

IV.-YACIMIENTOS MINERALES

IV.1 GEOLOGÍA

Superficialmente en el área de estudio se puede observar que la mayor parte consta de afloramientos de *hornfels* cuarzo feldespático y *skarn* de granate (SICARTSA, 1991).

Los *hornfels* son procedentes de tobas piroclásticas y derrames andesíticos que han sido silicificados debido a procesos metasomáticos, su coloración es de un gris claro con tintes negros a rosados, la textura predominante es porfidoblástica pero en algunas zonas se observa textura afanítica. Su apariencia es masiva a ocasionalmente brechoide.

La alteración que presenta esta roca es potásica y propilítica, aunado a la silicificación existente en su matriz.

El *skarn* de granate se encuentra alterado por los procesos de mineralización, megascópicamente presenta un color pardo rojizo con estructura compacta y textura granoblástica, frecuentemente está asociado a magnetita, hematita, cuarzo, calcita y epidota.

Estas rocas fueron originadas principalmente por efecto del intrusivo granodiorítico sobre la secuencia vulcanosedimentaria de la Formación Tepalcatepec, principalmente las unidades calcáreas.

En el área correspondiente al proyecto La Cruz, se tiene un intrusivo granodiorítico el cual presenta textura fanerítica, equigranular de grano mediano, su estructura es compacta y los minerales que lo forman son fenocristales de cuarzo y feldespato, así como ferromagnesianos de color verdoso.

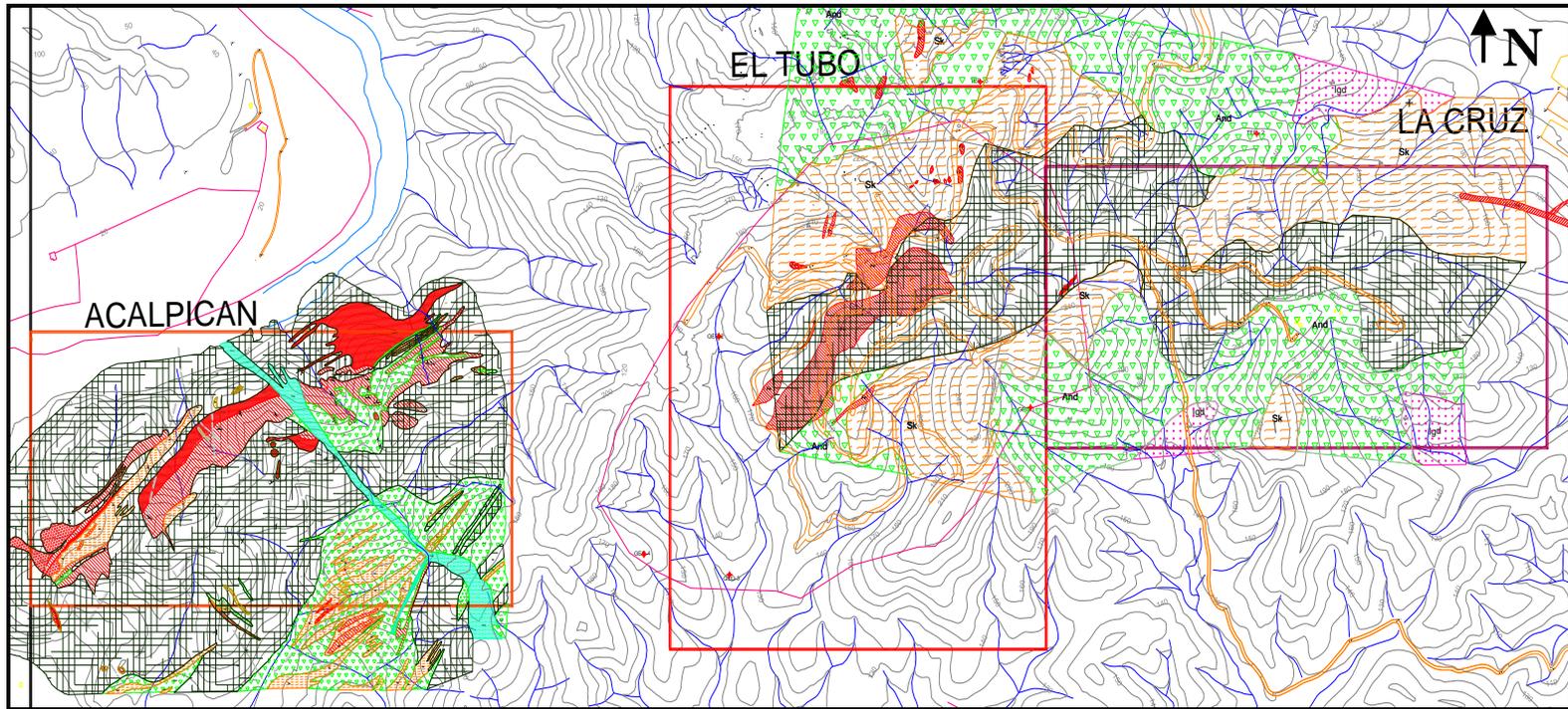
Las andesitas se presentan en un color gris verdoso a verde pardusco, predominan las andesitas que presentan textura afanítica sobre las de textura porfídica que son ocasionales, su estructura es compacta y masiva, teniendo minerales como plagioclasas, epidota, clorita y poca magnetita.

