

3



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

"CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA
DE LA ROCA HUÉSPED Y ZONA DE MINERALIZACIÓN,
Y PROPIEDADES MAGNÉTICAS DEL YACIMIENTO
DEL CERRO DE MERCADO, DURANGO, MÉXICO".

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO GEÓLOGO
P R E S E N T A :
JUAN CARLOS CRUZ OCAMPO

282905



MÉXICO, D.F.

2000.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

**CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE
LA ROCA HUÉSPED Y ZONA DE
MINERALIZACIÓN, Y PROPIEDADES
MAGNÉTICAS DEL YACIMIENTO DEL
CERRO DE MERCADO, DURANGO, MÉXICO.**

**ASESOR: ING. ALFREDO VICTORIA
MORALES.**

POR: JUAN CARLOS CRUZ OCAMPO.

**TESIS DE LICENCIATURA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNAM**



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-I-929

SR. JUAN CARLOS CRUZ OCAMPO
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Ing. Alfredo Victoria Morales y que aprobó esta Dirección para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Geólogo:

CARACTERIZACION MINERALOGICA DE LA ROCA HUESPED Y ZONA DE MINERALIZACION, Y PROPIEDADES MAGNETICAS DEL YACIMIENTO DEL CERRO DE MERCADO, DURANGO, MEXICO

	INDICE
	RESUMEN
	OBJETIVOS DEL ESTUDIO
I	GENERALIDADES
II	GEOLOGIA DEL YACIMIENTO DEL CERRO DE MERCADO Y SU RELACION CON EL MARCO GEOLOGICO REGIONAL
III	PROPIEDADES MAGNETICAS
IV	CARACTERIZACION MINERALOGICA
V	CORRELACION DE LOS DATOS DE CARACTERIZACION MINERALOGICA Y LAS PROPIEDADES MAGNETICAS
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS
	APENDICES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo, le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, a 17 de julio del 2000
EL DIRECTOR



ING. GERARDO FERRANDO BRAVO
GFB*RELER*gtg

fl

TITULO: CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE ROCA HUÉSPED Y ZONA DE MINERALIZACIÓN, Y PROPIEDADES MAGNÉTICAS DEL YACIMIENTO DEL CERRO DE MERCADO, DURANGO, MÉXICO.

INDICE

RESUMEN.

OBJETIVOS DEL ESTUDIO

INTRODUCCIÓN.

CAPÍTULO I: GENERALIDADES.

I.1. Historia.

I.2. Trabajos previos.

I.2.1. Localización.

I.2.2. Vías de Acceso.

CAPÍTULO II: GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO DEL CERRO DE MERCADO Y SU RELACIÓN CON EL MARCO GEOLÓGICO REGIONAL.

II.1. Geología Regional de la Caldera de Chupaderos y alrededores.

II.2. Evolución Geológica.

II.3. Marco Tectónico Regional.

II.4. Estratigrafía y Geología del Yacimiento.

II.5. El Yacimiento Minera del Cerro de Mercado.

II.6. Génesis del Yacimiento.

II.7. Comparación de otros Yacimientos Ferríferos del Mundo con el Yacimiento del Cerro de Mercado.

CAPÍTULO III: PROPIEDADES MAGNÉTICAS.

III.1. Magnetismo de las rocas.

III.1.1. Introducción.

III.1.2. Magnetización Total (Jt).

III.1.3. La Magnetización Remanente Natural (MRN).

III.2. La estabilidad del magnetismo remanente de las rocas y características mineralógicas de las mismas.

III.2.1. Susceptibilidad Magnética (k).

III.2.2. Temperatura de Curie (Tc).

III.2.3. Comportamiento Magnético de los Materiales y su clasificación.

III.3. Ciclo de Histéresis Magnética.

III.4. Metodología y Descripción del Equipo empleado en el procesado de las muestras.

CAPÍTULO IV: CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA .

IV.1. Número de oxidación.

IV.2. Análisis minerográfico y petrográfico.

IV.3. Comentarios de la mineralogía.

IV.4. Paragénesis del yacimiento.

CAPÍTULO V: CORRELACIÓN ENTRE LOS DATOS DE CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA Y LAS PROPIEDADES MAGNÉTICAS.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

APÉNDICES:

- APÉNDICE A: MINERAGRAFÍA.**
- APÉNDICE B: PETROGRAFÍA.**
- APÉNDICE C: DATOS DE UBICACIÓN, NOMENCLATURA PARA LAS MUESTRAS, DENSIDAD Y SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA.**

AGRADECIMIENTOS:

En especial a la Universidad Nacional Autónoma de México por permitirme la oportunidad de tener una educación Universitaria, así como para una gran cantidad de jóvenes que se encuentran estudiando en una de sus facultades, también por generar una serie de satisfactores para mi vida personal y profesional.

A la Compañía “Grupo Acerero del Norte” en especial a la Mina Cerro de Mercado por dar apoyo para la realización de este trabajo durante la estancia en la mina, al Ing. Alberto González e Ing. Roberto González por compartir información de su trabajo en la mina.

A las instituciones: CONACYT y Comunidades Europeas por otorgarme beca durante el desarrollo de tesis de licenciatura.

Al Instituto de Geofísica en especial al Departamento de Paleomagnetismo, a cargo del Dr. Jaime Urrutia Fucugauchi y Dr. Luis M. Alva Valdivia, por darme la oportunidad de realizar mi trabajo de tesis de licenciatura, y a mis compañeros del pozo, Ing. Antonio González, Ing. Gregorio H., Martín y Lorenzo.

A mis sinodales a los cuales les guardo un profundo respeto y admiración, por su labor docente, su trabajo profesional y su calidad humana para con los estudiantes. Ing. Alfredo Victoria Morales, Ing. Emiliano Campos Madrigal, Ing. Enrique A. González Torres, Ing. Roberto Uribe Afif e Ing. José Juan Flores Martínez. Gracias por sus comentarios y correcciones los cuales han enriquecido sustancialmente el presente trabajo.

A mi Facultad de la cual siempre tendré gratos recuerdos y sobre todo a mis compañeros de Ciencias de la Tierra de los cuales siempre he tenido apoyo y una gran amistad.

Un agradecimiento muy especial a mis padres, Ricardo y Maria Elena de quienes indudablemente he recibido el mejor apoyo y educación en la vida y a quienes les debo lo que soy.

A mis hermanos muy en especial a Norma Elena por transmitir sus experiencias y ser un ejemplo para mi.

RESUMEN

Debido a la importancia económica del yacimiento Cerro de Mercado, así como las fases minerales presentes, que manifiestan una anomalía magnética importante.

Este depósito ha motivado a controversias en cuanto a su génesis, por lo cual varios trabajos discuten sobre esta. Por lo anterior se ha decidió estudiar al yacimiento para obtener información, la cual nos permita la caracterización de las rocas, así como conocer la diversidad de óxidos e hidróxidos de fierro y otras fases involucradas, presentes en el yacimiento.

Obtención de comportamiento magnético de las fases involucradas y su correlación textural. Generación de un modelado magnético en base a datos obtenidos de los óxidos minerales y finalmente el poder generar información del yacimiento Ferrífero del Cerro de Mercado, la cual formara parte de una base de datos sobre yacimientos Ferríferos de México.

En este trabajo se logro correlacionar a la mineralogía con las respuestas magnéticas de los óxidos e hidróxidos de Fe involucrados, determinando diferentes etapas de formación dentro de la paragénesis del yacimiento. Fue posible en base a datos magnéticos de desmagnetización y probabilísticos, generar un modelo del yacimiento Cerro de Mercado, el cual corresponde a un cuerpo principal tabular (stock o tronco) ocasionado por un magmatismo generado por periodos de expansión continental en una dinámica asociada a un arco magmático, que se puede asociar a pulsos tectonomagmáticos durante la evolución de la Sierra Madre Occidental en la formación de las provincias de cuencas y sierras, dentro del pulso 32-27 m.a. se suscito la mineralización, la cual fue generada en un periodo muy corto de tiempo, confirmado por fechamiento en roca (K-Ar) y en minerales (Apatitos) por el método de Trazas de Fisión, en un rango entre 30.3 y 30.8 m.a..

Objetivos:

1.- La finalidad de este trabajo es obtener la caracterización mineralógica y magnética de las fases minerales presentes en el Yacimiento Ferrífero del Cerro de Mercado, paraa determinar si hay relación entre los datos magnéticos y mineralogía involucrada.

2.- Efectuar con muestras externas al yacimiento su caracterización mineralógica y magnética de las fases minerales involucradas, para correlacionarlas con las fases minerales del Yacimiento Ferrífero del Cerro de Mercado.

3.- Generar un modelo magnético del yacimiento, con base a datos obtenidos, para determinar la extensión de este a profundidad y relacionarlo a una posible génesis del yacimiento mineral.

4.- Contribuir con los resultados obtenidos en el desarrollo de este trabajo para la generación de una base de datos sobre Yacimientos Ferríferos de México que presentan anomalías magnéticas, y poder emplearlos en la prospección de este tipo de yacimientos.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo forma parte del proyecto Yacimientos Ferríferos de México, desarrollado en el laboratorio de Paleomagnetismo y Geofísica Nuclear del Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México, el cual se realizó bajo el financiamiento de CONACYT, donde se tuvo la oportunidad de participar.

En este trabajo se seleccionó al yacimiento Cerro de Mercado, Durango, que constituye uno de los yacimientos ferríferos de México y que por su génesis ha sido tema de innumerables discusiones y estudios.

La metodología empleada consistió:

Primera etapa; en realizar trabajo de campo, el cual duro más de dos semanas y fue realizado por el Dr. Alva-Valdivia y el autor del presente trabajo, con el apoyo de la Compañía Grupo Acerero del Norte, dueño de la Mina Cerro de Mercado, Durango, donde se brindo hospedaje y asesoría en el periodo de muestreo, el cual se realizó con una nucleadora de gasolina portátil para obtener cilindros de roca con un diámetro de media pulgada y un largo de máximo 12 centímetros, logrando obtener muestras de 10 sitios dentro de la mina y 4 fuera de ella en catas y alrededores, estos se marcaban (orientación para muestras magnéticas y clave).

Segunda etapa; se realizó el trabajo de laboratorio donde se procedió a marcado de muestras para su cortado (cilindros de media pulgada por media pulgada de longitud) y selección de muestras para la preparación de superficies pulidas y secciones delgadas.

Tercera etapa; Consistió en realizar estudios de susceptibilidad magnética, para lo cual se tomaron muestras piloto y se realizó de dos formas, una por desmagnetización por campos alternos y otra por desmagnetización por temperatura, con lo cual se determinó que las muestras tenían un mejor comportamiento por desmagnetización por temperatura y se realizó dicha desmagnetización a todas las muestras (con equipo ubicado en el laboratorio de paleomagnetismo del Instituto de Geofísica). Se realizó análisis de ciclos de histéresis con un micromagnetómetro y susceptibilidad a bajas temperaturas (ubicados en LUGIS, Instituto de Geofísica, UNAM).

Paralelamente se efectuó la caracterización petrográfica, minerográfica y paragénesis de las muestras para mantener una relación directa de la información magnética obtenida.

Cuarta etapa; Su objetivo fue identificar los procesos que han participado en la mineralización (protogenéticos, singenéticos y epigenéticos), así como resultados obtenidos mediante los diversos análisis que han proporcionado información acerca de la correlación directa entre la mineralogía y la respuesta magnética, de estos datos fue posible llegar a correlacionar obras mineras que se encontraban fuera de la obra minera sin tener una conexión (a profundidad) favorable para el yacimiento. También fue posible la generación de un modelo magnético del yacimiento con los datos obtenidos, el cual corresponde a un cuerpo principal tabular "tronco y/o stock". Un resultado de interés en esta etapa fue el referente a la génesis que por las características minerales y texturales, así como su correlación con otros yacimientos ferríferos se logra asociar al depósito con un arco magmático, que generó la mineralización en el Terciario asociado a la evolución tectonomagmática de la Sierra Madre Occidental, derivada de un pulso de actividad extensional y magmática que generó a las provincias tectónicas de cuencas y sierras. Otro aspecto importante que no se tenía contemplado en este trabajo fue la fase mineral de apatita, el cual es importante desde hace muchos años, debido a que resulta ser un mineral con importancia gemológica y estándar internacional en fechamiento por trazas de fisión, y factor a considerar en el beneficio del hierro.

La apatita en la mina Cerro de Mercado corresponde a un mineral de ganga, el cual debe de extraerse del concentrado de Hierro dado que la norma permisible contempla como máximo el 0.05 % en el concentrado final, debido a que en cantidades mayores ocasiona baja resistencia y fracturamiento en el acero de alto horno.

CAPÍTULO I: GENERALIDADES.

I.1. Historia.

Antes que llegaran los españoles a este territorio, Durango fue habitado por diversas tribus, entre ellas los Chalchihuetes, Acaxes y los Tepehuanos, que eran tribus nómadas que dominaban la región.

La Audiencia de Compostela, al reconquistar terrenos que antes de 1552 vieron los aventureros españoles que acompañaban al famoso Nuño de Guzmán, se le encomendó dicha empresa al caballero llamado Ginés Vázquez del Mercado, reputado como atrevido, resuelto y amigo de aventuras. Partió con cien hombres a reconquistar las tierras y en busca de riquezas minerales, partiendo de Guadalajara y teniendo serias confrontaciones belicosas con indios de la región, en las cercanías de Tepic, unos indios Chichimecas le comentaron que tierra adentro se encontraba un gran cerro enclavado en grandes llanos, el cual era de plata y oro, partió a la búsqueda pasando por Chalchihuites, San Martín, Sombrerete y Avino, encontrando vetas de mineralización en estos lugares, lo cual no le importó dado que el quería encontrar al gran cerro, (Salazar et al., 1923). La colonización la inicia Francisco de Ibarra, llegando en el año de 1554 y llamó al territorio Nueva Vizcaya. En 1557 el capitán Alonso de Pacheco, comenzó la construcción de un pequeño pueblo al cual llamó Durango, en honor al lugar donde nació Francisco de Ibarra. El origen de la ciudad se debe al antiguo mineral del Cerro de Mercado, situado al norte de la ciudad de Durango, llamado así en memoria de su descubridor, el capitán Ginés Vázquez del Mercado, (CRM,1993).

El Barón de Humbolt en su Ensayo Político sobre el Reino de la Nueva España, refiriéndose al Cerro de Mercado escribió: “que D. Fausto de Elhúar, director del Real Tribunal General de Minería de México, le facilitó algunas muestras de aquella masa enorme de fierro maleable que dicen se encuentra en las inmediaciones de Durango, y tiene una composición idéntica con la del aerolito de Hraschina, Hungría, caído en 1757”, se comenta que las muestras procedían de meteoritos que se encontraban en la zona, pero no correspondían al Cerro de Mercado.

En 1828 se instaló la primera fundición que utilizó mineral de Cerro de Mercado, que tuvo que cerrar por cuestiones económicas; se encontraba en el lugar que posteriormente se llamaría Ferrería de Flores, a las orillas del río El Tunal, a 12 Km, de Durango, (CRM, 1993).

En 1873 se fundó la compañía "The Iron Mountain Co". la cual adquirió la mayor parte de las propiedades mineras tituladas y estableció una fundición que se encontraba al norte del Cerro de Mercado, para procesado del mineral.

En 1890 la compañía cambió de nombre, adoptando el de "Steel and Iron Co". construyó un alto horno y produjo piezas de vaciado y grandes cantidades de hierro dulce, estirado, varilla y soleras, así como maquinaria para minas. Producía 280 toneladas de hierro lingote por semana, dando ocupación a 100 trabajadores. A finales de ese siglo, la ferrería de Flores cerró por cuestiones económicas y la fundición que ahí operaba se traslado a las orillas del Cerro de Mercado, con el nombre de Compañía Mexicana de Fierro y Acero. El traslado de la empresa fue con fines logísticos y se debió a que ya el ferrocarril había llegado a Durango y se pretendía aprovechar el traslado del carbón mineral de Coahuila.

