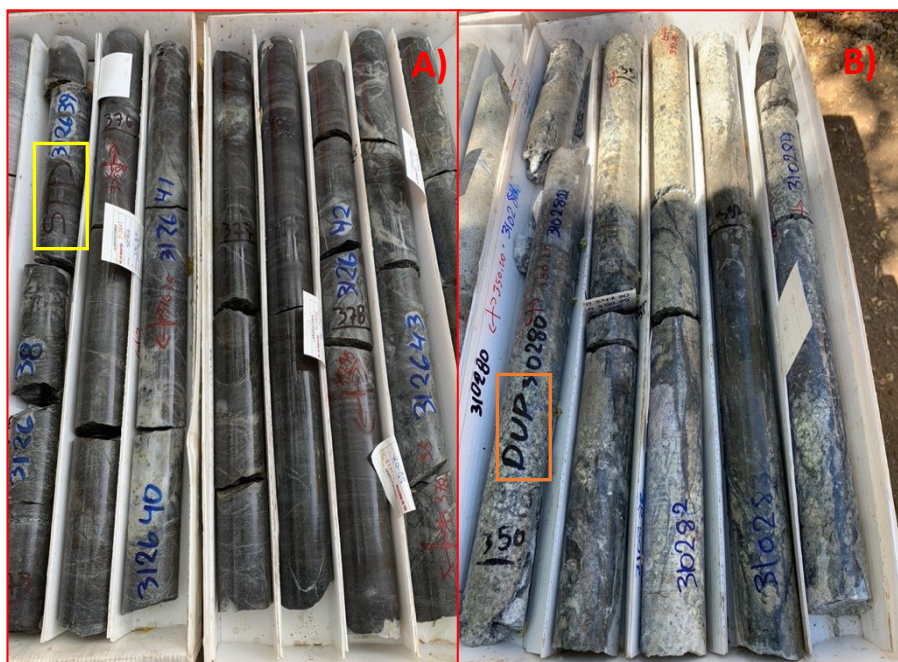


Figura 16. Desarrollo de sistema de control QA/QC. A) Muestra estándar enmarcada en rectángulo de color amarillo. B) Muestra gemela enmarcada en color naranja.

4.4. Muestreo

El muestreo se realizaba en base a las características de cada núcleo como alteración, contenido mineral, fracturamiento, vetillo, estos eran los parámetros para saber dónde recolectar la muestra, estas no podían ser menores a 0.20 m y mayores a 1.5 m (Figura 15).

El inicio y fin de cada muestra eran marcados con crayola o plumón de color rojo, las muestras son cuidadosamente marcadas, esto para tener una disolución lo menor posible y tener un muestro mas certero y que nos aclare el panorama donde se esta barrenando.

La serie numérica de cada muestra sé escribirá sobre los bordes de los canales de las cajas de núcleo al inicio y al final de cada intervalo de muestra. La dirección de corte se señalará sobre la mitad del núcleo, buscando que al momento de realizar el corte sobre el mismo, quede en la caja la otra mitad del testigo y así poder observar que es lo que recolecto y envié al laboratorio

La muestra de densidad es algo de suma importancia ya que ella es de gran ayuda al momento de realizar su calculo de reservas, esta era seleccionada cada 50 metros, en un cambio marcado de litología o en un área mineralizada.

Durante todo el proyecto se aplicó el método de control QA/QC, este para mantener un mayor control sobre el muestreo y que este pudiera ser certificado, este método se desarrollaba de la siguiente manera, cada 50 metros se sacaba un duplicado de cada muestra, seguía con un blanco (muestra sin ningún contenido mineral) este se ubicaba cada 110 m, seguía con un estándar cada 130 m, con valores ya conocidos para compararlos posteriormente con los resultados del laboratorio.

Cada que se realizaba el envío de muestras al laboratorio, estas eran separadas por número de barreno y encostales donde se introducían 5 muestras y cada vez que se requería colorar algún blanco o estándar, se capturaba con una fotografía como evidencia de que se estaba adjuntando la muestra.