Ocasionalmente la andesita se observa como roca encajonante de la mineralización, mostrando contactos graduales a abruptos en forma preferencial.

Las aplitas se encuentran en forma de diques, generalmente de textura afanítica, de color blanco y textura sacaroide, éstas se encuentran cortando toda la secuencia de rocas y los cuerpos de mineral que hay en el distrito Las Truchas, por lo que se infiere que fueron de las últimas emanaciones de plutones de la zona.

En lo que respecta al proyecto Acalpican se tiene un dique aplítico que se encuentra disectando transversalmente todo el conjunto de rocas y cuerpo mineral, con orientación NW 35° SE e inclinación NW 75°. Su color es blanco y el tamaño de sus cristales es fino, (SERMMOSA, 1995).

El aluvión cubre el cauce del río Acalpican ubicado al suroeste y el arroyo principal procedente de El Tubo, está constituido por arenas, gravas y suelos con espesores variables. En la figura 4.1 se observa el plano geológico de las áreas de estudio (Acalpican, El Tubo y La Cruz).



Escala 1:2000

EXPLICACIÓN

	Suelo		Dique Aplítico		Brecha Andesítica		Fierro masivo
	suelo laterítico		Brecha Volcanica		Skarn		Hornfels con fierro diseminado
	Rodados de Fierro		Tobas.		Skarn con fierro diseminado		Hornfels
	Caliza		Andesita		Fierro diseminado		Granodiorita-diorita

FIGURA. 4.1 Plano Geológico de Acalpican, El Tubo y La Cruz, ubicados en la franja sur del Distrito minero Las Truchas. Fuente: Departamento de Geología y Exploración, ArcelorMittal, 2010.

IV.2.- GEOFÍSICA

IV.2.1.- Magnetometría aérea

Con los planos de vuelos aeromagnetométricos a semidetalle realizados por el Consejo Recursos Minerales (CRM, 1974) y por el Servicio Geológico Mexicano (SGM, 2008), se analizó la información de éstos con la finalidad de conocer la respuesta magnética de estructuras mineralizadas a mayor profundidad, correspondiente a los proyectos en estudio, esto para plantear un mejor programa de barrenación a diamante para los proyectos, como se observa en la figura 4.2 “plano residual del campo magnético total reducido al polo”.

IV.2.2.- Magnetometría terrestre.

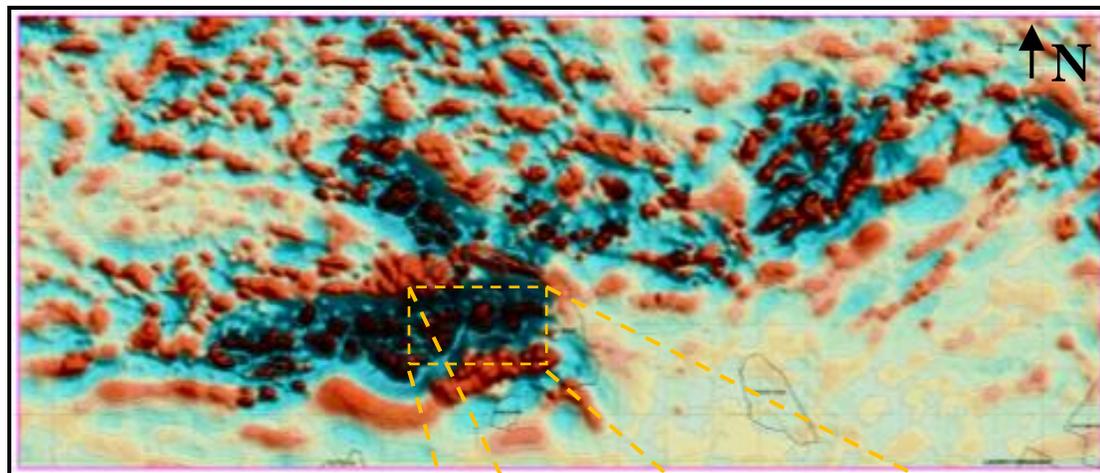
La metodología técnica aplicada fue la de circuito cerrado, la cual consistió en cubrir el área anómala seleccionada con líneas (magnetometría) paralelas entre sí y equidistantes 25 m el rumbo de las líneas es perpendicular al de la anomalía aeromagnetométrica con un espaciamiento entre estaciones de 25 m cerrando así una malla de 25 x 25 estableciendo un control total de la superficie anómala, la toma de datos de campo se hizo a intervalos de 25 m con estaciones intermedias (detalle en cruz) en zonas de mayor relevancia con espaciamientos de 5 m por estación.