En 1905 sufre una reestructuración la "Cia. The Durango Iron Steel Company en Des Moines, Iowa", la mayoría de las acciones pertenecían al señor James L. Callanan. Se construyó un alto horno de menores dimensiones respecto al que hacía tiempo ahí existía, se agrandaron los talleres mecánicos, pero, a pesar de todo, la compañía suspendió operaciones, por cuestiones económicas.

De 1906 a 1909, sólo se explotó el Cerro de Mercado para vender sus minerales como metal de complemento a las diversas fundiciones de la República.

Finalmente, el 16 de noviembre de 1920, herederos del señor Callanan, vendieron la propiedad a la Compañía Fundidora de Fierro y Acero de Monterrey, S.A.

Propiamente es a partir de 1934, cuando Cerro de Mercado, explotado por la Compañía Fundidora de Fierro y Acero de Monterrey, S.A., inicia sus operaciones de una manera más consistente, hasta el año de 1986 en que

hubo de suspenderlas, por razones de fluctuación en el precio del mineral y no ser redituable la inversión, (Salazar et al., 1923; CRM, 1993).

Desde el año de 1920 hasta el año de 1986, en que cerró la mina, el tonelaje extraído fue de 35.7 millones de toneladas métricas. Operaron en diferentes etapas: un equipo mecánico de trituración, una planta de medio pesado y una planta de separación magnética-flotación. El mineral desde un principio se extrajo de los diversos cuerpos a cielo abierto (Labarthe et al., 1990).

A partir de 1996, se habilita de nuevo el yacimiento de Cerro de Mercado, S.A. de C.V., adquirida por el Grupo Acerero del Norte, (GAN). Provee concentrados de fierro como materia prima para el proceso Sínter de Altos Hornos de México, S.A. de C.V. La explotación de la mina es a cielo abierto con un movimiento mineral de 3 millones de toneladas anuales, 1 800,000, de ellas alimentan a la planta concentradora para producir un millón de toneladas de concentrado con leyes de 64% de fierro. Se cuenta con una planta pre-concentradora con poleas magnéticas en seco y circuito de medio pesado para pre-concentrar materiales brechados y de baja ley.

Las actividades que se llevan acabo en Cerro de Mercado son:

- Exploración: Se realiza con métodos geofísicos, barrenación a diamante y aprovechamiento de la información geológica disponible.
- Explotación de mina: Se preparan bancos de 10 metros de altura, barrenación de 8" de diámetro y voladuras controladas hasta por 50,000 toneladas.
- Pre Concentración de Minerales: Dada la variabilidad de la ley de fierro en las reservas, así como la clasificación de los minerales de fierro (magnéticos y hematíticos), se cuenta con instalaciones de pre concentración que abarcan un proyecto integral de trituración, clasificación, selección de minerales magnéticos con poleas magnéticas, selección de material no magnético a través de un medio denso y descarte de material estéril, obteniendo como productos principales: concentrado para Sínter, trozo con contenido de alto fierro para la alimentación directa a la acería, así como arcilla ferrosa para las

cementeras, emplea un total de 600 trabajadores en todos los ramos, 150 por medio de contratistas (GEOMIMET, 1997).

I.2. Trabajos previos.

Dentro de los trabajos más importantes del yacimiento se encuentran los siguientes:

- Salazar et al., 1923, este trabajo contiene una gran cantidad de información geológica, petrográfica (descriptiva), química y de antecedentes, así como la situación mundial de los yacimientos de Fe.
- Leslie (1975), trabajó con enfoque a magnetización remanente química, inclusiones fluidas, relaciones texturales, modelos evolutivos y génesis del yacimiento.
- Swanson y Keiser (1978), estudios de palomagnétismo, caracterización mineral con aplicación de petrografía, mineragrafia y Difracción de Rayos X.
- Lyons (1988), realiza trabajos de geofísica, geología, análisis químicos y geoquímicos, con implicaciones en petrogénesis, y correlación con otros yacimientos.
- Labarthe et al., 1990, estudios de geología regional y local del yacimiento, así como recopilación de información citada por autores mencionados anteriormente, referente a paragénesis, alteraciones y discusión acerca de la génesis.

Debido a la importancia del yacimiento Cerro de Mercado, por sus implicaciones petrogenéticas y origen del yacimiento, ha sido un sitio de constante estudio, en el cual gran parte de investigadores de otros países, en especial de los Estados Unidos de Norte America han realizado diversos tipos de trabajos, referentes a geofísica (anomalías aeromagnéticas), modelos evolutivos, análisis químicos y geoquímicos, caracterización petrográfica y mineragrafica, génesis del yacimiento, inclusiones fluidas y trazas de fisión.

I.3. Localización.

La mina de Cerro de Mercado se ubica en la parte norte de la ciudad de Durango, en el municipio del mismo nombre; conocido tradicionalmente por el yacimiento de ferrífero del Cerro de Mercado, a 3 Km al norte de la ciudad de Durango, coordenadas: 24° 03' 15" Latitud N y 104° 44' 15" Longitud W (CRM, 1993). Ver Figura 1.

El Estado de Durango se encuentra enclavado en la Sierra Madre Occidental, colinda al norte con Chihuahua, al sureste con Zacatecas y al sur con Nayarit y Jalisco. Se localiza al noroeste de México, en la Sierra Madre Occidental. Su clima es semicálido y seco mientras que en las partes más elevadas es subhúmedo y semifrío. La superficie total del Estado es de 123, 181 Km². La entidad es atravesada por la Sierra Madre Occidental presentando una altura media de 3,600 metros sobre el nivel medio del mar, las cumbres más altas se elevan hasta 3,200 metros. Durango comprende diversos manantiales como son los de Valle de Guadiana, de Tres Molinos, los de Ojo de agua de San Salvador y el de Cañas. Las principales ciudades son Durango (capital), Gómez Palacio y Ciudad Lerdo.

FIGURA 1. MAPA DE PROVINCIAS FISIOGRÁFICAS Y UBICACIÓN DE LA MINA CERRO DE MERCADO, DURANGO, MÉXICO. TOMADO Y MODIFICADO DE ORTEGA et al., 1992.

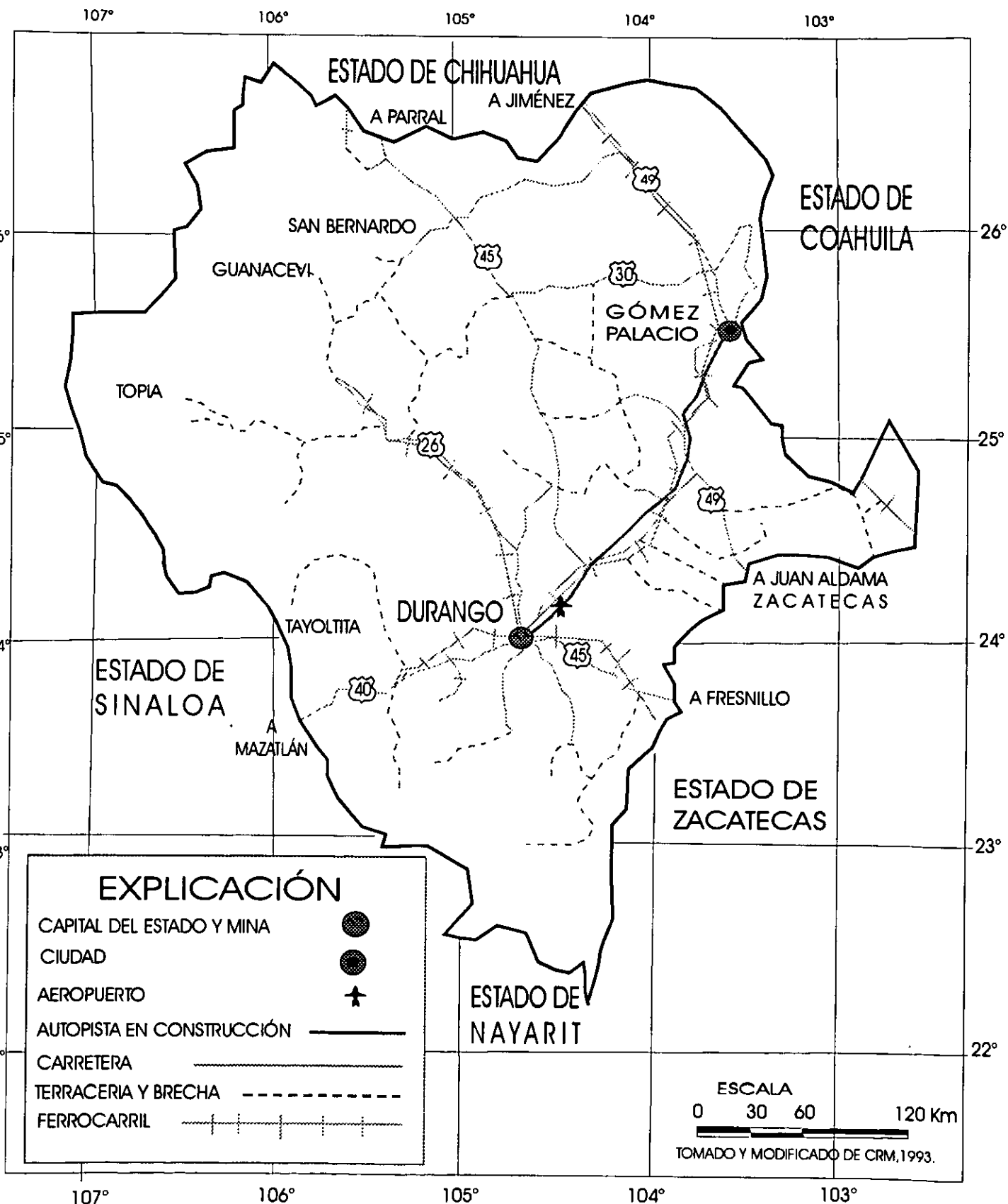


I.4. Vías de Acceso.

El estado de Durango, posee una buena infraestructura de comunicaciones, ya que es paso obligado de importantes rutas, que comunican con el resto del país. Se comunica con los estados vecinos a través de las siguientes carreteras: al norte con el estado de Chihuahua con las carreteras número 45 y 49; al noreste de la Ciudad de Torreón, Coahuila por medio de la carretera número 40; al sureste por medio de la carretera número 49 con la Ciudad de Fresnillo, Zacatecas y al suroeste por la carretera número 40 con el puerto de Mazatlán, Sinaloa, todas estas carreteras comunican a la Capital del estado y actualmente la mina del Cerro de Mercado se encuentra en la Ciudad, faltando tiempo para que sea bordeada completamente por zonas habitacionales. Ver figura 2.

A través de Ferrocarril el Estado tiene un cubrimiento de 993 km, que lo comunica interiormente en su parte centro, norte, noreste, y este del Estado y hacia el exterior con las Ciudades de Jiménez, Chihuahua, Torreón, Coahuila y Sombrerete, Zacatecas, siendo un transporte vital para el mineral que se extrae de la mina y económico. También se cuenta con aeropuerto, el cual se encuentra cercano a la Ciudad y a la Mina, favoreciendo el traslado a cualquier punto de la República Mexicana (CRM, 1993).

FIGURA 2. VÍAS DE COMUNICACIÓN DEL ESTADO DE DURANGO.



CAPÍTULO II: GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO DEL CERRO DE MERCADO Y SU RELACIÓN CON EL MARCO GEOLÓGICO REGIONAL.

II.1. Geología Regional de la Caldera de Chupaderos y alrededores.

El yacimiento Ferrífero del Cerro de Mercado, queda dentro de la provincia Geológica de México más grande en extensión, correspondiendo esta a la Faja Ignimbrítica Mexicana, con aproximadamente 300,000 km², 1,600 km de longitud y un promedio de 250 km de anchura, representando la provincia Geológica Mexicana número 24, tiene una edad Cenozoica, de origen volcánico, asociado a ambiente tectónico de arco continental, (Ortega et al., 1992).

La geología del Estado de Durango, esta constituida por una unidad basal de rocas metamórficas de edad Paleozoico Superior conocidas bajo el nombre de Terreno Picacho (Esquistos de muscovita) y Terreno Guerrero (Pizarra y arenisca con metatoba y caliza metamorfizada, ver figura 3) que han sido fechados en 311 millones de años por el método de K-Ar en biotita y hornblenda (Damon P. et al., 1981 y Damon P. 1981 in CRM, 1993).

Rocas de esta misma edad fueron reportadas por el IMP en las inmediaciones de Santa María del Oro (Pacheco et al., 1984 in CRM, 1993).

En la porción noroeste del Estado dentro de la Subprovincia de Barrancas, estudios del Consejo de Recursos Minerales han definido una unidad de areniscas y pizarras en las localidades de San Miguel del Cantil, San Andrés de la Sierra, Montoros, San Pedro de Azafranes y San Diego de Tezains, que por similitud litológica se han correlacionado con rocas de edad Paleozoica que afloran en los alrededores de San José de Gracia, Sinaloa (Carrillo M. 1974 in CRM, 1993). Sobreyaciendo discordantemente a rocas del Paleozoico se encuentra una unidad de conglomerados de origen continental, definidos como Formación Nazas, de edad Triásico Superior-Jurásico Inferior, que aflora en el Anticlinorio de Villa Juárez (Pantoja Alor, 1963 in CRM, 1993), Sierra de Atotonilco y Sierra de Mapimí. En el poblado de Guanaceví aflora un conglomerado continental de características diferentes, pero correlacionable en tiempo (Conglomerado Guanaceví) con la Formación Nazas, de edad Jurásico Inferior.

El Jurásico Medio no está representado en el estado de Durango constituyendo un hiatus que separa a las formaciones antes descritas, de las formaciones marinas de edad Jurásico Superior-Cretácico Superior que comprende las Formaciones La Gloria, La Casita, Mezcalera, Taraises, Cupido, La Peña, Aurora, Cuesta del Cura, Indidura y El Caracol. Esta última formación está separada por un hiatus, de las Formaciones Terciarias que las sobreyacen discordantemente, entre las cuales se incluyen andesitas, conglomerados continentales de la formación Ahuichila y rocas volcánicas ácidas que conforman la cima del paquete de rocas que coronan la Sierra Madre Occidental.

La parte superior del Terciario y base del Cuaternario está constituida por coladas de basaltos y depósitos detríticos aluviales.

Las rocas intrusivas que afloran principalmente, de la parte central del estado hacia el norte, tienen diferentes composiciones siendo las principales granodiorita, diorita, granito y cuarzdiorita; ellas intrusionan a rocas volcánicas, sedimentarias y metamórficas. En general estos intrusivos son portadores de mineralización y tienen edades que van del Jurásico Superior al Terciario, en contactos discordantes (ver figura 3; CRM, 1993).