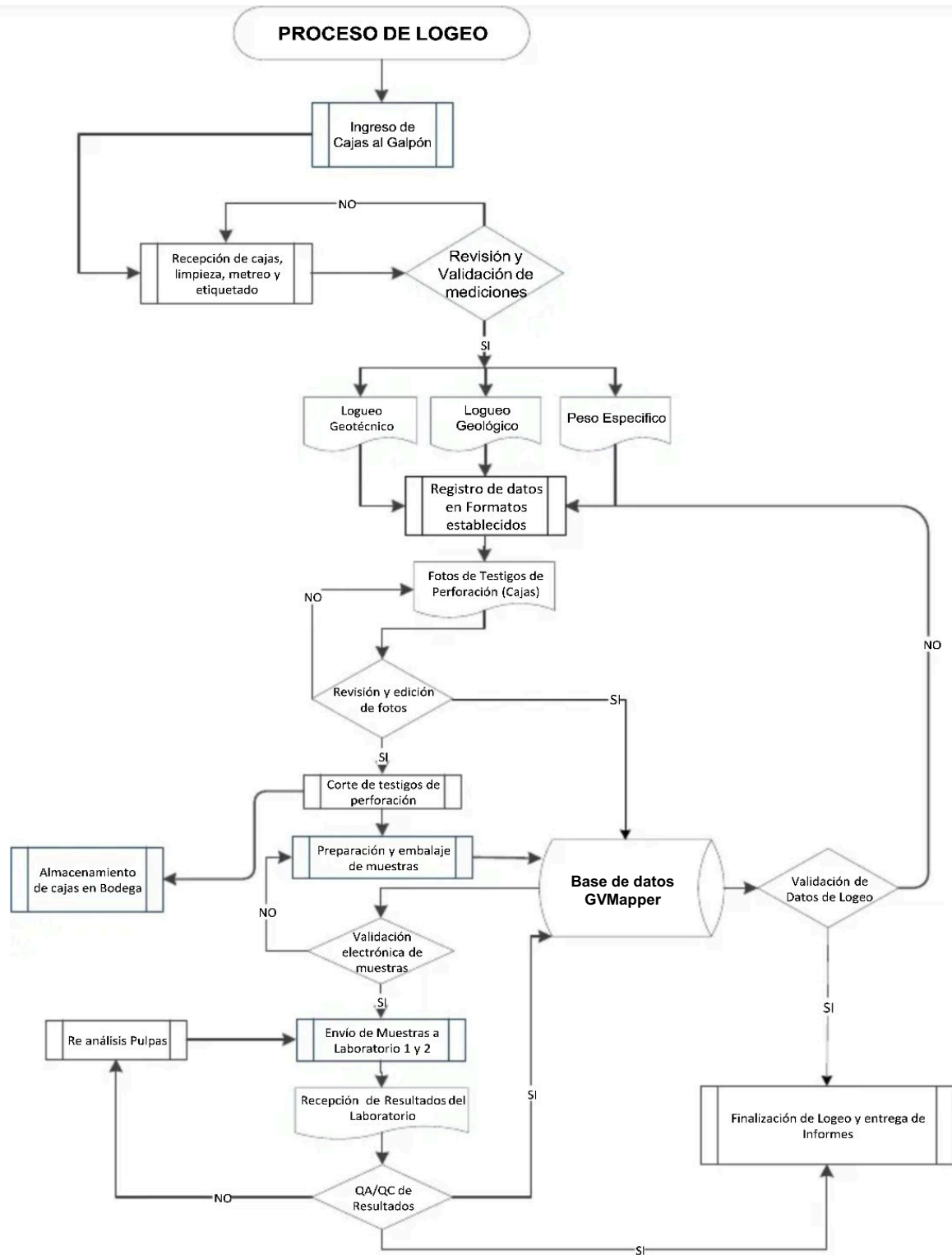


Figura 17. Diagrama de flujo sobre la metodología del desarrollo del logeo.