De esta forma se localizaron los dipolos magnéticos de mayor gradiente dentro del área, lo cual define una tendencia anómala principal con dirección NE - SW y un buzamiento al SE con unas marcadas interrupciones de campo, quedando una continuidad al NW del área en estudio.

De acuerdo al rumbo e intensidad de la anomalía principal que fluctúa de 30,000 a 75,000 gammas; la zona mineralizada se infiere a partir de 50,000 gammas donde se observa la respuesta magnética inversa debido a posibles movimientos que causan cambios de polaridad a la estructura, esto se confirma en el plano de evaluación de resultados (geológico - magnetométrico) en el cual las interrupciones de campo concuerdan con los

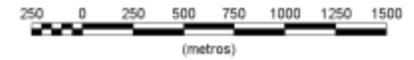
desplazamientos de la estructura mineralizada, (plano magnetométrico a detalle del prospecto El Tubo y Acalpican, CRM, 1974 y SICARTSA, 1979 respectivamente).

En este punto se analizó tanto la información geofísica como la geológica, así como su correlación para de esta manera conocer las posibles fuentes magnéticas del subsuelo y su relación con probables cuerpos de mineral de hierro.



Explicación

Escala 1:25000



Aalpican

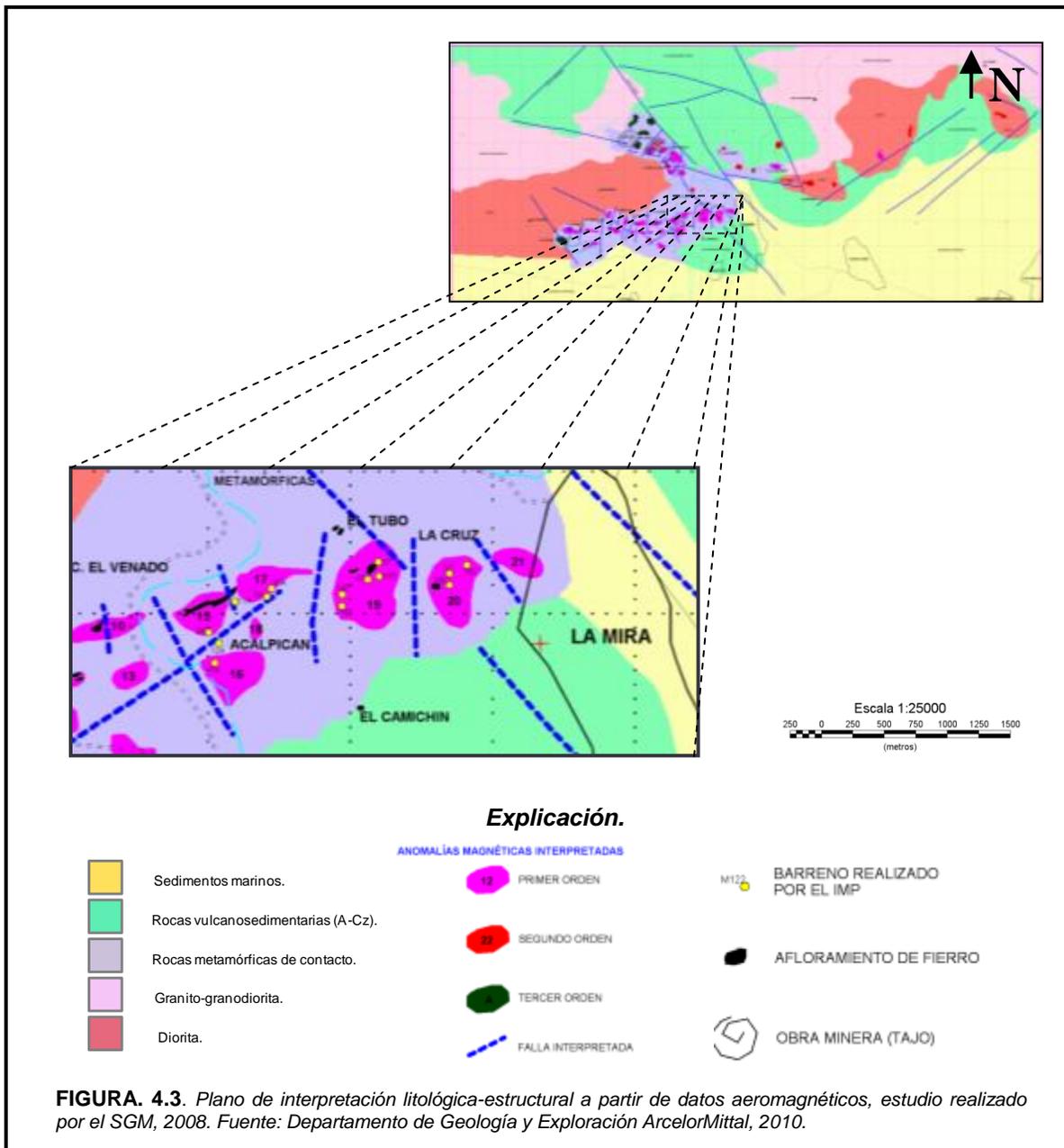
El Tubo

La Cruz

FIGURA 4.2 Plano residual del campo magnético total reducido al polo, área Las Truchas, Lázaro Cárdenas Michoacán., realizado por el SGM en el año 2008, altura del levantamiento 120 m. Fuente: Departamento de Geología y Exploración, ArcelorMittal, 2010.