En las rocas ígneas de la Sierra Madre Occidental cartografiadas y fechadas en las ciudades de Mazatlán, Durango y Estado de Chihuahua (McDowell y Clabaugh, 1981), se registró la existencia de dos grandes secuencias de roca ígnea. Ambas son calco-alcalinas y contienen ignimbritas, pero diferentes en otros aspectos. La secuencia inferior, cuyas edades varían desde 45 m.a. hasta al menos 100 m.a., contiene abundantes rocas batolíticas y volcánicas principalmente de composición intermedia. La secuencia superior está formada predominantemente por ignimbritas riolíticas originadas a partir de calderas numerosas y grandes. Estas extrusiones cineríticas estuvieron acompañadas por pequeñas emanaciones de lava basáltica y raramente por rocas intermedias, la mayor parte de este volcanismo estuvo confinada a un corto intervalo, entre 34 y 27 m.a., Aranda y McDowell, 1998 in Aranda et al., 2000, mencionan que los eventos más importantes en la región han sido volcanismo y fallamiento, donde la actividad magmática asociada a la zona de subducción dio origen a la extensa y voluminosa Sierra Madre Occidental (SMO). Conforme cesó la subducción gradualmente, inició el magmatismo intraplaca en la región situada al este de la SMO y una combinación de vulcanismo alcalino y toleítico en la región del Golfo de

California. Aunque la mayoría de las vetas de oro y plata están íntimamente asociadas con rocas de la secuencia inferior, están comúnmente relacionadas con las estructuras geológicas producidas por la formación de calderas más jóvenes. Asimismo, algunas de estas vetas se presentan dentro de las rocas de la secuencia superior. Existen muchos depósitos pequeños de estaño, genéticamente relacionados con las rocas jóvenes y unos pocos, pero grandes, depósitos de hierro. La asociación de ignimbritas riolíticas a cantidades subordinadas de basalto y mínimas de andesita, pudo deberse a la refusión de las rocas batolíticas subyacentes, producida por el ascenso rápido de magma basáltico durante la subducción del Terciario medio (McDowell y Clabaugh, 1981). Ver figura 3, columna estratigráfica generalizada del Estado de Durango.

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA Y GEOLÓGICA GENERALIZADA PARA EL ESTADO DE DURANGO
 FIGURA 3, (TOMADO Y MODIFICADO DE CRM, 1993).

ERA	PERIODO	EPOCA	SIGLAS EN MAPA	LITOESTRATIGRAFÍA	LITOLOGÍA	YACIMIENTOS MINERALES	
CONOZOICO	CUATERNARIO	RECIENTE	Qal	Depósitos aluvionares, de relleno (grava, arcilla y limos).		Piarcos Au, Sn y Arena Silica.	
		PLEISTOCENO	Qb	Derrames de basalto de olivino. Formación Metates.			
	TERCIARIO	PLIOCENO	Tsc	Depósitos clásticos continentales sin consolidar. Formaciones Santa Ines, Los Llanos y Guadiana (grava, conglomerados y basalto).			
		MIOCENO	Tsv	Riolita, toba y brecha riolítica, ignimbrita y basalto (Serie volcánica superior).		Vetas Ag, Au, Fe, Mn, Hg, Sb y Fluorita, cuerpos irregulares, Bentonita Caolín y Perilita.	
		OLIGOCENO	Tma	Conglomerado y brecha de origen continental. Formación Ahuichila.		No se conocen.	
		EOCENO	Tiv	Andesita, dacita, toba y brecha andesítica.		Vetas Au, Ag, Pb, Zn Cu, y Stockwork.	
		PALEOCENO		(Serie volcánica inferior).			
		MESOZOICO	CRETACICO	SUPERIOR	Ksic	Arenisca y lutita con intercalaciones de caliza y limonita. (Formación Caracol). Limonita, caliza y lutita en estratos delgados. Formación Indidura con diques y dique-estrato.	
	INFERIOR			Ksca	Caliza en capas medianas o gruesas con dolomias. Caliza Aurora y Cuesta del Cura. (Serie Comancheana) diques.		Vetas, Mantos, Chimeneas Ag, Pb, Zn, Cu. Cuerpos irregulares de Marmol.
				Ktic	Caliza con lentes y nódulos de pedernal y pirita en estratificación gruesa a mediana. Caliza Cupido y Formación La Peña secuencia de caliza, marga y lutita interestratificada. Formación Tarasos (Serie Coahuilana).		No se conocen.
Kim				Caliza y lutita en capas delgadas con microfauna. Formación Mezcalera.		Vetas y Mantos. Pb, Zn.	
JURASICO	SUPERIOR		Js	Estratos delgados de arenisca, caliza arcillosa y lutita. Formación La Casita Caliza interestratificada con arenisca y conglomerado. Formación La Gloria (Grupo Zuloaga), Caliza Zuloaga.		Vetas Hg, Au, Barita, Fluorita	
	MEDIO			No aflora			
	INFERIOR		Ji	Conglomerado polimíctico con fragmentos angulosos y subangulosos de cuarcita, pizarra, esquistos y Cuarzo Conglomerado Guanaceví.		Vetas Au, Ag, Pb, Cu.	
TRIASICO	SUPERIOR		Tr	Secuencia de lavas interestratificadas con toba, lutita, limonita, arenisca y conglomerado rojo. Formación Nazas.			
	INFERIOR			Sin depósito ?			
PALEOZOICO	PERMICO			Pizarras y areniscas intercaladas, plegadas y afalladas; unidad metamórfica.		Vetas y Mantos Ag, Pb, Zn.	
	CARBONIFERO		Esquistos de muscovita (Terreno Picacho); pizarra y arenisca con metatoba y caliza metamorfozada (Terreno Guerrero).		Vetas Ag, Pb, Barita.		

II.2. Evolución Geológica.

La geología del Estado, se caracteriza por la presencia de rocas ígneas y sedimentarias Mesozoicas plegadas, que descansan sobre un basamento Paleozoico.

Los períodos de emersión y fallamiento ocurridos durante el Triásico y Jurásico, prepararon la Paleogeografía de la parte superior del Mesozoico (Paterson, 1983, Santiago et al., 1984 in CRM, 1993). Durante el Triásico se tuvo una tectónica distensiva en la parte este y noreste del Estado que dio lugar a la formación de fosas y rellenos de sedimentos continentales, los cuales dieron origen a la Formación Nazas.

En el Jurásico Superior se origina la transgresión marina por la apertura del Golfo de México. Durante el Kimmeridgiano y Tithoniano, se crearon dos depósitos de mar abierto invadiendo la parte este y noreste del Estado, que formaba parte de la Península de Coahuila, depositándose sedimentos calcáreos que hoy representan a las Formaciones La Gloria y La Casita de la Sierra Madre Oriental (Zwanziger, 1978 in CRM, 1993).

A principios del Cretácico Inferior continuó la transgresión marina del Jurásico Superior hacia la parte noreste y este del Estado, depositándose calizas arcillosas de la Formación Taraises durante el intervalo Berriasiano-Hauteriviano; teniéndose registrada en la Sierra de Agua Puerca y Lomas El Caballo en las inmediaciones de El Portento (Pemex, 1988 in CRM, 1993).

Del Hauteriviano al Aptiano se desarrolló el lineamiento arrecifal que corre de Laredo a Monterrey y de éste se prolonga a Torreón para penetrar hacia el Estado de Durango con una orientación casi este-oeste sufriendo una flexión al noroeste, prolongándose hacia el Estado de Chihuahua.

Durante el Aptiano-Albiano se tiene aporte de terrígenos finos que dieron lugar a la Formación La Peña registrada en la parte noreste del Estado, en las inmediaciones de El Portento (Pemex, 1988 in CRM, 1993).

Del Albiano al Cenomaniano se tiene una transgresión marina sobre la Plataforma de Coahuila originando gruesas secuencias carbonatadas a las que pertenecen las Formaciones Aurora y Tamaulipas Superior; la primera ampliamente expuesta en toda la Sierra Madre Oriental.

Durante el Cretácico Superior se depositaron sedimentos terrígenos que dieron lugar a las Formaciones Indidura y Caracol, ambas expuestas ampliamente en las porciones oriente y noreste del Estado.

Las estructuras anticlinales y sinclinales, así como las deformaciones, recumbencias, cabalgamientos y grandes cierres periclinales que se tienen en la Sierra Madre Oriental, y que se desarrollaron durante la Orogenia Laramide desde finales del Cretácico a mediados del Eoceno.

Del Eoceno Superior al Oligoceno aparecen los primeros episodios volcánicos que constituyeron la base de la Sierra Madre Occidental a la que se le denominó Serie Andesítica o Serie Volcánica Inferior, la cual está deformada, afallada y alterada, debido en parte a las intrusiones ígneas que las afectaron. Las rocas de esta Serie Andesítica son las principales encajonantes de la mineralización aurífera y auroargentífera en la Subprovincia de Barrancas y Llanuras Altas, las que afloran principalmente como ventanas geológico-estructurales.

La actividad volcánica ignimbrítica (Mc Dowell y Clabaugh, 1979) culmina a fines del Oligoceno. Suprayace a la Serie Andesítica y cubre toda la porción occidental del Estado, extendiéndose desde su extremo noroeste hasta su extremo sureste para dar paso a la culminación y formación de la Sierra Madre Occidental. Estas rocas son encajonantes de yacimientos de estaño, fierro, fluorita, bentonita y caolín principalmente, aunque también se tiene mineralización de plata y oro en mínima proporción.

El borde oriental de la sierra Madre Occidental varía gradualmente hacia la Provincia de La Mesa Central, mientras que el borde occidental termina abrupto con fallas normales de grandes desplazamientos y profundas barrancas.

La culminación de la actividad volcánica concluye con coladas de basaltos en el Plioceno; así mismo y hasta el Pleistoceno se formaron depósitos de conglomerados, gravas, arenas y limos.

El emplazamiento de rocas graníticas se inicia a partir del Jurásico Superior hasta el Oligoceno, habiendo intrusionado de forma irregular a rocas metamórficas del Paleozoico, rocas calcáreas del Cretácico y rocas volcánicas de la base del Terciario.

El magmatismo durante la Orogenia Laramide clásica y migración del arco magmático, en la parte meridional de la Provincia de Cuencas y Sierras, en los Estados de Arizona y Nuevo México, se presentó un periodo de intenso magmatismo calcoalcalino (Damon et al., 1964 in Damon, 1981). Este periodo magmático fue seguido por un hiatus magmático en el Eoceno Tardío. Posteriormente un segundo periodo de magmatismo calcoalcalino ocurrió en el Oligoceno Temprano al Mioceno Medio, que es seguido por un hiatus magmático (Damon y Bikerman, 1964 in Damon, 1981) y seguido por la Orogenia del Terciario Medio.

La Orogenia Laramide de Coney se basa en tectónica de placas, quedando definida por cambios en los movimientos de las placas, y se inició con un cambio en el movimiento de la Placa Americana, que al variar su dirección de oblicua a frontal originó una rápida convergencia entre dicha placa con la de Farallón, y termina con el cambio en el movimiento de las placas, sucedido hace aproximadamente 40 m.a., donde manifiesta que el arco sufrió migración de poniente a oriente, lo cual como se ha mencionado genera un hiatus magmático Eocénico que separa al magmatismo de la Orogenia Laramídica con la Orogenia del Terciario Medio, (Damon et. al., 1981).

II.3. Marco Tectónico Regional.

Los elementos tectónicos reportados en la Carta Tectónica de México, 1988 in CRM, 1993, son entre otros, los Anticlinales Simétricos y Asimétricos correspondientes a las Sierras El Rosario, Mapimí y Atotonilco.

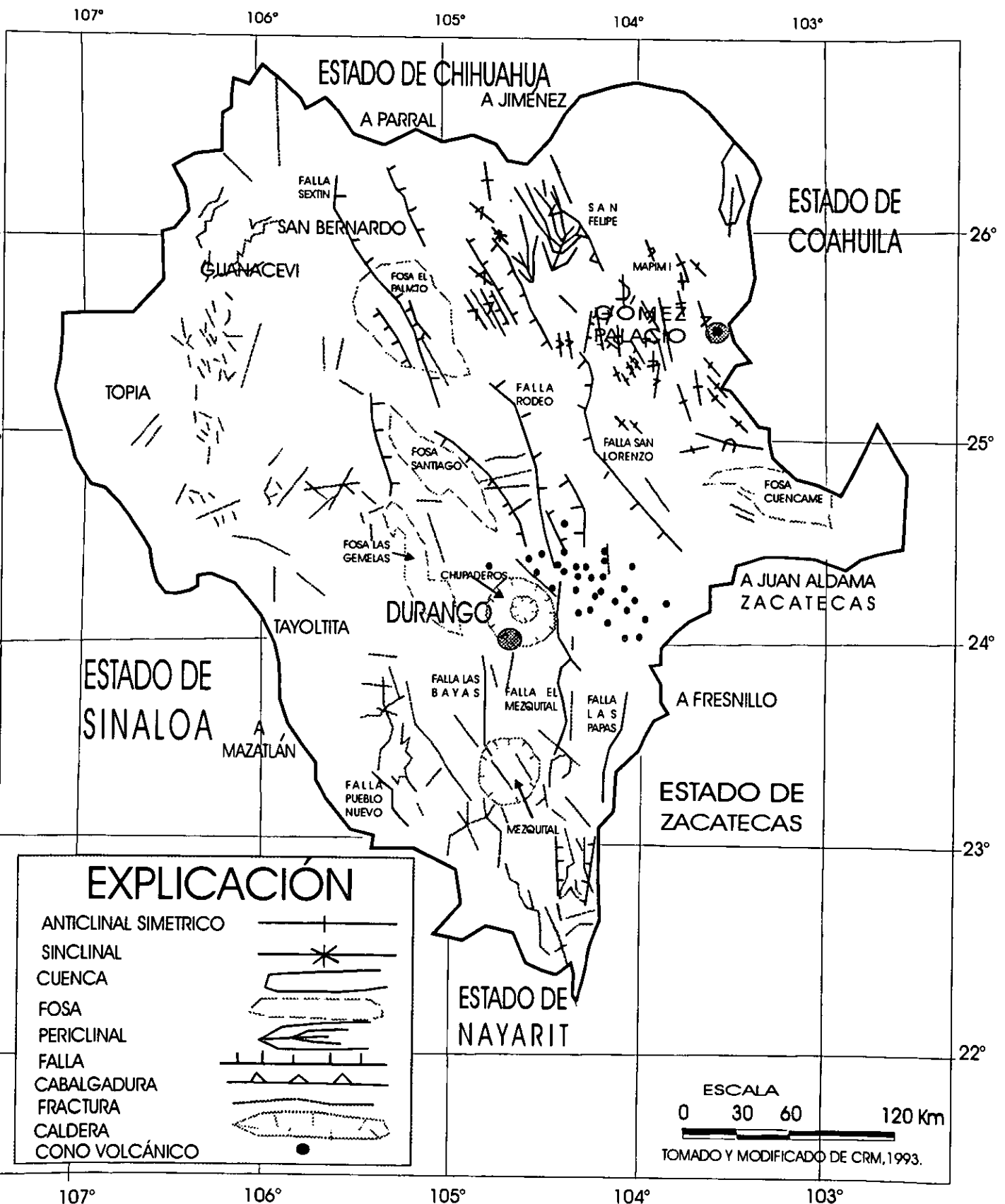
Al norte de la ciudad de Durango existe la caldera denominada Chupaderos y al sur se tiene la caldera de El Mezquital. Las fallas regionales de importancia son las de la porción central con dirección al noroeste y al sur. Otros elementos tectónicos de importancia interpretados mediante imágenes de satélite Nasa Earth en escalas 1:1 000,000 y 1: 500,000 (Sáenz ,1990 in CRM, 1993) son: la Cuenca de Tlahualilo ubicada en el extremo noreste del Estado y dos cierres periclinales al oeste de la cuenca, La Falla de San Lorenzo ubicada sobre el flanco poniente de la Sierra de Yerbaníz y la Falla Sextín en la parte norte la cual dio origen al río del mismo nombre, que continuando al sureste, forma la Falla Rodeo la que a su vez continúa a la zona de conos volcánicos de donde se origina la Falla El Mezquital al sur, (ver figura 4).