5. ACTIVIDADES REALIZADAS DURANTE LA ESTANCIA LABORAL

Las actividades realizadas en el proyecto de exploración minera en el área de San Diego Curucupatzeo involucraron el análisis de la información geológica y geofísica para poder llegar a la etapa de barrenación. Estas actividades dejaron un gran aprendizaje el cuál se describiré en las conclusiones y las recomendaciones extraídas de la participación en este proyecto. A continuación, en este capítulo se redacta las actividades de las que se estuvieron a cargo durante el proyecto.

De entrada, fueron actividades sencillas las cuales tuvieron el objetivo primordial de reconocer el área de trabajo, que era algo extensa, de conocer y relacionarse con el equipo de trabajo, aprender la ruta para llegar al proyecto, desde el campamento ubicado en San Diego Curucupatzeo hasta los puntos donde ya se encontraban barrenando las máquinas de número 612 y 515, así como también de las futuras plazas a perforar.

Después de la segunda semana, fueron asignadas otras actividades que ya estaban involucradas con los objetivos del trabajo. Una vez familiarizado con todas las características del proyecto las tareas fueron:

- Logueo del núcleo extraído por las máquinas que ya perforaban al arribo del proyecto.
- Determinación de la ubicación para las nuevas plazas de perforación, considerando las actividades de la alineación e inclinación de cada una antes de perforar (como se mencionó en el capítulo 3).
- Una vez que estas terminaran cada barreno en su plaza correspondiente, se estuvo a cargo de la supervisión de las actividades relacionadas a la reparación del área afectada (rehabilitación antes, durante y después de la perforación), es decir, regresar a su origen la tierra excavada y la materia vegetal removida.

Dentro de las actividades que incluían el logueo, el registro de todas las observaciones realizadas dentro del área donde se encuentran los núcleos se realizó utilizando el software llamado “GVMapper”. Como introducción a este programa se puede decir, según la página del desarrollador, que “GVMapper es un software de captura digital, para mapeo, logueo y administración de base de datos de proyectos geológicos, geotécnicos y mineros. Su esquema de datos permite la adaptabilidad completa a cualquier proyecto. Destaca también su facilidad de uso en equipos táctiles, dado que no requiere conexión permanente a Internet para funcionar, así como la integración en una misma base de datos la información de mapeo, logueo y la interpretación de plantas y perfiles. Además, posee una alta capacidad de interacción con los formatos y aplicaciones más usadas en la industria, como los sistemas de información geográfica (GIS), modeladores y otras bases de datos”. Esta etapa es importante ya que se considera que la obtención de distintos aspectos geológicos en formato digital, observados en cada núcleo, su validación y estandarización, es uno de los fundamentos que sirven de base para cualquier proyecto geológico- minero.

La descripción de cada núcleo consistía en ir separando los intervalos del núcleo a partir de la litología identificada. En segundo plano, cada intervalo era evaluado y se identificaban principalmente los aspectos estructurales, como fracturas y fallas. Para tener una buena cantidad de observaciones, que hicieran válido el análisis desde el punto de vista estadístico, se tomaban medidas de los ángulos justos en el contacto, y se anotaban todas las fallas o fracturas, considerando el respectivo grado de daño causado en la roca (identificado tal vez a partir del grado de brechamiento) y de las direcciones de las fracturas.

Otro ámbito descrito del núcleo era su tipo y grado de alteración. Recordemos que el grado de alteración se define según varios criterios y se identificaban según los tipos de alteración que describe la literatura. Se describen principalmente la alteración propilítica, argílica, argílica avanzada y la silificación. Según lo descrito en la sección que explica los yacimientos minerales presentes y explotados en San Diego Curucupatzeo, la mineralización principal encontrada es la propilítica, argílica y silificación, en diferentes yacimientos.