IV.3.- RELACIONES ESTRUCTURALES

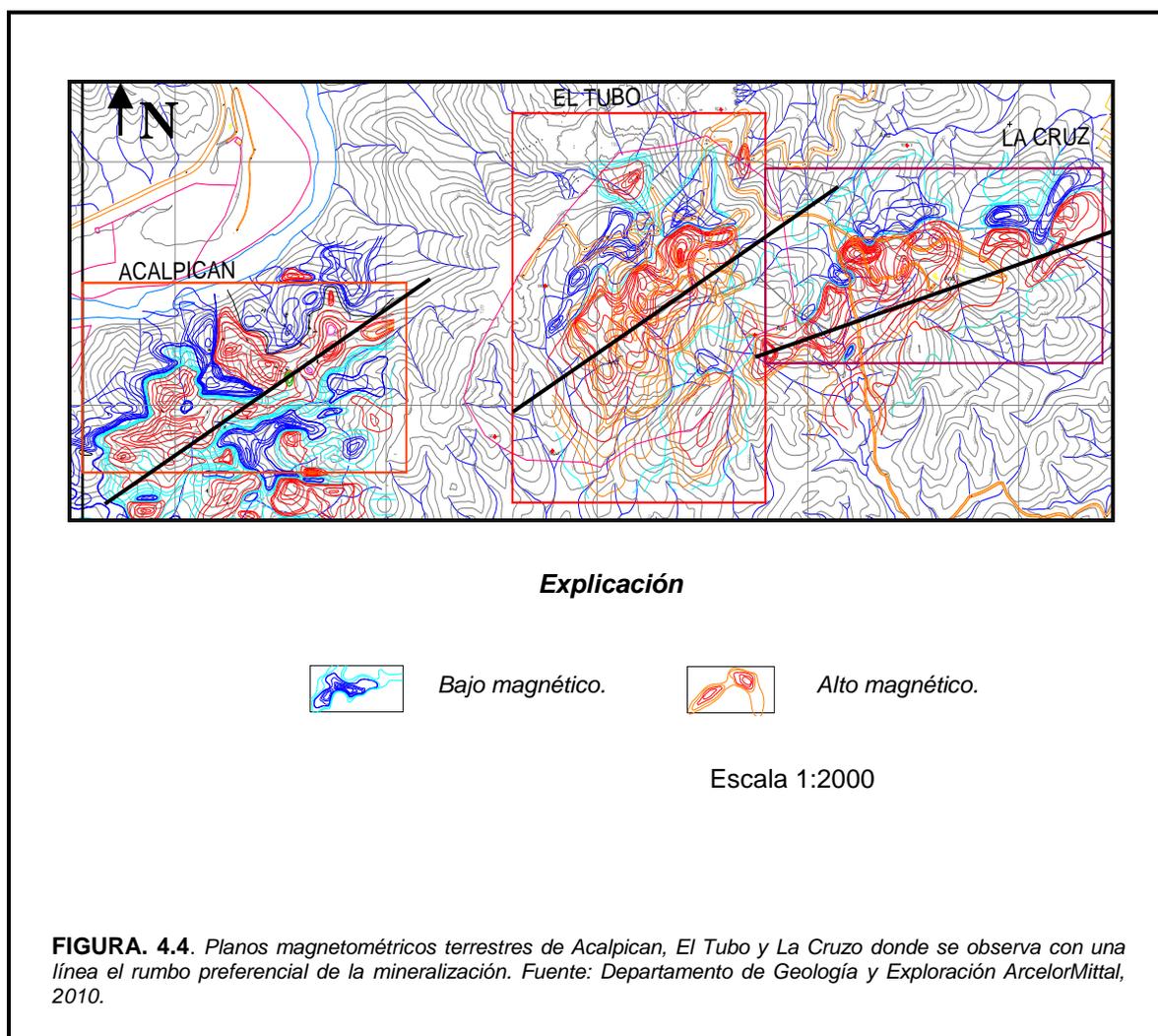
Con base en los afloramientos de mineral encontrados dentro del área de estudio (Acalpican, El Tubo y La Cruz) y con los valores anómalos registrados de los dipolos magnéticos en el plano magnetométrico terrestre que se realizó en dicha área, se determinó una tendencia anómala que detecta un cuerpo para cada área con fuertes fallamientos correspondientes a seccionamientos de las anomalías y desplazamientos de las estructuras mineralizadas, como se observa en la figura 4.3, “plano de interpretación litológica-estructural”.