Paralelas a esta falla en el extremo sur del Estado se tiene a las Fallas Las Papas, Las Bayas y Pueblo Nuevo. Como fosas tectónicas se tiene la de El Palmito, la de Santiaguillo, Gemelas y la de Cuencamé.

Las fallas descritas presentan un lineamiento general noroeste-sureste cambiando a sur franco en el extremo sur del Estado (CRM, 1993).

En muchos sitios el vulcanismo y fallamiento fueron simultáneos o el inicio del fallamiento siguió después de un lapso breve al del vulcanismo. Ambos fenómenos sucedieron en toda la región en al menos cuatro pulsos de actividad que originaron a la provincias de cuencas y sierras por evolución tectonomagmática, estas pulsos se dieron: 32-27 m.a., 24-20 m.a., 12-10 m.a. y < 5 m.a.. Sin embargo la intensidad y carácter de estos pulsos variaron de manera sistemática de un lugar a otro. Así el frente del vulcanismo voluminoso asociado a subducción y el fallamiento normal intenso se desplazaron de NE a SW y fueron reemplazados hacia el interior del continente por actividad alcalina intraplaca y por extensión de menor magnitud, (Aranda et al., 2000).

FIGURA 4. TECTÓNICA DEL ESTADO DE DURANGO.



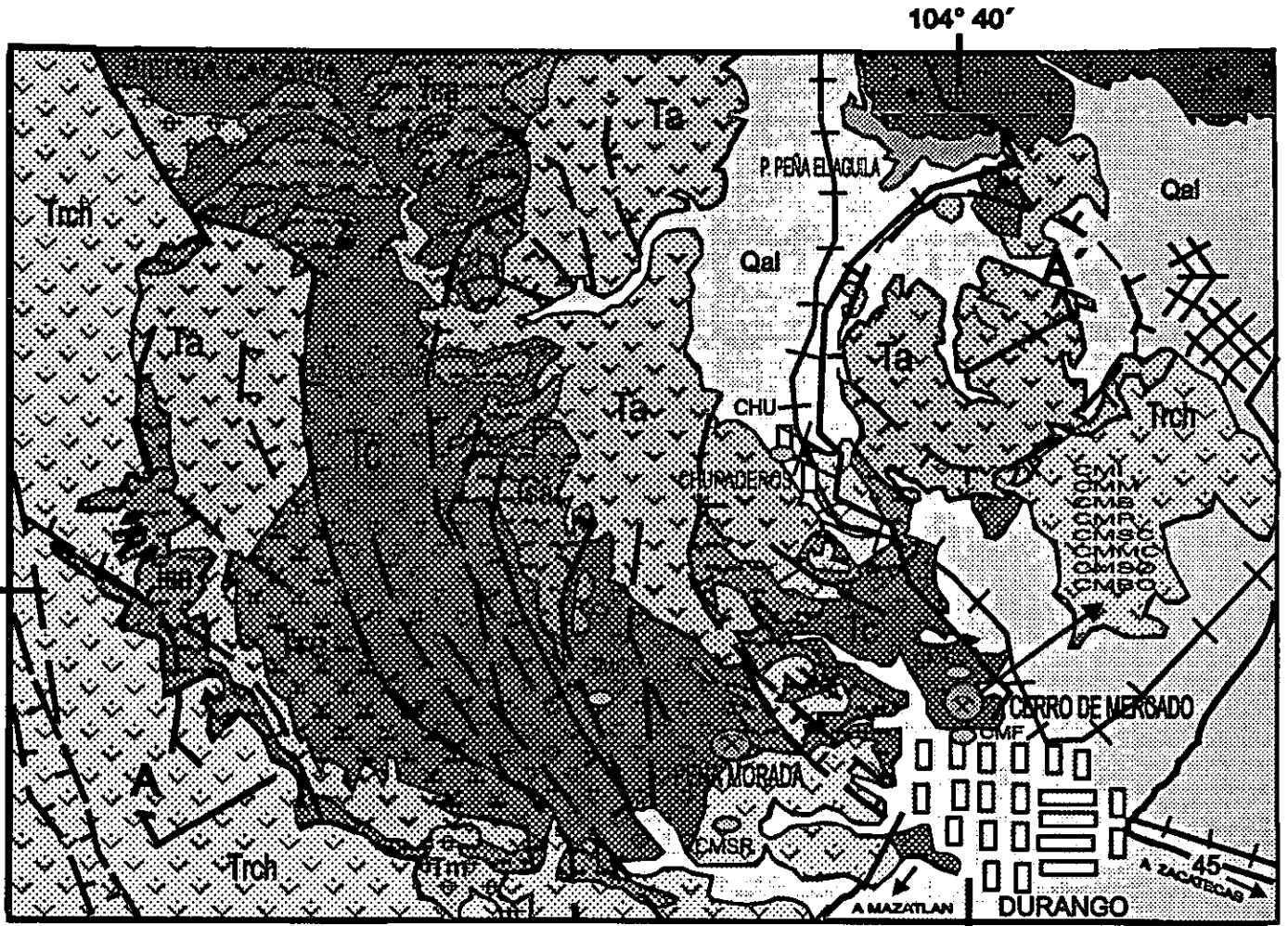
II.4. Estratigrafía y Geología del Yacimiento.

La estratigrafía del distrito está representada por rocas volcánicas de composición riolítica del Oligoceno (Tsv), afloran principalmente en la porción norte, las cuales forman parte de la secuencia de rocas ácidas de la Sierra Madre Occidental. Estas rocas fueron intrusionadas por un pórfido de composición latítica con variación a traquítica, estando definido en la porción oeste en forma de dique orientado N-S y extendiéndose hacia el noreste-este del Cerro de Mercado; esta roca provocó brechamiento en la roca preexistente, habiéndose mineralizado. El material aluvial se extiende hacia el sur, este y oeste que es la parte del Valle Guadiana (CRM, 1993), ver figura 5.

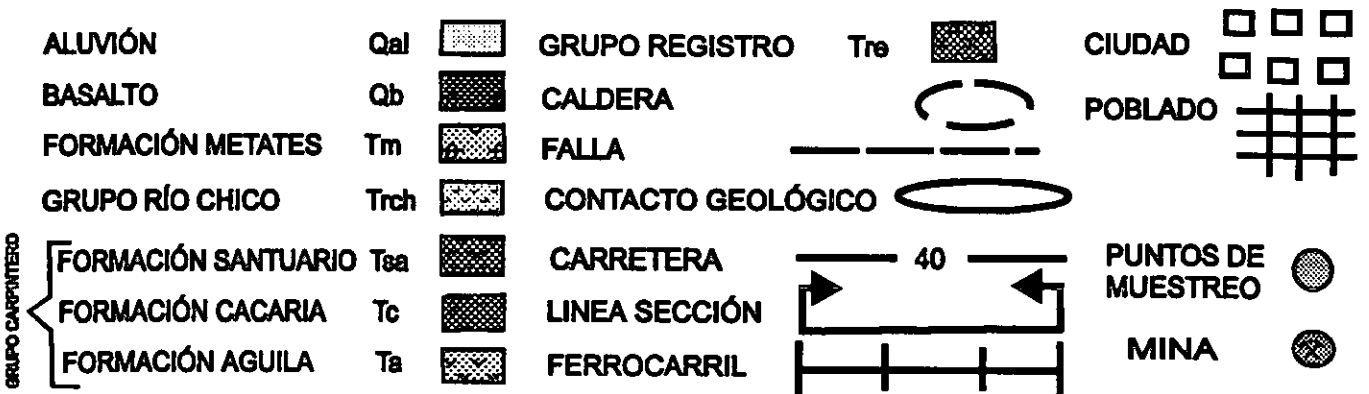
- La Riodacita La Víbora (Trv), (Oligoceno): con este nombre se designa a la lava de composición riodacítica cuya mejor exposición en el Cerro de Mercado está en la parte superior del sistema de quebradoras. Su localidad tipo está en el Cerro La Víbora, a 1,400 m al oeste de la mina. En este lugar la riodacita descansa sobre una ignimbrita riolítica (Formación Cacaria), se encuentra en discordancia con el Intrusivo Mercado, se le asigna una edad de 30.7 m.a., de acuerdo a las determinaciones absolutas de edad efectuadas por el personal de la Universidad de Texas en Austin, por el método de K/Ar (no se indica si es en roca total o fases minerales), (McDowell y Keiser, 1977 in Labarthe et al., 1990).
- Intrusivo Mercado (Tim), Terciario: Así se designa al intrusivo somero de composición monzonítica que aflora en la porción NE de la mina del Cerro de Mercado, se trata de una roca de color gris-verdoso-rosado, de textura porfirica, holocristalina, con fenocristales de feldespatos, cuarzo escaso en una matriz cristalina de grano fino, cloritizada y con frecuentes vetillas así como disseminaciones y manchones de piroxenos y magnetita, también con algunos cristales aislados de apatita. Se observó que el piroxeno corta y llega a reemplazar a los fenocristales de feldespatos. El Instituto Mexicano del Petróleo determinó su edad por el método de K/Ar (no se indica si es en roca total o fases minerales), dando 23 ± 2 m.a. (comunicación verbal? in Labarthe et al., 1990).

- Material de Talud (Qt), Cuaternario: Las laderas del Cerro de Mercado, sobre todo hacia la parte más baja están cubiertas por material de talud, que consiste de fragmentos angulares, de todos tamaños y sin clasificar, de las rocas y del mineral que afloran en él (Labarthe et al., 1990).
- Zona de deslizamiento (Qcl), Cuaternario: por deslizamiento lento, en fallas marginales del bloque deslizado, donde el material que se movió en masa consiste de fragmentos de mineral y de las rocas del área, (Labarthe et al., 1990).

FIGURA 5, PLANO DE LA CALDERA CHUPADEROS



SECCIÓN GEOLÓGICA N 62° E VIENDO AL NW



ESCALA 1: 200,000

TOMADO Y MODIFICADO DE LYONS, 1975 Y CRM, 1993.

II.5. El Yacimiento Mineral del Cerro de Mercado.

El depósito mineral es formado en el área por procesos de vulcanismo subaéreo durante un hiatus entre dos campos, en ciclos de emanaciones eruptivas aproximadamente hace 30 millones de años para la Caldera Chupaderos, (Lyons, 1988).

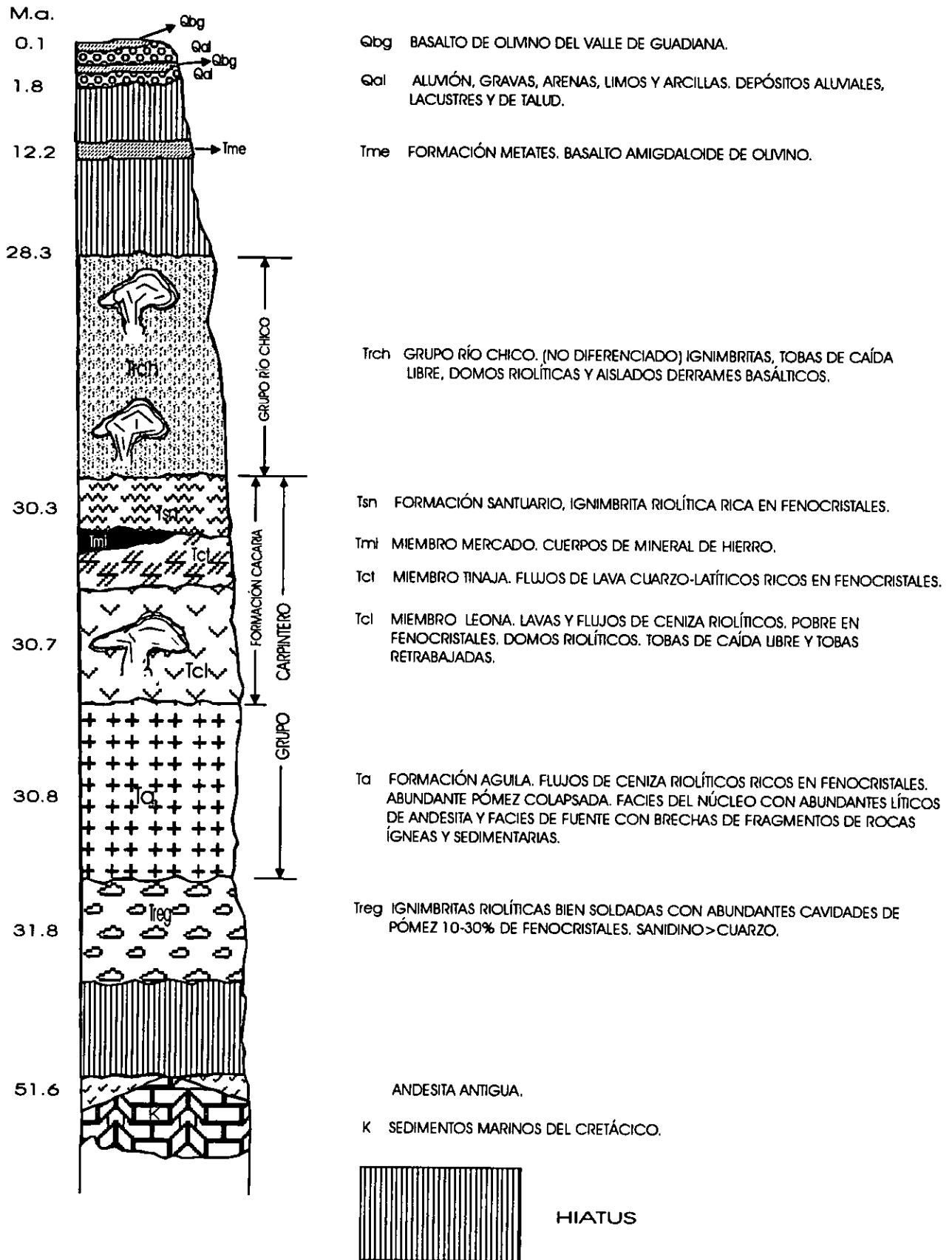
La primera erupción de la Caldera Chupaderos produce flujos de ceniza de composición riolítica hematítica, Formación Cacaria, en la parte central del domo de la Caldera. La parte baja de la Formación Cacaria y el Miembro Leona, consiste en domos de flujos riolíticos y material volcanoclástico. En un segundo evento eruptivo ocurre, en menor cantidad la actividad extrusiva de cuarzo-latita simultáneo con la erupción del Miembro Mercado de Fe, donde varias facies del Miembro Mercado de Fe fueron depositadas en la superficie del Miembro Leona como resurgimiento del domo de la Formación el Aguila. Se incorpora material volcanoclástico que incorpora fragmentos de óxidos de Fe en la base de la Formación Santuario, (Lyons, 1988), ver figura 6 Columna Estratigráfica y figura 7 Geología del Yacimiento.

El criadero del Cerro de Mercado consiste de varios cuerpos masivos de óxidos de hierro con apatita y de zonas con numerosas vetillas y lentes de mineral, a los que se les llama brecha hidrotermal y que son equivalentes a las "ore-breccias" de los depósitos de Kiruna, Painorova y Mertainen en Suecia (Frietsch, 1978 y Lundberg, et al, 1979, in Labarthe et al., 1990).

Posterior al depósito de óxidos de hierro y alojados en vetillas, cavidades o bolsadas, aparecen: cuarzo, apatita, calcita, calcedonia y yeso. Los cuerpos de mineral ocurren alojados en una roca de piroxenos. Los geólogos escandinavos llamaron originalmente skarn a esta alteración, asociada a cuerpos de mineral de hierro, a pesar de no existir alguna relación con rocas carbonatadas, y aún lo siguen usando (Frietsch, 1978 in Labarthe et al., 1990).