- Alteración propilítica: Según recursos digitales la alteración de este tipo esta “caracterizada por la presencia de clorita, epidota y/o calcita, y plagioclasa albitizada. Existe ausencia de una apreciable lixiviación de alcalis o alcalinotérreos; H₂O, CO₂ y/o S pueden agregarse a la roca, formándose albita, calcita y/o pirita. Este tipo de alteración representa un bajo grado de hidrólisis de los minerales de las rocas y por lo mismo su posición en zonas alteradas tiende a ser marginal. Generada por soluciones de pH neutro a alcalino y en rangos de temperatura bajos, entre 200°-300°C”.
- Alteración argílica media: Según recursos digitales la alteración de este tipo “posee importantes cantidades de caolinita, montmorillonita, esmectita o arcillas amorfas, principalmente reemplazando a plagioclasas; puede haber sericita acompañando a las arcillas; el feldespato potásico de las rocas puede estar fresco o parcialmente argilitizado. Hay una significativa lixiviación de Ca, Na y Mg de las rocas. La alteración argílica intermedia representa un grado más alto de hidrólisis relativo a la alteración propilítica. Este tipo de alteración tiene lugar en rangos de pH entre 4 y 5 y puede coexistir con la alunita en un rango transicional de pH entre 3 y 4. La caolinita se forma a temperaturas bajo 300°C. Sobre los 300°C la fase estable es pirofilita”.
- Alteración argílica avanzada: Según recursos digitales este tipo de alteración “está caracterizada por la destrucción total de feldespatos en condiciones de una hidrólisis muy fuerte, dando lugar a la formación de caolinita y/o alunita. Gran parte de los minerales de las rocas transformados a dickita, caolinita, pirofilita, diásporo, alunita y cuarzo. También se puede encontrar jarosita, pirita y/o zunyita. Este tipo de alteración se da en un amplio rango de temperatura”.

- Alteración de silificación: Este tipo de alteración posee “Ambosfeldespato (plagioclasas y feldespato potásico) transformados a sericitay cuarzos secundarios, con cantidades menores de caolinita. Normalmente los minerales máficos también están completamente destruidos en este tipo de alteración. Es el resultado de una hidrólisis moderada a fuerte de los feldespatos, en un rango de temperatura de 300°-400°C y en un rango de pH 5 a 6”.

Después de la identificación de la alteración, se identificaban los minerales presentes en el núcleo, se calculaban sus porcentajes y se describía su interacción con la roca, en las zonas de mayor alteración, fracturamiento o contenido mineral se recolectaban muestras con dimensiones mínimas de 0.20 m y máximas de 1.5m, donde esta se debía rotular con un su número de serie correspondiente, mismo que debería coincidir con el asignado en el software de logeo, GVMapper. Todas estas operaciones consideraron y evaluaron el control de calidad del tipo QA/QC, con el que se aseguraba una certeza estadística y además brinda la seguridad de que toda la información registrada tiene un peso de calidad para la realización de las interpretaciones.

Durante el final de cada día de trabajo, se elaboraban ciertos reportes de todas las actividades realizadas y se entregaban al jefe en cargo. Esto permitía llevar el control de las actividades y revisar los tiempos de entrega según el proyecto inicial. Esto permitía agendar actividades para los días subsecuentes, evitar retrasos, si los hubiera entonces se disponían cambios del plan de trabajo para continuar con un avance de importancia dentro del proyecto.

El seguimiento de algunas etapas de la exploración geológica minera, así como el seguimiento de los estándares, protocolos y procedimientos fueron actividades donde se obtuvieron un gran desarrollo profesional y personal.