Se determinó que el yacimiento El Tubo es la parte central de un cuerpo tabular mineralizado con un rumbo preferencial NE-SW, el cual sufrió ruptura debido al proceso de tectonismo y al emplazamiento de cuerpos plutónicos que afectaron al Distrito Las Truchas, teniendo hacia el poniente el cerro La Cruz y hacia el oriente el cerro Acalpican, como se aprecia en la figura 4.4, plano magnetométrico terrestre.

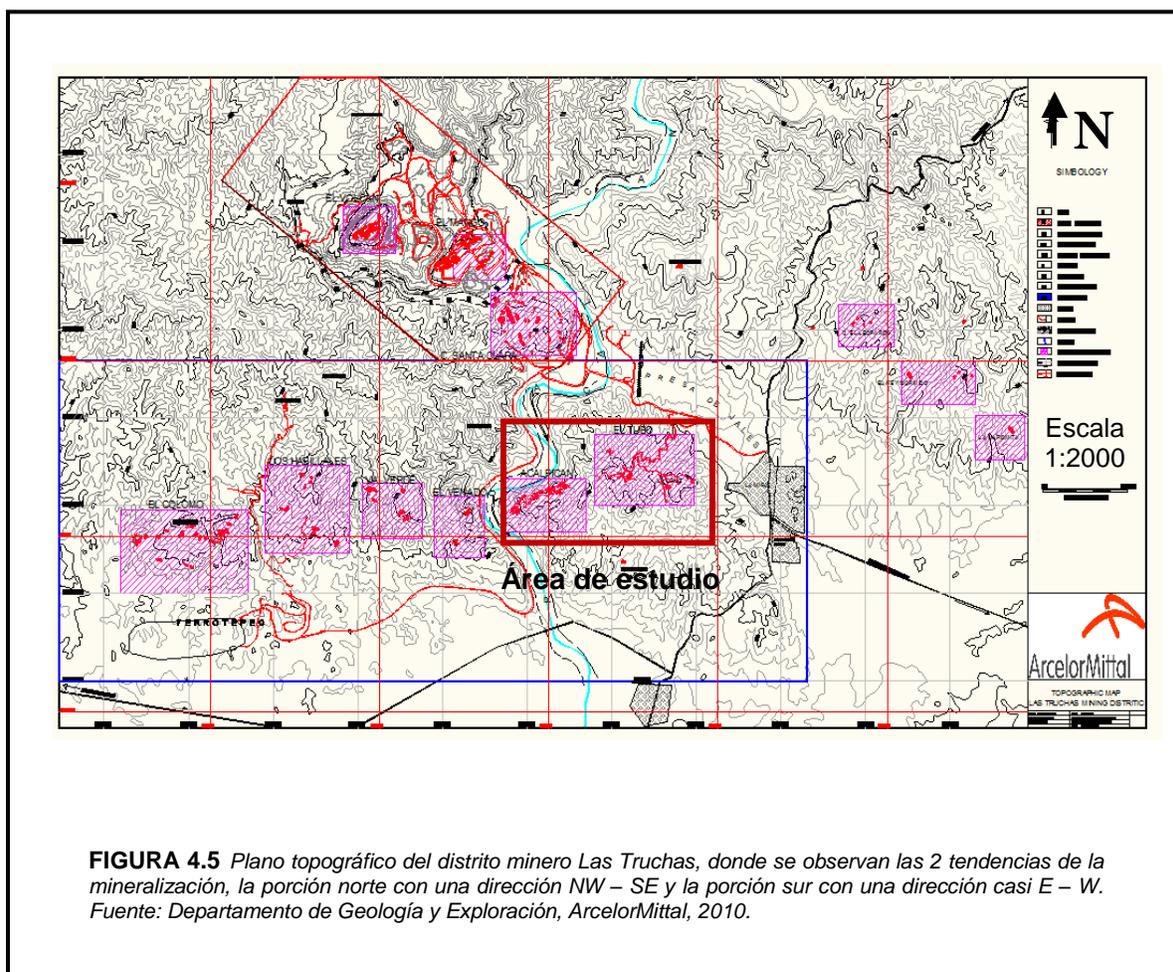
Tanto el cuerpo de Acalpican como de El Tubo tienen una tendencia anómala principal con rumbo preferencial NE-SW y con una inclinación al SE.

En tanto que el cuerpo de La Cruz su tendencia anómala principal tiene un rumbo preferencial casi E-W con una inclinación hacia el SW.



IV.4.- MINERALIZACIÓN

La mineralización se encuentra emplazada en andesitas, calizas, *hornfels* y *skarn* de granate, alojada en dos franjas de mineralización convergentes en su porción E.