Los depósitos del Cerro de Mercado cubren un área de medio km², en el borde norte del depósito son expuestos por erosión, al este y cubiertos por lava de composición cuarzo-latítico del Miembro Tinaja y flujos de brechas al oeste de la Formación Santuario, (Lyons, 1988).

FIGURA 6. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA A DETALLE DEL ÁREA DE DURANGO TOMADA Y MODIFICADA DE LYONS, 1975 Y LABARTHE, 1990.



Cuerpos masivos o facies de Martita: Las facies de martita del Miembro Mercado de Fe, se encuentran incluidas en la Formación Cacaria, donde forman cuerpos lenticulares de 5 a 10 m de espesor.

Los cuerpos masivos tienen en superficie forma alargada, subhorizontal y pasan a profundidad a cuerpos tabulares de poco espesor y alta inclinación, el más grande llamado el de Los Conejos, presenta un rumbo N 10° W, buzando de N a S, otros como el de Mesa Torres y El Pirul. (Labarthe et al., 1990). Presentando una intercalación de capas con brechas formadas por fragmentos de riolita incluidas en una matriz de mineral de Fe, con algunas cavidades que varían de milímetros a un metro de espesor, (Lyons, 1988).

En el Miembro Mercado de Fe (cuerpo principal), Se distinguen siete facies: 1) Facies de martita, 2) Facies de magnetita y arena, 3) Facies de Bloque, 4) Facies de alta mezcla de óxidos de Fe, 5) Facies de brecha, 6) Facies de capas de hematita cubierta con 7) Facies de hematita pulverulenta. Las facies de hematita pulverulenta solo se forman en la porción periférica del Miembro Mercado Fe, (Lyons, 1988).

Las fases minerales dominantes son martita y hematita, las cuales forman un mosaico heterogéneo con apatita intersticial. Estos minerales se consideran pseudomorfo de magnetita y en ocasiones se presentan en cristales euhedrales de 5 a 10 mm de diámetro presentes en cavidades y fracturas.

Brechas Hidrotermales (Ore Breccias): Se denominan brechas hidrotermales a una red de vetillas sin dirección preferencial y de pequeños lentes de óxidos de hierro, alojados en roca encajonante (riolita, latita) alterada, a la cual reemplazan en parte. Junto con los óxidos de Fe se encuentran como minerales accesorios en proporciones variables, piroxenos, vetillas de cuarzo, cristales de apatita y otras fases como calcita y en menor proporción yeso, sepiolita, (Foshag, 1928 in Lyons, 1988).

Las brechas hidrotermales se dividen en tres tipos, considerando el contenido de óxidos de Fe:

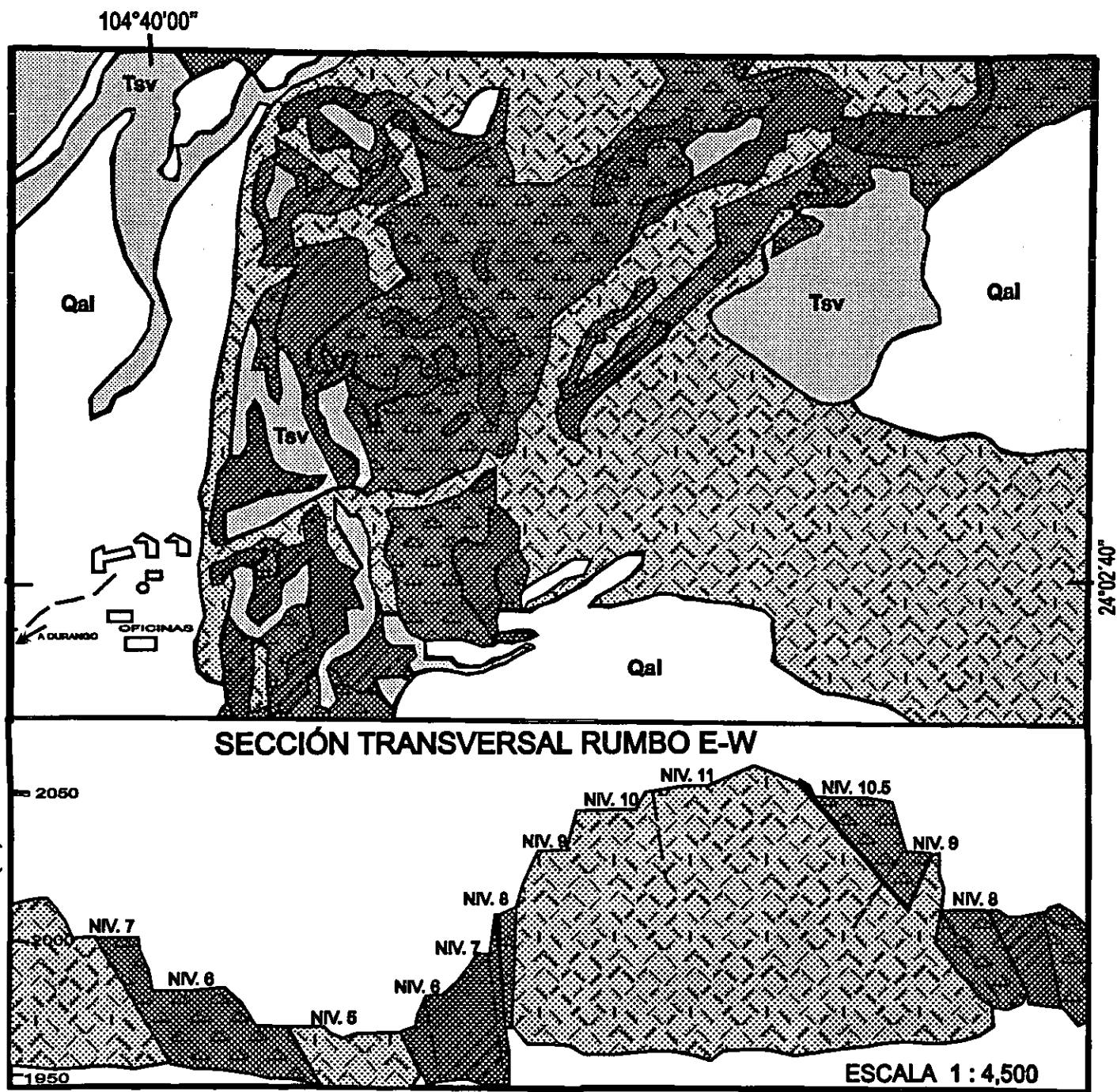
- Brecha uno, caracterizada por escasas vetillas y lentes de mineral, estando constituidas principalmente por piroxenos. Estas brechas cubren con frecuencia a los cuerpos masivos. (Labarthe et al., 1990).
- Brecha dos, caracterizada por abundantes vetillas de mineral y fragmentos de roca, que llegan a tener una proporción de 50% a 50%, que hasta la fecha no habían sido de interés económico.
- Brecha tres, que consiste de mineral con más o menos frecuentes "caballos" de roca, esta es económicamente explotable.

Skarn: cabe aclarar que esta nomenclatura es usada en la mina, y fue propuesta por geólogos escandinavos para definir una roca de color verdoso, gris oscuro verdoso y café rojizo, que consiste esencialmente de abundantes piroxenos de milímetros a un cm, identificados como hedenbergita (Labarthe, 1990) y Diópsido-HEDENBERGITA (Foshag, 1928 in Lyons, 1988), la cual es semejante a una alteración similar, presente en el yacimiento de Kiruna. Ver detalle en figura 7.

En esta roca se observa un agregado granular con magnetita, hematita y trazas de apatita; calcita en manchones y en ocasiones cementando a los piroxenos, epidota asociada a estos, en zonas aisladas sepiolita (Labarthe et al., 1990, mencionada por Foshag, 1928 in Lyons, 1988).

En los estudios petrográficos realizados se encontró una relación textural en donde se aprecia que los óxidos de Fe son reemplazados a través de bordes y fracturas por piroxenos, (ver apéndice petrográfico y mineragráfico).

MAPA GEOLÓGICO DEL YACIMIENTO



SIMBOLOGÍA

ALUVÓN	Qal		CONTACTO GEOLÓGICO		 ESCALA 1 : 6,500
CUERPO DE HEMATITA	h		FALLA		
BRECHA DE HEMATITA			PLANTA DE BENEFICIO		
PORFIDO LATTICO Y TRAUÍTICO					
TOBA RIOLÍTICA	Tsv				

TOMADO Y MODIFICADO DE C.R.M., 1993.

FIGURA 7. YACIMIENTO CERRO DE MERCADO

II.6. Génesis del yacimiento.

Durante el trabajo de campo y con la consulta de bibliografía disponible, se pudo apreciar que hay divergencias acerca del origen del yacimiento, entrando en conflictos por la formación del depósito y tipos de alteración, lo cual en particular es un punto importante para apoyar alguna de las teorías propuestas o proponer la propia en este trabajo.

A continuación se presentan algunas ideas sobre el origen del yacimiento de Cerro de Mercado, citadas y discutidas en trabajo de Salazar et al., (1923):

- Weidner, 1877, lo propone como una erupción volcánica.
- Birkinbine menciona que son lentes que se disgregan como material de talud.
- Chrustschoff , 1904, lo refiere a un proceso eruptivo asociado a un porfido.
- Ordóñez que es una formación filoniana que lleno fracturas en la roca.
- Rangel, 1902, como un dique muy potente incluido en un macizo de riolita.
- De Launay , 1913, como un gran dique armado en riolita.
- Silliman como masas de mineral inmenso en vetas o capas de Fe formando talud en las laderas que ocultan por completo a la roca.
- Davidson que es de contacto entre un batolito y una capa sedimentaria de la cual no queda nada. Sin embargo no llegan a concretar y faltan detalles para fortalecer sus hipótesis.
- Salazar et al., (1923), Menciona que se dieron dos eventos para la formación de las riolitas y el depósito mineral, esto por relación de campo donde observó que hay una capa riolítica que envuelve al mineral de Fe y que bajo este se encuentra otra capa riolítica, y otra

etapa final evidenciada por la presencia de hidrotermalismo, lo cual le hizo suponer la existencia de dos tipos de roca riolítica, una relativamente profunda y otra superficial netamente de carácter efusivo, que ha desaparecido casi totalmente por efectos erosivos.

- Leslie, 1975, asocia a una intrusión de un cuerpo lacolítico o tronco, que culmina con eventos hidrotermales evidenciados por el enriquecimiento de apatita.
- Park, 1972, lo clasifica como depósitos de inyección magmática, asociados a la cuenca del Pacífico.
- Lyons, 1988, lo determina como volcanogénico.
- Labarthe, 1990, como un sistema magmático tardío, de acuerdo con Rubalcaba, 1983.

Como se mencionó con anterioridad aun existen divergencias para explicar la génesis del yacimiento del Cerro de Mercado. A continuación se mencionan algunas clasificaciones propuestas por diferentes autores que han estudiado yacimientos de Fe, con la finalidad de determinar la génesis de este yacimiento.

Dentro de la clasificación del tipo de origen en segregaciones para los yacimientos ferríferos se tienen, con base en asociación del ambiente petrológico, las siguientes categorías, (Haggerty, 1976):

1.- Segregaciones asociadas con largas capas que forman intrusivos de composición ácida a intermedia, vinculadas a anortositas, gabros y carbonatitas: los óxidos son comúnmente cromita, con magnetita e ilmenita asociados.

2.- Segregaciones asociadas con series anortosíticas: los óxidos típicos son ilmenita y titanomagnetita.

3.- Segregaciones asociadas con peridotitas Tipo-Alpino: los óxidos son invariablemente cromita, la presencia de magnetita la ilmenita es rara.

4.- Segregación magmática de composición ácida a intermedia, asociada con apatita, donde los óxidos típicos son titanomagnetitas.

5.- Segregación de óxidos asociados con carbonatitas, donde los óxidos más abundantes son magnetita, rutilo, y brookita, en asociación con múltiples y complejos óxidos de vanadatos y niobiatos.

6.- Series graníticas, donde los óxidos son estannatos, tungstos y tantalatos (Haggerty, 1976).

Park propone una clasificación para los depósitos de hierro de la Cuenca del Pacífico, la cual divide en tres categorías, basados en su origen:

1.- Depósitos de segregación magmática en rocas ultramáficas.

2.- Depósitos sedimentarios.

3.- Depósitos de magnetita y hematita. Incluyen a los de contacto metamórfico o pirometasomatismo, considerados como depósitos por reemplazamiento, como segregación magmática y depósitos de inyección acompañados por abundantes volátiles y fluidos de agua, (Park, 1972).

A continuación se presentan algunas de las hipótesis sobre la génesis del yacimiento del Cerro de Mercado.

Foshag (1928) y Flores (1950) in Leslie, (1975), favorecen un emplazamiento hidrotermal de los yacimientos de hierro, por tener una intensa alteración al pie de la pared y la presencia de apatita abundante en venas y bolsadas en el yacimiento y alteración de la Riolita Leona (Formación Santuario), (Leslie, 1975). Cree que la forma del yacimiento fue resultado de la inyección de un dique rico en óxidos de hierro.

(Lyons, 1975), esta convencido que ninguna de las hipótesis por inyección magmática e hidrotermalismo pueden explicar con certeza el significado de la mineralización del Cerro de Mercado, por el contenido de distintas fases minerales de óxidos de Fe y grados de alteración. El propone a Cerro de Mercado como el sitio de un volcán, así la depresión del Miembro Mercado de Fierro, marca la erupción de magma del yacimiento de magnetita (Leslie, 1975).

Lyons, 1988, propone que el Cerro de Mercado es aparentemente el resultado de la erupción de un magma de hierro rico en F, Cl, CO₂ y H₂O.

Vivallo et al., 1995, haciendo una comparación con datos geoquímicos de rocas alteradas de Cerro Negro Norte, Chile y Cerro de Mercado, concluye que son compatibles con un fluido hidrotermal caracterizado inicialmente por altos contenidos de Ca, Mg, Fe, Na, P, F, Cl y CO₂ y lixiviación de Tierras Raras livianas (La, Ce, ND, Sm), Ti, Sr, Zr, Zn y Hf.

Frietsch, 1978 in Labarthe 1990, en base a evidencias de campo y laboratorio propone que se trata de un depósito tipo Kiruna, muy semejante al de esta localidad en Suecia, evidenciadas por la asociación mineralógica magnetita-apatita con minerales de skarn cálcico, en este caso diópsido-hedenbergita (Cerro de Mercado) y en el caso Kiruna actinolita. Así como la asociación de cuerpos masivos y brechas hidrotermales rodeando a los primeros.

Park, 1972, clasifica a Cerro de Mercado como un yacimiento formado por procesos de segregación o inyección magmática acompañados de abundantes volátiles. Lo anterior se ve reforzado por la clasificación de Haggerty, 1976, quien propone que los yacimientos generados por segregación magmática se caracterizan por la asociación de minerales de la serie de las titanomagnetitas con apatita, como es el caso de Cerro de Mercado y que además corresponde a un yacimiento generado por un arco magmático, en el cual se generan este tipo de depósitos de magnetita.

Actualmente se cree que los magmas de la Sierra Madre Occidental pudieron generarse por fusión parcial de la corteza, o por cristalización fraccionada de magmas provenientes del manto y asimilación cortical, (Ruiz et al., 1988; Cameron y Robinson, 1990 in Aranda et al., 2000). Se encuentra en controversia, pero existen elementos como el espesor promedio \approx 1 km y contenido isotópico (Nd-Sr), similar al de algunos de los xenolitos corticales del centro y norte de México.

De acuerdo con la relación de campo y en base a la información obtenida de los estudios petrográficos se define la siguiente secuencia paragénética.

Así como las siguientes zonas de alteración en la roca encajonante piroxenzación, argilitización y silicificación. Para detalles consultar el apéndice mineragráfico.