Proyecto:		San Diego		LOGUEO GEOLÓGICO		
Barreno:		JR -01				
Logueado por:		Ing. Jaime Ramos				
De:	A:	ROCA	LITOLÓGÍA	ALTERACIÓN	MINERALOGÍA	ESTRUCTURAS
204.00	205.00	Granito	Granito de tonalidades claras, presenta una textura fanerítica, cristales anhedral de Qz blanco, esto con un alto contenido en biotitas de tonalidades rojizas.	Silicificación moderada, acompañada de alteración propilítica moderada donde resalta su contenido de clorita.		
206.00	207.00					
208.00	209.00					
210.00	211.00					
212.00	213.00	Meta - Andesita	Tonalidades verde clara, con un alto contenido en plagioclasas, estas se presentan girados 20° respecto al ángulo del barreno, también pareciera tener un contenido mínimo de piroxenos.			Falla con fracturamiento moderado, un cizallamiento moderado con presencia de gouge y una mineralización esporádica sobre el mismo, también sobre los planos de fractura, domina Py fina en parches y diseminada.
214.00	215.00					
216.00	217.00					
218.00	219.00	Granito	Granito de textura afanítica, presenta tonalidades claras con un contenido mayor de Qz, estos son anhedral, acompañados de un alto contenido en biotita.	Silicificación moderada-intensa, acompañada de una cloritización moderada, esta pareciera afectar de manera pervasiva sobre las plagioclasas y escasas biotitas.	Vetilleo de Qz-Calcita (Tipo A), estas contienen diseminados de Py fina sobre las mismas y Py fina diseminada en parches sobre la extensión del núcleo.	
220.00	221.00					
222.00	223.00					
224.00	225.00					
226.00	227.00					
228.00	229.00					
230.00	231.00					
232.00	233.00	Meta - Andesita	Roca de tonalidades verdosas, presenta un contenido mineral en plagioclasas giradas 15° respecto al ángulo del barreno, contenido mínimo de piroxenos.		Diseminados de Py fina sobre vetillas de Qz tipo A.	Falla con ángulo de 30°, esta se presenta rellena de gouge, también se manifiesta sericita sobre los planos de fractura.
234.00	235.00					
236.00	237.00					
238.00	239.00					
240.00	241.00					
242.00	243.00					
244.00	245.00					
246.00	247.00					
248.00	249.00					
250.00	251.00					

Figura 18. Tramo de 50 m logueado de acuerdo a la metodología desarrollada durante el proyecto, esta base de datos posteriormente era aprobada y se agregaba al programa GVMapper.

6. CONCLUSIONES SOBRE LA ESTANCIA LABORAL

Durante este proyecto se participó en las etapas de la barrenación y logueo de núcleos en busca blancos importantes, evidenciados por estudios previos. En este trabajo se describe las características geológicas que van desde la tectónica y la dinámica regional, de los eventos geológicos que han propiciado el volcanismo y el hidrotermalismo del centro de México, del régimen de esfuerzos que han propiciado la formación de varios yacimientos mineros. En los siguientes puntos se destacan algunas conclusiones a las que se llegaron después de la estancia en el proyecto.

- El límite convergente de placas, donde una placa oceánica y una placa continental chocan, ha creado una gran cadena de sutura, formadora de continentes. De estas masas de tierra elevadas se destaca el terreno Guerrero, que sirve como el basamento para la zona de estudio. Este terreno es un terreno tectonoestratigráfico que posee diferencias en litología y edades relativas diferentes a los terrenos aledaños. La configuración tectónica de esta convergencia evolucionó, partiendo a la placa oceánica de cocos en dos y propiciando una subducción que hundió sedimentos con gran cantidad de fluidos.
- Las rocas que cubren el basamento, correspondiente al terreno guerrero, corresponden a las rocas que pertenecen a la actividad de la FVTM, las cuáles son rocas de ambiente de arco volcánico. La composición de la FVTM es principalmente calco alcalino asociada a la subducción descrita en el punto número uno de estas conclusiones. Concorde en tiempo y espacio con la actividad volcánica se suscitaron procesos de sedimentación. Las rocas sedimentarias de la zona corresponden a rocas polimígticas de edad Cuaternario, y de sucesiones de rocas ígneas pertenecientes a la etapa 4 de la evolución de la FVTM. Justo en la zona de San Diego, las rocas son principalmente andesíticas y las rocas sedimentarias son principalmente areniscas y conglomerados.