Una está situada en la porción norte, presenta un rumbo preferencial NW-SE, comprende desde el área de El Volcán, El Mango y Santa Clara, como se aprecia en el plano topográfico del Distrito Las Truchas, figura 4.5. La mineralización de los yacimientos es masiva, de límites bien definidos y estructuralmente se encuentran en bloques aislados e intrusionados por diques de composición aplítica y andesítica, como se pueden apreciar en las fotografías IV.A, IV.B, IV.C y IV.D.

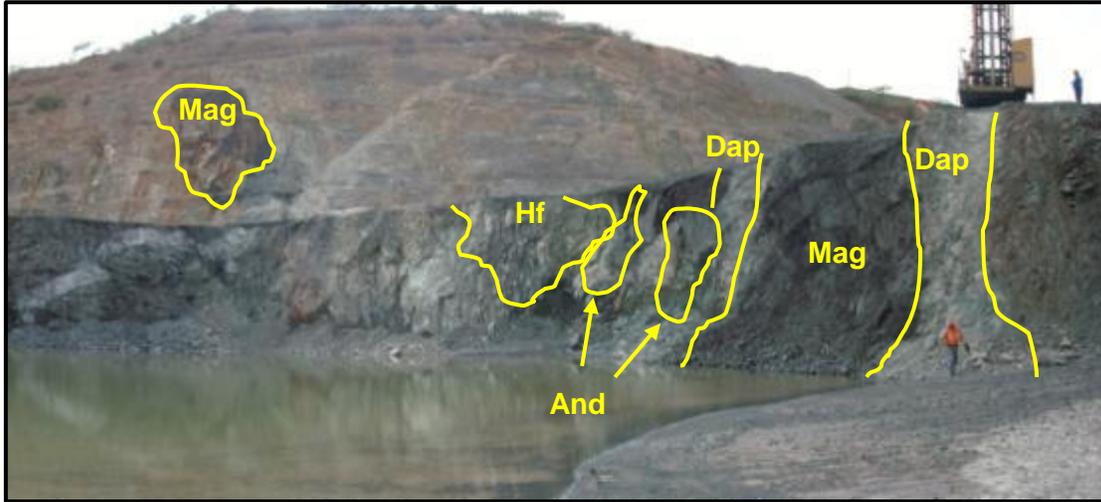
FOTOGRAFÍAS



IV.A. Frente de mineral, mina El Mango, donde se observa el contacto entre un dique de composición aplítica color blanco y el mineral magnetita de color gris oscuro con textura masiva y compacta, el contacto entre ellos es nítido y el bloque del mineral se encuentra bien definido.



IV.B. Detalle del cuerpo de mineral (de color gris oscuro) en el que se aprecia el contacto nítido con la roca caja (hornfels).



IV.C. Panorámica hacia el norte que muestra los cuerpos de mineral (de color negro) en mina El Mango. Se observa la mineralización emplazada en la secuencia vulcanosedimentaria, teniéndose contacto con la roca andesítica (verde claro) y el hornfels (verde oscuro,) siendo cortadas por los diques de composición aplítica que se observan en color blanco.



IV.D. Vista hacia el norte de la mina El Volcán en donde se pueden observar los cuerpos de mineral bien definidos (de color negro), emplazados en la secuencia vulcanosedimentaria y que son cortados por los diques de composición aplítica en color blanco, en la parte superior izquierda se observa un paquete de rocas calizas.

La otra está situada en la porción sur, tiene un rumbo preferencial E-S, comprende al antiguo yacimiento de Ferrotepec, Tazas, Habillales, Venado-Valverde, Acalpican, El Tubo y La Cruz, como se aprecia en la figura 4.5. La mineralización de estos depósitos se presenta de manera masiva, diseminada con textura de *islas y mares*, brechoide y en vetillas tipo *stockwork*.

En el *skarn*, la magnetita ocurre reemplazando al granate, y en el fallamiento pre mineral, combinado con el control litológico selectivo de horizontes, así como fracturillas asociadas con rocas calcoalcalinas, reemplaza a los piroxenos y rellena intersticios, dando como resultado una apariencia brechoide, con islas de *skarn* rodeadas de mineral.

La ocurrencia, forma y disposición está considerada como de metasomatismo de contacto, con 2 grandes controles de mineralización. Uno de tipo litológico, por reemplazamiento de horizontes selectivos skarnificados a partir de tobas y brechas en el que el *hornfels* funge como roca encajonante. Otro de tipo estructural, es decir, ocurre rellenando fallas y fracturas dentro del *hornfels* y el *skarn*.

Los cuerpos mineralizados del área de estudio (Acalpican, El Tubo y La Cruz) consisten en un *skarn* de granate que se encuentra mineralizado por magnetita diseminada, sulfuros tales como piritita y escasa calcopiritita, calcita. Superficialmente consiste de hematita, producto de procesos supergénicos y que va cambiando a magnetita en relación directamente proporcional a la profundidad, como se observan en las fotografías IV.E y IV.F.