II.7. Comparación de otros Yacimientos Ferríferos del Mundo con el Yacimiento del Cerro de Mercado.

Definidos por Park, 1972, los cuales son generados por arcos magmáticos.

Se realiza la comparación entre los siguientes yacimientos por afinidad en origen y en la mineralogía. *Kiruna, El Laco, Cerro Imán, Cerro Negro y Cerro de Mercado*, ver tabla 1.

El yacimiento de Kiruna en Suecia, presenta características texturales similares a las descritas antes en las facies del Miembro Mercado de Fe (Nyström, 1985; Nyström and Henríquez, 1989), mencionan la presencia de martitización en los yacimientos del norte de Chile (El Laco, Cerro Imán y Cerro Negro), donde se generan pseudomorfo de magnetita (martitización) presente en Cerro de Mercado, se presentan texturas de reemplazamiento y exolución en los óxidos de Fe, y manifestación de yacimientos extrusivos de hierro similares a los existentes en la periferia en Cerro de Mercado (Lyons, 1988; Aguilar et al., 1991).

Lyons, 1988; Nyström and Henríquez, 1994, reportan contenido de Cr y V, así como una relación estrecha de magnetita y apatita, para El Laco, siendo esto similar a Cerro de Mercado donde se han reportando (Lyons, 1988, contenidos de Mg, Ti, V, Co, Ni, Cu y Zn asociados a martita y Ba, Sr, Cr, Mo, W, Au, As, Sb, Te y Pb asociados a hematita.

Geoquímicamente El Laco, en Chile se relaciona con la evolución magmática-hidrotermal que generó el estrato-volcán (Vivallo, 1991). Una situación similar se presenta en el yacimiento Cerro de Mercado, en México, donde un magma de mena originó un yacimiento de magnetita-apatita que contiene oro asociado a hematita (Lyons, 1988), siendo en este caso, las rocas volcánicas asociadas de composición riolítica, condiciones similares en Cerro Imán de origen arco magmático (Espinoza, Vivallo y Henríquez, 1994), y Cerro Negro Norte de la Franja Ferrífera Cretácica (FFC) Chile, así como la

importancia en procesos geológicos de oro en ambientes magmático-hidrotermal rico en hierro, en yacimientos del tipo magnetita-apatita, (Vivallo, Espinoza y Henríquez, 1995), menas de hierro están fuertemente asociadas a oro, las cuales se relacionan con la Franja Ferrífera de la Cordillera de la Costa (FFCC), donde se presentan depósitos de Cu y Cu-Fe±Au, (Vivallo y Henríquez, 1997).

Sobre la génesis de los yacimientos de Cerro de Mercado y Kiruna, se realiza una comparación, tomando en cuenta el origen y mineralogía, esencialmente apatita y magnetita, donde el mineral "apatita" se asocia tanto a magnetita como a pirita, (Vivallo, W., Espinoza, S. y Henríquez F., 1994), unidades del yacimiento como en Cerro de Mercado, en el que también se proponen diversos orígenes: (sedimentario, Fredholm, 1891 in Nyström, 1985), (vulcanogénico hidrotermal, Lundbohm y Bäckström, 1898 in Nyström, 1985), (vulcanogénico exhalativo, Parak, 1975), (metasomatismo, Hitzman, 1967 in Nyström, 1985), las evidencias texturales y datos químicos de óxidos y apatita (Parak, 1975, Frietsch, 1982, Frietsch y Perdahl, 1989 in Nyström, 1985) así como el enriquecimiento en fósforo (Geijer, 1910 in Nyström, 1985) favorece a un origen de arco magmático, (Romer, Martinsson and Perdahl, 1994 in Vivallo et al., 1994).

TABLA 1. COMPARACIÓN DEL YACIMIENTO CERRO DE MERCADO CON OTROS DEPÓSITOS DE HIERRO.

MINA	CERRO DE MERCADO	KIRUNA	EL LACO
LOCALIDAD	MÉXICO	SUECIA	CHILE
EDAD	0.03 b.a.	1.6 b.a.	TERCIARIO
AMBIENTE	ROCAS VOLCÁNICAS SILICEAS	ROCAS VOLCÁNICAS SILICEAS	ROCAS VOLCÁNICAS SILICEAS
TIPO DE ROCA	CUARZO-RIOLITA PORFIRICA	SIENITA-CUARZO PORFIRICA	DACITA-RIOLITA PORFIRICA
FORMA DEL YACIMIENTO	TABULAR	TABULAR	TABULAR
TEXTURA	VOLCÁNICO-SEDIMENTARIO	SEDIMENTARIO	VOLCÁNICO
PARED COLGANTE	CRUZANDO Y CORTANDO A CUERPOS FeO	CRUZANDO Y CORTANDO A CUERPOS DE FeO	CRUZANDO Y CORTANDO INTRUSIONES DE Fe
PIE DE PARED ALTERACIÓN	PIROXENO, MAGNETITA REEMPLAZAMIENTO	ALTERACIÓN DE PIROXENO	ACTINOLITA-ESCAPOLITA-CUARZO
ALTERACIÓN DEL YACIMIENTO	MAGNETITA A HEMATITA	MAGNETITA A HEMATITA	BUENA OXIDACIÓN
GANGA DOMINANTE	APATITA	APATITA	APATITA
APATITA	1%	1-2%	1%
PIROXENO	DIÓPSIDO-HEDENBERGITA	DIÓPSIDO	SI
CARBONATOS	CALCITA	CALCITA	SI
BARITA	5%	NO	NO
FLUOR	EN APATITA	EN APATITA	EN APATITA
CUARZO	SI	SI	NO
BIOTITA	NO	SI	NO
TOURMALINA	NO	SI	NO
TITANIO	0.01 A 1%	0.04 A 1.4%	0.01 A 0.02%
VANADIO	0.03 A 0.15%	0.1 A 0.15%	0.03 A 0.04%

DATOS TOMADOS DE LYONS (1988); VIVALLO et al., 1997 y BROMAN et al., 1999.

CAPÍTULO III: PROPIEDADES MAGNÉTICAS.

III.1. Magnetismo de las Rocas.

III.1.1. Introducción.

Indudablemente el Paleomagnetismo, así como el estudio de las propiedades magnéticas de las rocas es una herramienta útil en Geología y otras ciencias, en donde no ha sido aprovechada al máximo. Puede utilizarse en exploración de yacimientos con altas concentraciones de minerales con susceptibilidad magnética.

El magnetismo es la propiedad que algunos materiales poseen, asociado con el movimiento de electrones, causa que éstos se atraigan o se repelan (por ejemplo pedazos de hierro). Los geofísicos han determinado que la Tierra tiene una región de influencia magnética, o campo magnético, similar a aquel de una barra magnética simple. Este campo es probablemente es debido al flujo de partículas de fierro cargadas eléctricamente dentro del núcleo externo líquido terrestre. Las líneas de fuerza invisibles generadas por el campo magnético terrestre emergen del polo sur magnético y entran al polo norte magnético. El campo magnético terrestre se debilita periódicamente y cambia la dirección de su polaridad, fenómeno conocido como inversión magnética. El paleomagnetismo estudia el registro geológico de cambios pasados en el campo magnético terrestre. Se usa esencialmente como una herramienta para reconstruir la posición geográfica en el pasado de las masas terrestres, (Alva, 1996).

El paleomagnetismo puede ayudar a resolver, directa e indirectamente, problemas asociados a la exploración, la génesis y la edad de yacimientos de recursos minerales, (Valencio, 1980).

III.1.2. Magnetización Total (J_t).

Las rocas portadoras de magnetización tienen principalmente dos componentes: la magnetización inducida (J_i), en donde esta requiere la presencia de una campo magnético aplicado, y la magnetización remanente natural (MRN), que es la suma de la magnetización remanente primaria y secundarias, adquiridas durante la evolución geológica de la roca (J_r). El

magnetismo total es la suma vectorial de ambas, $J_t = J_r + J_i$, (Valencio, 1980).

III.1.3. La Magnetización Remanente Natural (MRN).

La MRN de las rocas usualmente constituye la resultante vectorial de varias componentes originadas en diversos tiempos. Durante la historia de la MRN las diversas componentes pueden ser a su vez afectadas tanto en magnitud y dirección por fenómenos, considerando aquellos que originan magnetización remanente secundaria (MRS). De acuerdo al origen la MRN se divide en :

- 1) Magnetización Remanente Térmica (MRT), es generada al enfriarse los minerales magnéticos bajo la temperatura de Curie (T_c) y conservada en la roca al pasar el punto de bloqueo (T_b) al cual el tiempo de relajación se incrementa. La MRT total es la suma de varias MRT parciales y depende de la composición, tamaño y forma de los minerales.
- 2) Magnetización Remanente Química (MRQ) originada por cambios químicos debidos a procesos de cristalización, cambios de fases u oxidación ocurridos a temperaturas inferiores a la temperatura de Curie (T_c). En rocas ígneas ésta constituye una magnetización remanente secundaria MRS asociada a cambios de temperatura.
- 3) MR termoquímica o (MRQ) de alta temperatura (MRT-Q), generada por varios fenómenos deutéricos o cambios de fase en el sistema $FeO-Fe_2O_3-TiO_2$ que alcanza equilibrio en ocasiones hasta $650^\circ C$ o $550^\circ C$, Puede estar adicionada a la MRT, o haberse producido en un calentamiento posterior y ser MRS y la MRT-Q ser la MRP.
- 4) La MR detrital o de depósito (MRD), se genera por la orientación de las partículas magnéticas de acuerdo a las líneas de fuerza del campo magnético gravitacional (CGM). Su estabilidad y el grado de proporcionalidad con el CGM depende del tamaño y clase de las partículas sedimentarias y el proceso de depósito. Hay una mayor estabilidad y alineamiento respecto al CGM, si se trata de partículas finas y con procesos de depósito lentos y tranquilos.

- 5) MR viscosa (MRV), que se adquiere por exposición a los efectos de un campo magnético durante largos períodos y depende de las propiedades del material (viscosidad magnética debida a agitación térmica en la red cristalina o defectos en su estructura) y al intervalo de exposición.
- 6) MR isotérmica (MRI), esta se produce en presencia de un campo magnético a temperatura aproximadamente constante e inferior a la temperatura de Curie (T_c), su intensidad es proporcional a la del campo bajo el límite de saturación y generalmente menor que la MRT.
- 7) MR anistérica (MRA), se genera debido a la influencia de dos campos magnéticos, uno constante y otro variable y decreciente.
- 8) La MR piezomagnética (MRP), se presenta por los efectos de magnetoestricción generados en las rocas por la acción de esfuerzos (tectónicos artificiales), es de carácter secundario y en algunos casos afecta en forma irreversible a las componentes blandas de las rocas.
- 9) La MR rotacional (MRR), descubierta durante ensayos de desmagnetización por campo magnéticos alternos y sus características y propiedades aún se encuentran bajo estudio, (Urrutia, 1979).

III.2. La estabilidad del magnetismo remanente de las rocas y características mineralógicas de las mismas.

Por medio de experimentos en laboratorio se ha logrado determinar una íntima relación entre el MRN de una roca y el tamaño de partícula de sus óxidos de hierro y titanio. Los granos de menor tamaño muestran mayor estabilidad que los de mayor tamaño (Valencio, 1980; Urrutia, 1979). En las rocas ígneas este factor es muy importante debido al rápido enfriamiento que sufren estas rocas formando cristales pequeños en rocas extrusivas y cristales más grandes en rocas intrusivas, y dentro de estas los cuerpos muestran cristales más pequeños en sus bordes donde se pierde temperatura o en las márgenes más frías. Así, en el proceso de formación de partículas de óxidos de hierro y titanio donde el ambiente oxidante presente desempeña un papel importante. Por ejemplo, la mayoría de los magmas contienen entre el 5% y el 12% de óxidos de hierro, pero para que se presente la fase mineral de magnetita por precipitación debe haber un exceso de hierro en estado férrico

(ambientes oxidantes intensos). En ambientes oxidantes débiles hay pocos iones de Fe_3^+ y la mayoría de los iones Fe_2^+ se derivan hacia estructuras de silicatos (olivino, piroxeno, etc.). El ambiente de oxidación (y por lo tanto la relación Fe_3^+ / Fe_2^+) esta regulado por la fugacidad del oxígeno, la cual a su vez depende de la cantidad de agua presente en el magma (Valencio, 1980).

III.2.1. Susceptibilidad Magnética (χ).

La susceptibilidad magnética de una roca depende de las susceptibilidades de sus minerales constituyentes y está influenciada por factores tales como la forma y la anisotropía magnetocristalina de tales minerales (Valencio, 1980), tamaño, cantidad, forma, composición, pureza imperfecciones en la red cristalina y dureza de los minerales magnéticos (Stacey and Benerjee, 1974 in Valencio, 1980). Se aplicaran varios de los criterios en el presente estudio.

III.2.2. Temperatura de Curie (T_c).

La tempera de Curie se designa, cuando una sustancia llega a tener una temperatura crítica y pasa de ferromagnética a paramagnética. Cuando la temperatura de una sustancia ferromagnética alcanza o sobrepasa su temperatura crítica, llamada la **temperatura de Curie**, la sustancia pierde su magnetización espontánea y se vuelve paramagnética. Debajo de la temperatura de Curie, los momentos magnéticos se alinean y la sustancia es ferromagnética. Arriba de la temperatura de Curie, la energía térmica es suficientemente grande para provocar una orientación al azar de dipolos, por lo que la sustancia se vuelve paramagnética (Serway, 1997).

La temperatura que se conoce como temperatura de Curie, es para materiales de hierro y ferrimagnéticos, y como temperatura de Neel para antiferromagnéticos. La temperatura es un parámetro que varía con respecto al grado de alteración presente en la roca, esto es a mayor alteración aumenta la temperatura de Curie. Dicha temperatura es característica para cada mineral siendo para la magnetita $585^\circ C$ y de $675^\circ C$ para la hematita, (Valencio, 1980).

III.2.3. Comportamiento Magnético de los Materiales y su clasificación.

La clasificación de las sustancias magnéticas presenta una gran variedad de sustancias, específicamente paramagnéticas y diamagnéticas, donde el vector de magnetización M es proporcional a la intensidad del campo magnético H . En estas sustancias podemos escribir $M = \chi H$, donde χ , es un factor adimensional llamado la **susceptibilidad magnética**. Si la muestra es paramagnética, χ es positiva, en cuyo caso M está en la misma dirección que H . Si la sustancia es diamagnética, χ es negativa, y M es opuesto a H . Es importante mencionar que esta relación lineal entre M y H no se aplica a sustancias ferrimagnéticas, la sustitución de la ecuación $M = \chi H$ para M en la ecuación $B = \mu_0 (H + M)$, dando como resultado:

$$B = \mu_0 (H + M) = \mu_0 (H + \chi H) = \mu_0 (1 + \chi) H$$

$$B = \mu_m H$$

Donde la constante μ_m recibe el nombre de **permeabilidad magnética** de la sustancia y tiene el valor $\mu_m = \mu_0(1 + \chi)$. Las sustancias también pueden clasificarse en términos de cómo se compara su permeabilidad magnética μ_m con μ_0 (**la permeabilidad del espacio libre**) como sigue:

Paramagnética	$\mu_m > \mu_0$
Diamagnética	$\mu_m < \mu_0$
Ferromagnética	$\mu_m \gg \mu_0$

Puesto que χ es muy pequeña para sustancias paramagnéticas y diamagnéticas μ_m es casi igual a μ_0 en estos casos. Para sustancias ferromagnéticas, sin embargo, μ_m es por lo común varios cientos de veces más grande que μ_0 . Aunque la ecuación $B = \mu_m H$, brinda una relación simple entre B y H , debe interpretarse con cuidado cuando se trabaja con sustancias ferromagnéticas. Por no ser M una función lineal de H para sustancias ferromagnéticas. Esto se debe a que el valor de μ_m no es característico de la sustancia, sino que más bien depende del estado de tratamientos previos de la muestra.