- La sucesión y sincronía de eventos desde el comienzo de la subducción y de la evolución tectónica, facilitó el emplazamiento de cuerpos magmáticos de gran importancia para que se pudieran acumular importantes yacimientos. Además, la circulación hidrotermal en el subsuelo ha permitido grados de alteración y la formación de otro tipo de minerales que son explotados. Entre los minerales favorecidos a crecer son los que tienen una presencia predominante de minerales de: fierro, cobre, plata, plomo y zinc. Los yacimientos de tipo volcánico presentes son aquellos de tipo VMS y SEDEX, *skarns* y pórfidos de cobre. Los estudios de química de rocas, así como las dataciones realizadas en el área ha permitido crear una historia metalogénica concorde con los diferentes modelos geológicos que se encuentran en la literatura. Esta historia metalogénica ha permitido conducir las exploraciones mineralógicas a partir del análisis de los modelos geológicos y que junto con otra información e interpretación han suscitado en la explotación activa del área de San Diego Curucupatzeo.
- Dentro de los eventos geológicos que deben evaluarse, está la evaluación del régimen de esfuerzos, que provoca la deformación de las rocas magmáticas y sedimentarias. El régimen de esfuerzos juega un control para el ascenso de fluidos magmáticos y fluidos hidrotermales ya que crea los espacios y caminos para que los fluidos se emplacen. Estudiar y conocer la geología estructural en cualquier proyecto de minería facilitara las exploraciones ya que se puede interpretar la ubicación y la dirección en las que una veta importante puede encontrarse. En San Diego Curucupatzeo se tienen algunos sistemas principales de fallas como la: Indianilla, San Juan, las Truchas y el sistema de falla Tepetates. Estos sistemas varían en orientación y en concentración ya que algunas de estas se encuentran predominantemente con una orientación al NE SW mientras que otras tienen orientación EW. Estas fallas afectan a toda la estratigrafía, afectando a las rocas del basamento y a las rocas más recientes.

- Ya que se ha consultado y analizado toda la información geológica existente, así como la información que ha salido a partir de los recortes de varios puntos de barrenación, es posible determinar nuevas zonas para perforación que permitan tener una idea más sólida del subsuelo. Además, al realizar el análisis de las muestras extraídas se permite el cálculo de las reservas probables en el yacimiento y reduce los costos ya que no se avanza en el proyecto si no hay certeza de lo que hay abajo vaya a dejarle una ganancia a la empresa. El tipo de perforación más usado es la perforación a diamantina o perforación a rotación con la recuperación de testigo. Este sistema posee una broca diamantada que rota para cortar a la roca y tiene una abertura que permite cortar el núcleo y llevarlo hasta la superficie por medio de una tubería. El núcleo es colocado en un área que está destinada a su análisis. En estos análisis el ingeniero geólogo tendrá la posibilidad de anotar observaciones que ingresará a un software especializado. Las observaciones más importantes es la identificación de fracturamiento y fallas, así como las medidas que correspondan a la dirección y buzamiento de las mismas. Estas observaciones se realizarán para cada intervalo de roca, en profundidad, separado por las características litológicas de cada núcleo. Por último, una de las observaciones más importantes en los núcleos, es el de describir el tipo de alteración identificada. Esta alteración puede ser de tipo argílica media o avanzada, profilitica o de silificación. Estas alteraciones se corroboran con el tipo de yacimiento que se espera y cuando se identifica pueden confirmarse la acumulación o no de yacimientos de interés económico. La información que se ingresa al software GVMapper permite contar con una base de datos que puede ser consultada posteriormente y además puede estar sujeta a pruebas de calidad para mejorar el análisis que se les hace a los núcleos.
- Antes, durante y después de cualquier campaña de barrenación y logeo, el ingeniero tiene la responsabilidad, junto con su equipo, de preservar y mantener las condiciones ambientales que se encontraron antes de iniciar el proyecto. En este sentido, se debe tener un sentido de correspondencia ambiental que procure el mínimo impacto al medio ambiente. Las

actividades realizadas durante las etapas de barrenación y logueo correspondieron a la rehabilitación durante y después de la instalación de los equipos.