La brecha mineralizada consiste de fragmentos de *skarn* de granate y *hornfels* incluidos en una matriz de magnetita, en la cual se presentan cristales octaédricos. Los clastos de la roca caja están orientados en la dirección del flujo de ascenso de la mineralización, constituido por cristales de epidota como mineral de alteración posible. Posterior a este evento de mineralización se observan pequeñas zonas de feldespato potásico como última etapa de formación, como se aprecia en las fotografías IV.G y IV.H.

La zona *stockwork* consiste en vetillas de 3 a 5 cm de espesor que se llegan a observar en el talud, camino hacia el proyecto El Tubo, como se aprecia en las fotografías IV.I y IV.J.

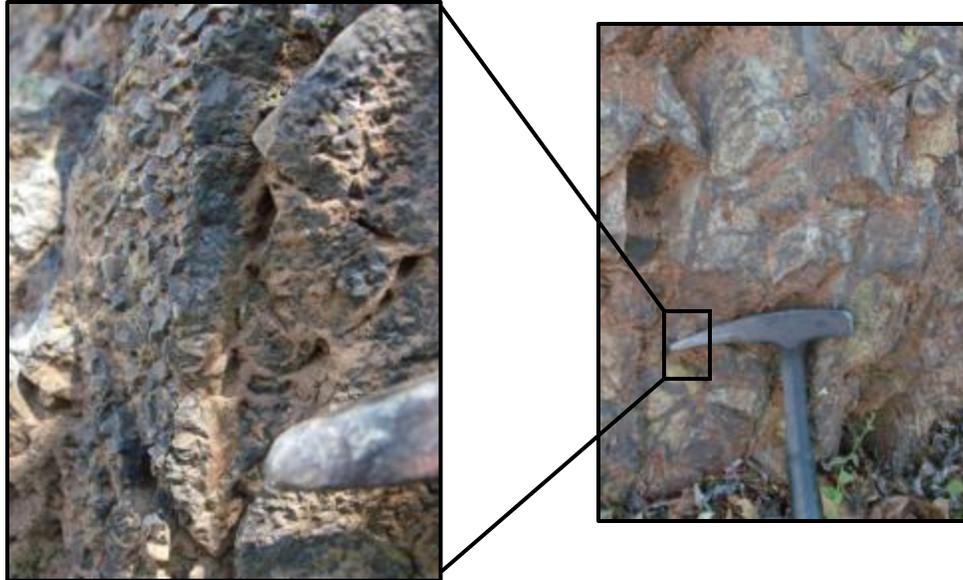
FOTOGRAFÍAS



IV.E Panorámica hacia el NE, camino hacia el proyecto El Tubo, se observa el mineral diseminado (color negro) en skarn de granate, la cual presenta un color pardo.



IV.F. Skarn de granate mineralizado que presenta un color pardo y donde se observa la textura de islas y mares.



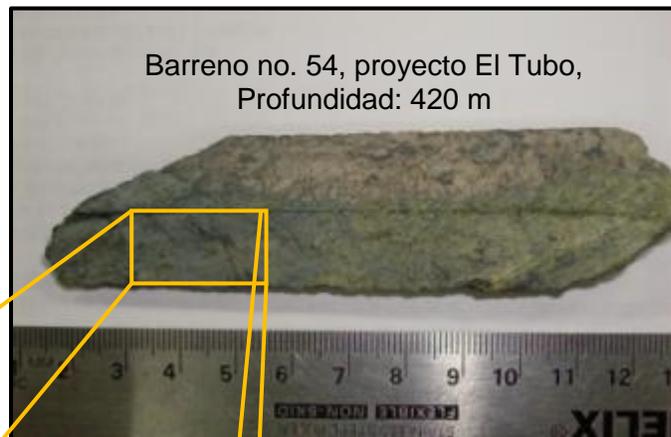
IV.G. Brecha mineralizada, donde se observan los fragmentos de skarn cementados en mineral de hierro. Se observan pequeños cristales octaédricos de magnetita en color negro.



IV.H. Brecha mineralizada, en donde se observan la alineación de los clastos de hornfels cementados en mineral de hierro.



IV.I. Zona de stockwork con el skarn donde se observan vetillas de magnetita.



IV.J. Muestra de núcleo de barreno, tomada del barreno no. 54 del yacimiento El Tubo, con una profundidad de 420 m, se observa como la magnetita se encuentra reemplazando a la actinolita, ya que la magnetita está adquiriendo la textura radial de la actinolita.

IV.5.- MINERALOGÍA

Los principales minerales hipogénicos de mena que constituyen los cuerpos masivos, son en orden de abundancia: magnetita, hematita, especularita, pirita y calcopirita. Estos cuerpos tienen una ley media de alrededor del 46 % (SICARTSA 2002). Estos lineamientos se encuentran bordeando a cuerpos intrusivos y por consecuencia las concentraciones ferríferas están en estrecha relación con rocas de composición granodiorítica-diorítica.

La alteración principal en el distrito lo constituyen las zonas de *skarn* de granate, las cuales están íntimamente relacionadas con los cuerpos de hierro, siendo una importante guía para la prospección minera dentro de éste.