Ferromagnetismo: ciertas sustancias cristalinas, cuyos constituyentes atómicos tienen dipolos magnéticos permanentes, muestran intensos efectos magnéticos que reciben el nombre de ferromagnetismo. Ejemplos de sustancias ferromagnéticas incluyen al hierro, cobalto, níquel, gadolino y disprosio. Dichas sustancias contienen momentos magnéticos atómicos que tienden a alinearse paralelos entre sí incluso en un campo magnético externo débil. Una vez que los momentos se alinean, la sustancia permanece magnetizada después de que el campo externo se elimina. Este alineamiento permanente se debe a un intenso acoplamiento entre momentos vecinos, lo cual solo puede entenderse en función de la mecánica cuántica.

Paramagnetismo: Las sustancias paramagnéticas tienen una susceptibilidad positiva aunque pequeña ($0 < \chi < 1$), lo cual se debe a la presencia de átomos (o iones) con momentos de dipolo magnético permanente. Estos dipolos interactúan sólo débilmente entre sí y se orientan al azar si no hay campo magnético externo. Cuando la sustancia se pone en un campo magnético externo, sus dipolos magnéticos tienden a alinearse con el campo. Sin embargo, este proceso de alineación debe competir con los efectos de movimiento térmico, que tienden a volver aleatorias las orientaciones de los dipolos.

Diamagnetismo: una sustancia diamagnética es aquella cuyos átomos no tienen momento de dipolo magnético permanente. Cuando un campo magnético externo se aplica a una sustancia diamagnética como bismuto o plata, un momento de dipolo magnético débil se induce en la dirección opuesta al campo aplicado. El efecto del diamagnetismo está presente en toda la materia, y es débil comparado con el paramagnetismo o el ferromagnetismo, (Serway, 1997).

III.3. Ciclo de Histéresis Magnética.

Las características del proceso de magnetización de un mineral ferromagnético se definen en su ciclo de histéresis magnética. Este proceso se inicia a partir de un material ferromagnético desmagnetizado previamente por campos alternos y se le aplica un campo magnético H , a medida que dicho campo aumenta a partir de cero, la magnetización inducida en el material aumenta y alcanza su saturación J_s para un valor de campo H_s .

A medida que se logran valores mayores que el de saturación, el material adquiere una magnetización tal que parte de ella es independiente del campo H y estará presente aún cuando el campo se reduzca a cero.

Una vez alcanzada la saturación magnética del material, se disminuye el campo inductor H . La magnetización del material J disminuye según una curva diferente del proceso anterior. Cuando $H = 0$ el material ferromagnético conserva cierta magnetización J_r . Esta magnetización remanente del material será destruida si el campo inductor cambia de sentido y alcanza un valor definido $-H_c$.

Este valor particular del campo define un parámetro característico del material ferromagnético, llamado fuerza coercitiva o coercitividad. Si $-H_c$ continua aumentando el módulo del campo inductor negativo, alcanzará la saturación $-J_s$ para un campo $-H_s$. Si se prosigue, se completa el ciclo de histéresis magnética del material, ver figura 8, (Valencio, 1980).

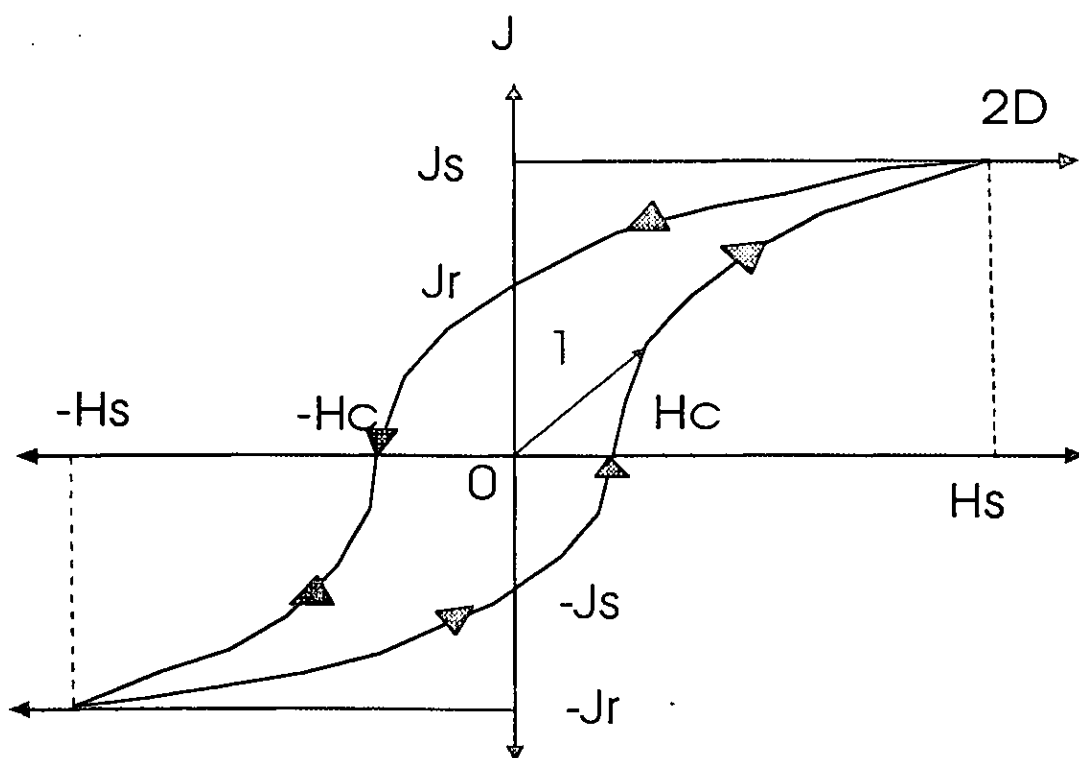


Figura 8. Ciclo de histéresis magnética de un material ferromagnético, (Valencio, 1986).

III.4. Metodología y Descripción del Equipo empleado en el procesado de las muestras.

Se procedió a realizar una visita y estancia en campo, en la Mina Cerro de Mercado, Estado de Durango, México. Donde se tomaron muestras (núcleos) de 14 sitios, dentro de la mina 10 y fuera de la mina 4 sitios donde se evidenciaban manifestaciones de mineralización y relación de las rocas. Se colectó un total de 86 núcleos extraídos de zonas mineralizadas, rocas encajonantes, rocas alteradas y rocas asociadas (fuera de la mina). Las muestras se obtuvieron con la utilización de una perforadora portátil la cual funciona con el motor de una motosierra, adaptada a un sistema convertidor, el cual permite adaptar una barrena pequeña diamantada en el extremo y hueca, se alimenta con agua para evitar fricción y para eliminar el residuo por corte y lubricación. En el lugar (in situ) con la utilización de una brújula solar se procede a tomar datos de orientación y asignar clasificación, el utilizar una brújula solar es por el contenido mineral que alteraría los datos tomados con una brújula magnética (datos no confiables), esta consideración se aplicó para todas las muestras tomadas. Algunos de los lugares a los alrededores fueron sugeridos por la compañía minera.

Los procesos de laboratorio tienen como objetivo principal el examinar la estabilidad del magnetismo de la roca e intentar aislar las distintas componentes de magnetización presentes. En laboratorio se procedió a la clasificación y descripción morfológica de los núcleos extraídos, posteriormente se procede a marcar para corte de cilindros de 2.5 cm de diámetro por una altura de 2.2 cm (para cada núcleo), estos núcleos se orientan con respecto al norte y a la vertical antes de separarlos en el afloramiento.

- El primer dato obtenido fue calcular la densidad de los núcleos.
- Un segundo paso consistió en obtener su susceptibilidad magnética con un Bartington Modelo MS2.
- El tercer paso consistió en tomar muestras piloto de cada sitio por duplicado, para efectuar proceso de desmagnetización progresiva por campos alternos y temperatura. En base a los resultados obtenidos se seleccionó aplicar desmagnetización por temperatura a todas las muestras (por tener coercitividad de hematita). Se usó un horno no-magnético

para calentar las muestras a una temperatura predeterminada y entonces se enfrían, hasta la temperatura ambiente en un espacio libre de campo magnético y así sucesivamente. El magnetómetro Molspin se usó para realizar las mediciones. En estos aparatos se miden tres componentes ortogonales secuencialmente, y estas son procesadas por un programa adaptado a la computadora para dar la dirección e intensidad del magnetismo remanente del espécimen.

- Un cuarto paso consistió en seleccionar muestras milimétricas para realizar ciclos de histéresis en un Micromagnetómetro.
- Se tomaron datos de susceptibilidad a bajas temperaturas con la utilización de (oxígeno) líquido y un equipo Bartington, adaptado a una computadora y mediante un programa se monitorea la susceptibilidad.
- Finalmente el sexto paso consistió en obtener, parámetros estadísticos, para describir la confiabilidad de los datos paleomagnéticos, representada por la dispersión de los vectores de magnetización de una unidad particular de la roca, considerando al ángulo $95\% = \alpha 95$, el parámetro de precisión de Fisher "K", y la desviación estándar circular, $\theta 63$, Los datos se pueden apreciar en la tabla 2, representando estos una buena confiabilidad.

TABLA 2. ANÁLISIS DE FISHER, ESTADÍSTICA DE DATOS DIRECCIONALES EN CERRO DE MERCADO.

SITIO DE MUESTREO	AZIMUT	RADIAL	NÚMERO DE MUESTRAS (n)	RESULTANTE (R)	PRECISIÓN (K)	ÁNGULO ALFA (α) = $a95$
CMBO	179.2°	-14.6°	3	2.96810	62.7	15.7°
CMB	151.6°	31.1°	3	2.90222	20.5	28.0°
CMBC	166.4°	-18.8°	4	3.96299	81.1	10.3°
CMF	338.1°	45.2°	4	3.38621	4.9	46.4°
CMSC	207.8°	-13.0°	5	4.70218	13.4	21.7°
CMP	256.5°	-58.3°	3	2.88410	17.3	30.6°
CMM	143.5°	-42.5°	4	3.75178	12.1	27.6°
CME	152.3°	-14.2°	13	11.99115	1242.8	1.2°
CMI	186.6°	-64.5°	3	2.92553	26.9	24.3°
CMG	359.9°	-4.9	5	5.282	6.963	27.3°
CMMC	254.9°	-56.0°	4	3.96746	92.2	9.6°
CMSO	129.9°	-65.7°	5	4.81240	21.3	17.0°
CHU	162.4°	-15.1°	5	4.94933	78.9	8.7°

CAPÍTULO IV: CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA.

IV.1. Número de oxidación.

El número de oxidación promedio, es una determinación modal de los óxidos asociados o reunidos presentes en una muestra, para poder realizar este cálculo se requiere que la muestra contenga entre 5% y 10% de óxidos. En algunas rocas es posible obtenerlo con un 5%, incrementando el número de muestras analizadas (entre 12 y 22 campos), donde el número de granos, dependerán del tamaño de estos.

El número de oxidación promedio de titanomagnetita e ilmenita es determinado por el porcentaje de granos, con respectivos estados de oxidación. El valor es expresado como MC para titanomagnetita, o como MR para ilmenita, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$MC = [(C1 n1)+(C2 n2)+(C3 n3)+...+(C7 n7)] / [n1 + n2 + n3 +...n7]$$

Donde MC y MR = número de oxidación promedio.

C1 a C7 = estados de oxidación en titanomagnetitas.

R1 a R7 = estados de oxidación en ilmenitas.

n1 a n7 = % de granos en cada clase de oxidación.

La clasificación de Haggerty, (1976) permite asignar un número de oxidación, el cual corresponde al grado de oxidación presente en las muestras y fase mineral predominante, que funciona en base a la apreciación visual de las relaciones texturales de los óxidos involucrados. Para las series de titanomagnetita (C1 a C7, cúbicas) e ilmenita (R1 a R7, romboédricas), estos detalles texturales se aprecian en la figura 9 y tabla 3.

La oxidación es influenciada en primer lugar por los controles de oxidación durante la cristalización primaria, y la composición de los miembros en cada serie (solución sólida); y en segundo lugar por el control de la oxidación deutérica, cuando el grado de orden primario es modificado más allá del límite de la composición inicial definida por la oxidación de cristalización. Magmas con valores bajos de fO_2 (fugacidad de O_2), son ricos en las serie titanohematita, ulvospinel, y miembros de solución sólida sobre cristalización primaria, mientras el extremo de alta fO_2 tiende a enriquecerse en serie de pseudobrookita y hematita.

**TABLA 3. CORRESPONDIENTE AL NÚMERO DE OXIDACIÓN
MUESTRAS DE CERRO DE MERCADO, (SUPERFICIES PULIDAS),
DURANGO, MÉXICO.**

CLAVE DE LA MUESTRA	PORCENTAJE DE ÓXIDOS EN LA MUESTRA	GRADO DE OXIDACIÓN (C1,...,C7 Y R1,...,R7).	NÚMERO DE OXIDACIÓN (MC) $MC = \frac{(n1 \cdot c1) + (n2 \cdot c2) + \dots + (n7 \cdot c7)}{(n1 + n2 + \dots + n7)}$.
CMBO-1E	90%	C3, C2	C2=40, C3=60 MC=80+180/100=2.6
CMBO-3E	75%	C2, C3	C2=70, C3=30 MC=140+90/100=2.30
CMB-4E	40%	C2, C3	C2=65, C3=35 MC=130+105/100=2.35
CMBC-2I	90%	C2, C3	C2=60, C3=40 MC=120+120/100=2.4
CMBC-5E	20%	C2, C3	C2=70, C3=30 MC=140+90/100=2.3
CMF-2I	85%	C2, C3	C2=35, C3=65 MC=70+195/100=2.65
CMSC-6I	80%	C2, C3	C2=70, C3=30 MC=140+90/100=2.3
CMP-4I	90%	C2, C3	C2=65, C3=35 MC=130+105/100=2.35
CMM-5E	60%	C2, C3	C2=80, C3=20 MC=160+60/100=2.2
CME-3E	06%	C2, C3	C2=20, C3=80 MC=40+240/100=2.8
CMI-3I	06%	C2, C3	C2=80, C3=20 MC=160+60/100=2.2
CMG-11E	40%	C1	C1=100 MC=100/100=1
CMG-1I	50%	C1	C1=100 MC=100/100=1
CMMC-3I	60%	C2, C3	C2=95, C3=05 MC=190+15/100=2.05
CMSO-1E	05%	C2	C2=100 MC=100/100=1
CHU-1E	05%	C2	C2=100 MC=100/100=1

NÚMERO DE OXIDACIÓN PROMEDIO DE LAS CATORCE MUESTRAS MC = 2.32

Los efectos de oxidación deutérica pueden dividirse en tres clases, relacionado con el grado de oxidación:

- **En oxidación catiónica:** cuando un pequeño porcentaje de Fe^{2+} que es transformado a Fe^{3+} en cada reacción, ocasiona una salida ligera desde la solución sólida estequiométrica ideal, provocando la formación de nuevas fases..
- **Exolución oxidación:** describe mejor el desarrollo de cristalografía orientada, por lo tanto tiene una respuesta magnética profunda en susceptibilidad, coercitividad e intensidad de magnetización.
- **Oxidación pseudomórfica:** la clase final referida a la oxidación, es el proceso cuando la mineralogía primaria es pseudomorfoseada por una asociación de óxidos superiores cuando son en mayoría antiferromagnéticos o paramagnéticos (Haggerty, 1976).