- El objetivo de la campaña de barrenación y logueo no se cumplió ya que los yacimientos identificados no pertenecían al tipo de yacimiento que se esperaba por lo que se han establecido nuevos objetivos para seguir con las campañas y mejorar los modelos geológicos.

REFERENCIAS

- Ancalle Aquispe, F. J. (2019). Logueo geológico, muestreo y QA-QC en perforación diamantina, proyecto Puite-Colorada en el departamento Moquegua de la compañía minera Zahena S.A.C. [Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. In *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*.
<http://bibliotecas.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3337/GFvinif05.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Arboleda Zapata, M. de J. (2018). *Estudio geofísico en los alrededores del punto triple de Guadalajara, implicaciones geológicas y tectónicas*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Continuum Resources México, (2004). *Informe preventivo, sector industrial*.
- Cama Hanco, M. L. (2017). *Aplicación del QA-QC en el proceso geológico, para validar la estimación de recursos y reservas, de la unidad operativa Chungar*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Camprubí, A., & Albinson, T. (2006). Depósitos epitermales en México: actualización de su conocimiento y reclasificación empírica. *Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana*, 58(1), 27–81.
<https://doi.org/10.18268/bsgm2006v58n1a2>
- Castilla Gomez, J., & Herbert Herrera, J. (2012). El proceso de exploración minera mediante sondeos. In *Departamento de Explotación de Recursos Minerales y Obras Subterráneas - Universidad Politécnica de Madrid* (pp. 1–94).
- Centeno-García, E., Corona-Chávez, P., Talavera-Mendoza, O., & Iriondo, A. (2003). Geology and tectonic evolution of the western Guerrero Terrane- A transect from Puerto Vallarta to Zihuatanejo, Mexico. *Geologic Transects*

across Cordillera Mexico Guide Book for the Field Trip of the 99th Geological Society of America Cordilleran Section Annual Meeting, 201–228.

- Clark, K. F., Foster, C. T., & Damon, P. E. (1982). Cenozoic mineral deposits and subduction-related magmatic arcs in Mexico. *Geological Society of America Bulletin*, 93(6), 533–544. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1982\)93<533:cmdasm>2.0.co;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1982)93<533:cmdasm>2.0.co;2)
- Corbo-Camargo, F., Arzate-Flores, J. A., Álvarez-Béjar, R., Aranda-Gómez, J. J., & Yutsis, V. (2013). Subduction of the rivera plate beneath the jalisco block as imaged by magnetotelluric data. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 30(2), 268–281.
- Dickinson, W. R., & Lawton, T. F. (2001). Carboniferous to Cretaceous assembly and fragmentation of Mexico. *Geological Society of America Bulletin*, 113(9), 1142–1160. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(2001\)113<1142:CTCAAF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(2001)113<1142:CTCAAF>2.0.CO;2)
- Ferrari, L., Garduno, V. H., Pasquare, G., & Tibaldi, A. (1994). Volcanic and tectonic evolution of central Mexico: Oligocene to present. In *Geofísica Internacional* (Vol. 33, Issue 1, pp. 91–105). <https://doi.org/10.22201/igeof.00167169p.1994.33.1.542>
- Ferrari, Luca., Pasquare, G., Venegas, S., Castillo, D., & Romero, F. (1994). Regional tectonics of western Mexico and its implications for the northern boundary of the Jalisco block. *Geofísica Internacional*, 1, 139–151.
- Ferrari, Luca, Orozco-Esquivel, T., Manea, V., & Manea, M. (2012). The dynamic history of the Trans-Mexican Volcanic Belt and the Mexico subduction zone. *Tectonophysics*, 522–523, 122–149. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2011.09.018>
- Gomez-Tuena, A., Orozco-Esquivel, T. M., & Ferrari, L. (2005). Petrogénesis ígnea de la Faja Volcánica Transmexicana. *Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana, Volumen Conmemorativo Del Centenario; Temas*