La posición que guardan las menas ferríferas entre el intrusivo granodiorítico que afecta la secuencia cretácica volcánica y los sedimentos marinos calcáreos, sugiere un origen de infiltración magmática que en su formación afectó con metasomatismo a las rocas encajonantes, resultando las zonas de *skarn* y *hornfels* conocidas en el distrito.

La asociación mineralógica de la zona de *skarn* es magnetita, andradita, calcita, actinolita, epidota y pirita-calcopirita.

IV.6.- GÉNESIS

La integración de una hipótesis sobre la génesis, no sólo de los proyectos en cuestión, sino de todo el distrito minero Las Truchas ha sido tema de controversia, manejándose varias teorías, la primera sostiene un origen metasomático (COREMI. 1964, IMP, 1981).

El análisis de trabajos anteriores, la compilación bibliográfica y la nueva información generada permiten hacer la siguiente consideración:

El *skarn* y el *hornfels* se desarrollan por una presumible solución hidrotermal capaz de transportar por varios cientos de metros cantidades considerables de sílice, aluminio y elementos metálicos que reaccionan con la roca invadida provocando la formación de

nuevos minerales (Shimazaki, 1981). Los minerales desarrollados por este proceso dependen entonces de las condiciones físico-químicas del medio que en que ocurren las reacciones y de la composición de la roca invadida, lo que puede originar una zonación mineral que se traduce en una zonación litológica.

Esta solución hidrotermal avanza como un frente de ataque sobre la roca favorable (Jensen, 1981) y debe también conducirse con mayor facilidad a través de canales preexistentes juntas, contactos o zonas de debilidad tectónica.

De acuerdo con lo anterior, se considera que un depósito tipo *skarn*, se origina en 2 etapas asociadas genética y espacialmente, pero separadas en tiempo, ambas provocadas por una solución hidrotermal que proviene de un proceso de diferenciación magmática; la primera provoca una preparación o skarnificación de la roca, que posteriormente quedará sujeta a un proceso de reemplazamiento por una solución rica en elementos metálicos o mineralización.

Durante el Cretácico Inferior y Cretácico Superior, se inicia la Orogenia Laramide, con la que se asocia la intrusión de grandes masas batolíticas, producidas por un arco magmático activo, estas intrusiones levantan y afectan la zona terminando con la sedimentación marina mesozoica.

Los resultados locales de este evento se manifiestan por un proceso metamórfico que trajo consigo la formación de *hornfels* y *skarn* de la roca piroclástica y calcárea de la Formación Tepalcatepec, al entrar en contacto con intrusivos granodioríticos. Los derrames andesíticos se comportan como rocas resistentes al metamorfismo, quedando sus máficos cloritizados y las plagioclasas argilitizadas y sericitizadas.

Estas intrusiones durante el proceso de emplazamiento provocaron efectos metamórficos y metasomáticos en las rocas invadidas a causa de la aportación de calor y soluciones hidrotermales, formándose, principalmente la intrusión de la Formación Tepalcatepec, un halo de alteración.

La alteración varia de intensidad dependiendo del tipo de roca y de controles estructurales, encontrándose así metandesitas, piroclastos con alteración hidrotermal de bajo grado, andesitas con débil alteración hidrotermal y rocas prácticamente sin alterar.

En el área del yacimiento El Tubo, la zona metamórfica se extiende en una franja de amplitud variable con rumbo medio al N60°E, se desarrollo principalmente sobre la Formación Tepalcatepec, justamente en el contacto de los piroclastos y derrames andesíticos. Presenta una clara zonación consistente en el desarrollo de un *skarn* de granate sobre un lente calcáreo, encajona a un *hornfels* de piroxeno que gradúa hacia la roca encajonante que exhibe débil alteración hidrotermal.

Longitudinalmente se extiende en una tendencia de rumbo E-W, indicando por anomalía magnética, y a profundidad persiste concordantemente con la pseudoestratificación hasta terminar por acuñamiento.

Los estudios de secciones delgadas permiten identificar 4 fases de actividad hidrotermal asociadas al proceso metasomático:

- I. Consiste en el desarrollo de un *hornfels* con feldespato, cuarzo y piroxenos de la serie diopsida-hedembergita.
- II. El desarrollo de un *skarn* de grosularia-andradita sobre la porción central en la que se observa crecimiento del granate por reemplazo de hedembergita.
- III. La introducción de calcita y magnetita reemplazando granates.
- IV. Caracterizada por una incipiente introducción de calcopirita. Se tienen 2 etapas de introducción de la pirita, anterior y posterior a la magnetita, pero no fue posible ubicarlas con exactitud.

Estos procesos provocaron la formación de cuerpos vetiformes de magnetita masiva y disseminada en el *skarn* y disseminación en el *hornfels*.

Las texturas de islas y mares observadas al microscopio, así como las relaciones petrográficas y la ocurrencia en el campo, hacen considerar que los proyectos en estudio están dentro de los depósitos de reemplazamiento metasomático.