Selectos de La Geología Mexicana, Tomo LVII, Número 3, 227–283.

Mortensen, J. K., Hall, B. V., Friedman, R., Danielson, T., Bissig, T., Oliver, J., Rhys, D. A., Ross, K. V., & Gabites, J. (2003). U-Pb Zircon Age and Pb Isotopic Constraints on the Age and Origin of Volcanogenic Massive Sulfide Deposits in the Guerrero Terrane of Central Mexico. *Society of Economic Geologists*, 103(24), 2003.

Nixon, G. T. (1982). The relationship between Quaternary volcanism in central Mexico and the seismicity and structure of subducted ocean lithosphere. *Geological Society of America Bulletin*, 93(6), 514–523. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1982\)93<514:TRBQVI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1982)93<514:TRBQVI>2.0.CO;2)

Opazo, T., Pérez-Puig, C. R., & Venegas, C. (2007). *Yacimientos Pb-Zn*.

Pasquarè, G., Ferrari, L., Garduño-Monroy, V. H., Tibaldi, A., & Vezzoli, L. (1991). Geologic map of the central sector of the Mexican Volcanic Belt, states of Guanajuato and Michoacan, Mexico. *Geological Society of America*, November 2015.

Pérez-Segura, E., & González-Partida, E. (2010). Mineralogía de skarn y fluidos asociados a los yacimientos de Cu-Zn-Ni-Co de La Esperanza, Sonora, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 27(1), 1–17.

Proenza, J. A., Aiglsperger, T., Torres-herrera, H., María, J., Isabel, A., Castro, L., Torró, L., & García-, A. (2019). Depósitos de sulfuros masivos volcanogénicos encajados en rocas ultramáficas (Cuba oriental): un producto de ofiolitas tipo inicio de subducción. *Sociedad Española de Mineralogía*, 2, 5–6.

Ríos, A. G. (2020). *Situación actual de la minería en México . Concentración de minerales . Alejandro González Ríos. August.*

Rojo Zenil, C. (2011). *Proyecto de exploración minera barrenación a diamante El*

Nazareno, unidad minera La Guitarra, municipio de Temascaltepec, Estado de Mexico.

SGM (Servicio Geológico Mexicano). (2009). *Carta geológica-minera E14-A33* (p. 1).

Suter, M., Aguirre-Díaz, G. J., Siebe, C., & Komorowski, J. C. (1991). Volcanism and active faulting in the central part of the Trans-Mexican Volcanic Belt, Mexico. In *Geological Excursions in Southern California and Mexico* (Issue January, pp. 1–503).

Suter, M., Quintero, O., & Johnson, C. A. (1992). Active faults and state of stress in the central parte of the Trans-Mexican Volcanic Belt, Mexico. The Venta de Bravo fault. *Journal of Geophysical Research*, 97(9), 11.

Tapia Cruz, M. Á. (2012). *Reconocimiento geológico en la región de San Diego Curucupatzeo y Tepetates, Michoacán, México*. Universidad de Chile.

Yang, T., Grand, S. P., Wilson, D., Guzman-Speziale, M., Gomez-Gonzalez, J. M., Dominguez-Reyes, T., & Ni, J. (2009). Seismic structure beneath the Rivera subduction zone from finite-frequency seismic tomography. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 114(1), 1–12. <https://doi.org/10.1029/2008JB005830>