IV.2. Análisis minerográfico y petrográfico.

A continuación se presentan las tablas 5, 6 y análisis minerográfico, donde se resume la información obtenida en estos análisis. Las tablas facilitan la comparación entre los diversos sitios de muestreo, para mayor detalle ver apéndices.

◦ **Análisis minerográfico.**

MINERALOGÍA: Resumen del estudio minerográfico representativo para muestras de Cerro de Mercado.

Mineral	Características
Magnetita	Forma parte del mosaico mineral y corresponde al mineral hipogénico de Fe que se formó, ahora queda restringido por un reemplazamiento parcial de martita, hematita y goethita-limonita, con lamelas de martita y hematita (variedad especularita, maghemita y martita), presentando textura trellis, lamelar, sandwich y martización.
Martita (variedad de hematita)	Se encuentra como un reemplazamiento parcial de magnetita, presente en texturas lamelar, martización, trellis y masivo (hematita).
Maghemita	Es escasa y se encuentra formando parte del reemplazamiento parcial de magnetita, quedando en zonas restringidas como bordes y fracturas, asociado a goethita-limonita.
Goethita-limonita	Como producto de alteración de óxidos de Fe, asociado a la hematita, se encuentra en bordes de fracturas esencialmente, como agregados y diseminados en mineral transparente, presenta textura, bandeada y coliforme, se asocia a mineral transparente.
Pirita	Escasos cristales anhedrales diseminados en material transparente, presentan una incipiente alteración en bordes a hematita.
Mineral transparente	Corresponde a cuarzo anhedral y cristales euhedrales a subhedrales de apatita, estos con secciones hexagonales, tabulares con terminación piramidal. Algunos como producto de vetillas secundarias y algunos diseminados en óxidos de Fe.

**CUADRO PARAGENÉTICO
REPRESENTATIVO DE LAS MUESTRAS ANALIZADAS**

<i>Minerales</i>	<i>Etapa I</i>	<i>Etapa II</i>	<i>Etapa III</i>
Magnetita	-----		
Martita		-----	
Maghemita		-----	-----
Goethita-Limonita			-----
Pirita	----		
Mineral transparente	-----	-----	-----

• Análisis petrográfico.

TABLA 4. CLASIFICACIÓN PETROLÓGICA DE LAS ROCAS POR SU MORFOLOGÍA, COMPOSICIÓN MINERAL Y NOMENCLATURA EN MINA.

NÚMERO DE SITIOS	CLAVE MUESTRA	CLASIFICACIÓN DE MUESTRA CORRESPONDIENDO A LA UBICACIÓN EN MINA	CLASIFICACIÓN DE MUESTRA POR CONTENIDO MINERAL
1.	CMBO-2I	BRECHA ORIENTE	ZONA DE BRECHA MINERALIZADA RICA EN Fe, PRESENTANDO ALTERACIÓN: I, II, III, V.
2.	CMB-2E	BRECHA	ZONA DE BRECHA CON MINERALIZACIÓN DE Fe, CON ALTERACIÓN: IV, V.
3.	CMBC-4E	BRECHA CONEJOS	ZONA DE BRECHA ASOCIADA A UN SKARN, II, V.
4.	CMF-2E	FIERRO MASIVO	ZONA DE MINERALIZACIÓN DE Fe MASIVO AFECTADO POR VETILLAS DE CUARZO Y APATITA.
5.	CMSC-3E	SKARN CONEJOS	ZONA DE SKARN CON MINERALIZACIÓN DE Fe, IV, V.
6.	CMP-4I	MINERAL PIRUL	ZONA DE MINERALIZACIÓN MASIVA DE Fe.
7.	CMM-2I	MINERAL	ZONA DE MINERALIZACIÓN MASIVA DE Fe.
8.	CME-3I	ROCA ÍGNEA EXTRUSIVA	TOBA VÍTREA DE COMPOSICIÓN RIOLÍTICA PARCIALMENTE DEVITRIFICADA.
9.	CMI-1E	ROCA ÍGNEA INTRUSIVA	(LATITA Y/O CUARZO-LATITA) AFECTADO POR I, IV, CON REMOVILIZACIÓN DE MINERALES OPACOS Y UNA DEVITRIFICACIÓN PARCIAL, V?.
10.	CMG-4I *	GARABITOS	ZONA QUE PRESENTA UNA II, CON UNA POSTERIOR OXIDACIÓN Y DEVITRIFICACIÓN.
11.	CMG-10E *	GARABITOS	CORRESPONDE A UNA ZONA DE HIDROTHERMALISMO DE BAJA TEMPERATURA, CON REMOVILIZACIÓN DE Fe.
12.	CMMC-4I	MINERAL CONEJOS	ZONA DE MINERALIZACIÓN MASIVA EN Fe.
13.	CMSO-2E	SKARN ORIENTE	ZONA CON ALTERACIÓN: II, IV, V.
14.	CHU-2I *	TOBA CHUPADEROS	TOBA VITREA DE COMPOSICIÓN RIOLÍTICA PARCIALMENTE DEVITRIFICADA.

LA ALTERACIÓN: I(SERICITIZACIÓN), II(SILICIFICACIÓN), III(ARGILITIZACIÓN), IV(CARBONATACIÓN), V (PIROXENIZACIÓN, EPIDOTIZACIÓN).

* CORRESPONDEN A MUESTRAS UBICADAS FUERA DE LA MINA (FUERA DEL DENUNCIO).

**TABLA 5. PETROGRAFÍA DE CERRO DE MERCADO (FASE MINERAL).
DATOS RESUMIDOS DEL APÉNDICE PETROGRÁFICO.**

FASE MINERAL	PLAGIOCLASA (OLIG.-ANB.)	FELDSPATO K (ORT.-SANDINO)	PIROXENO (DIÓP.-HEDEN.)	HORNBLENDA	CUARZO	APATITA	ÓXIDOS DE Fe.	HIDRÓXIDOS DE Fe.	MINERALES OPACOS (PIRITA).	CALCITA	YESO	FRAGMENTOS DE ROCA (RIOLÍTICA)	ESFERULITAS	ZIRCÓN
MUESTRA														
CMBO-2I	X	X	X	X	X	X	X	X	X					
CMB-2E	X		X			X	X	X	X					
CMBC-4E			X		X		X	X	X					
CMF-2E					X	X	X	X	X					
CMSC-3E			X		X	X	X	X		X				
CMP-4I					X	X	X	X		X				
CMM-2I			X		X		X	X	X	X				
CME-3I	X	X		X	X	X	X	X	X			X	X	
CMI-1E	X		X		X	X	X	X	X					
CMG-4I	X				X		X	X	X					
CMG-10E					X		X	X	X	X	X			
CMMC-4I					X	X	X	X	X					
CMSO-2E			X		X		X	X	X	X				X
CHU-2I	X	X			X	X	X	X	X				X	

IV.3. Comentarios de la mineralogía.

A continuación se realiza una descripción de las facies minerales representativas del yacimiento y características que son determinantes para su interpretación y correlación.

ÓXIDOS DE HIERRO: Sin duda las fases minerales presentes han sido interesantes por las relaciones texturales y diversidad de los óxidos, como lo podemos apreciar en las fotomicrografías, los minerales descritos son: magnetita como mineral hipogénico, que fue reemplazado por hematita, martita, especularita y maghemita, ver apéndice minerográfico, figura 10 y tabla 6, donde se describen fases de óxidos minerales y características de estos.

HIDRÓXIDOS DE HIERRO: Presente como fase terminal de un proceso supergénico la goethita-limonita, en reemplazamiento y alteración de los óxidos de Fe.

A continuación se presenta el diagrama ternario FeO-TiO₂-Fe₂O₃, (figura 10), para observar la distribución de las distintas fases minerales y series que componen, donde la composición juega un papel importante en las soluciones sólidas y la tabla 6 con algunas de las características de los óxidos involucrados en el diagrama.

Sistema Ternario FeO-TiO₂-Fe₂O₃, y tabla 6 con algunas de las características de los óxidos involucrados en este diagrama ternario.

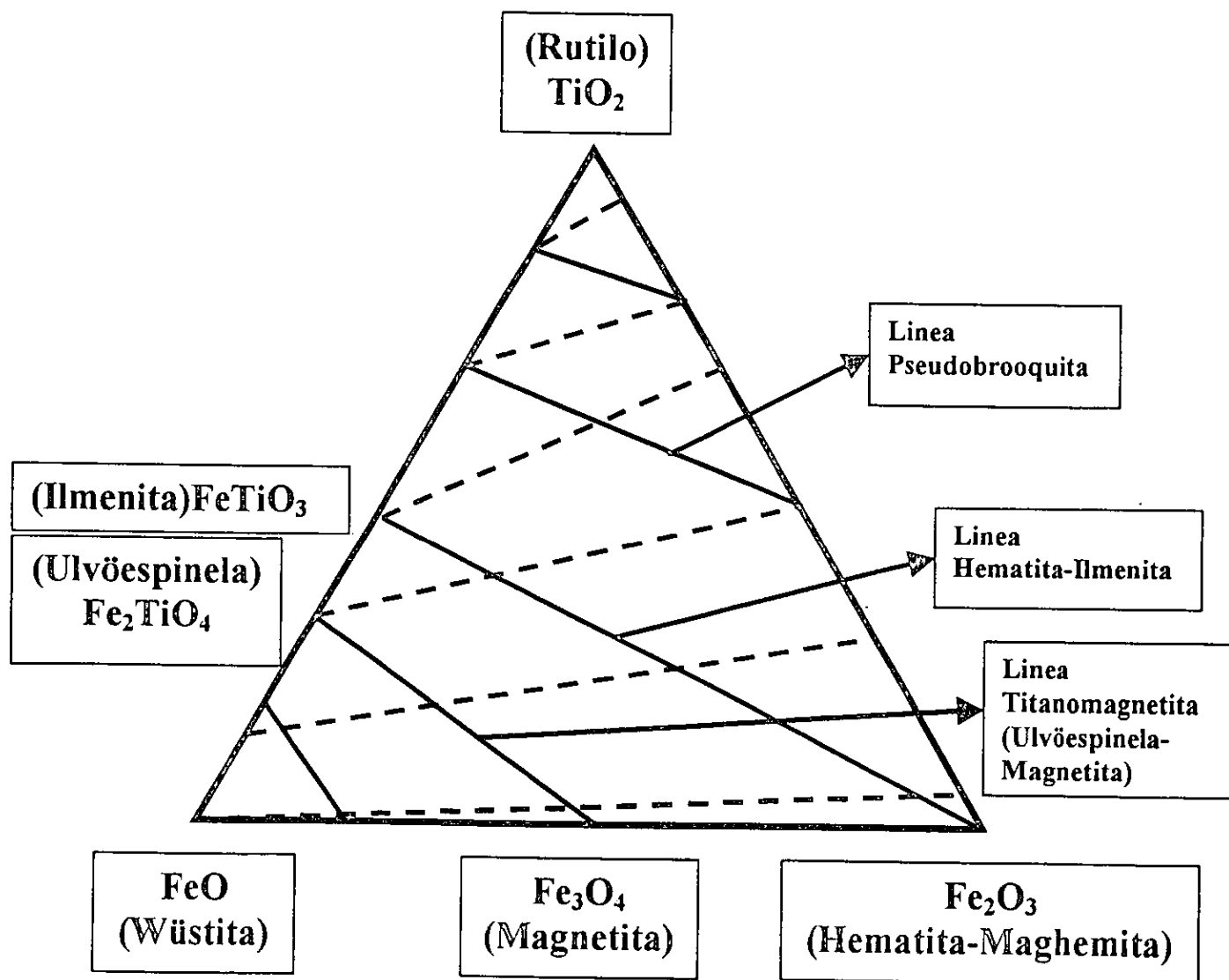


Figura 10. Sistema ternario de composición química FeO-TiO₂-Fe₂O₃, las líneas punteadas muestran direcciones a lo largo de las cuales se manifiestan los procesos de oxidación (Tomado De Valencio, 1980; Hurlburt, 1997).

TABLA 6. DESCRIBE CARACTERÍSTICAS DE LOS MINERALES PRESENTES EN EL DIAGRAMA TERNARIO DE LA FIGURA 10.

MINERAL	SISTEMA	COMPOSICIÓN	IMPLICACIONES GEOLÓGICAS
◦ RUTILO	Tetragonal	TiO ₂	Indicador de alta fugacidad, indicador de alta temperatura, asociado a complejos anortosíticos.
• MAGNETITA	Isométrico	Fe ₃ O ₄	Segregación magmática, asociado a apatita, yacimiento tipo Kiruna y Gellivare (Suecia). Diseminada como mineral accesorio en rocas ígneas. En segregación magmática como constituyente principal. En yacimientos de placer.
• ILMENITA	Hexagonal	FeTiO ₃	En nelsonitas y complejos anortosíticos. Accesorio en rocas ígneas.
• HEMATITA	Hexagonal	αFe ₂ O ₃	En todos los ambientes.
• ESPECULARITA	Monoclínico	Fe ₂ O ₃	Variación de la hematita: cuando la hematita presenta hábito micáceo y hojoso.
• MAGHEMITA		γFe ₂ O ₃	Como un isotrópico polimorfo de hematita, siempre metaestable con respecto a esta. Característica distinguible es su composición combinada con remanencia y alta susceptibilidad magnética.
• MARTITA		Fe ₂ O ₃	Denominada por una pseudomorfosis octaédrica de magnetita. Usualmente terroso.
• PSEUDOBROOQUITA		Fe ₂ TiO ₅	Rocas ígneas, kimberlitas y en basaltos con impactos de meteoritos.
• ULVÖESPINELA	Isométrico	Fe ₂ TiO ₄	Desmezcla en magnetita.
• WÜSTITA		Fe _{1-x} O	

Datos de (Comunicación personal Ortega-Gutiérrez, 1999; Hurlburt, 1996; Lindsley, 1976; Butler, 1992).

PIROXENO: Leslie (1975), reporta la geoquímica de tres muestras diferentes de piroxenos y los clasifica de la siguiente manera: dos corresponden a silita y uno como augita, mediante un diagrama ternario para piroxenos, considerando sus vértices: Ca, Mg y Fe₂-Mn.

En base a las propiedades ópticas de los clinopiroxenos se pueden clasificar como pertenecientes a la serie diópsido-hedenbergita, en ocasiones el piroxeno muestra un pleocroísmo marcado o fuerte (de verde claro a intenso), lo cual permite clasificarlo como una augita y posiblemente hasta una ferroaugita. Sin embargo es recomendable hacer un análisis por microsonda electrónica para caracterizar adecuadamente a estos minerales.

Las formulas de estas fases minerales, nos permiten clasificarlos dentro de los piroxenos cálcicos, y son las siguientes:

- Diópsido: $\text{CaMg Si}_2\text{O}_6$
- Hedenbergita: $\text{CaFe}^{2+}\text{Si}_2\text{O}_6$
- Augita: $(\text{Ca}, \text{R}^{2+})(\text{R}^{2+}, \text{R}^{3+}, \text{Ti}^{4+})(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_6$

Donde; $\text{R}^{2+} = \text{Mn}^{2+}, \text{Fe}^{2+}, \text{Mg}$, y $\text{R}^{3+} = \text{Fe}^{3+}, \text{Cr}^{3+}, \text{Al}$. (Cameron and Papike, 1982). Se puede ver que la aceptación de diferentes elementos (iones), dentro de la formula química de la augita puede ser compleja, por lo que se requiere de estudios más detallados para obtener la composición precisa del mineral.

La figura 11 que se presenta a continuación corresponde a un diagrama ternario para la clasificación de piroxenos, siendo la zona sombreada, lugar donde se encuentran los piroxenos analizados y que han sido reportados en trabajos citados.

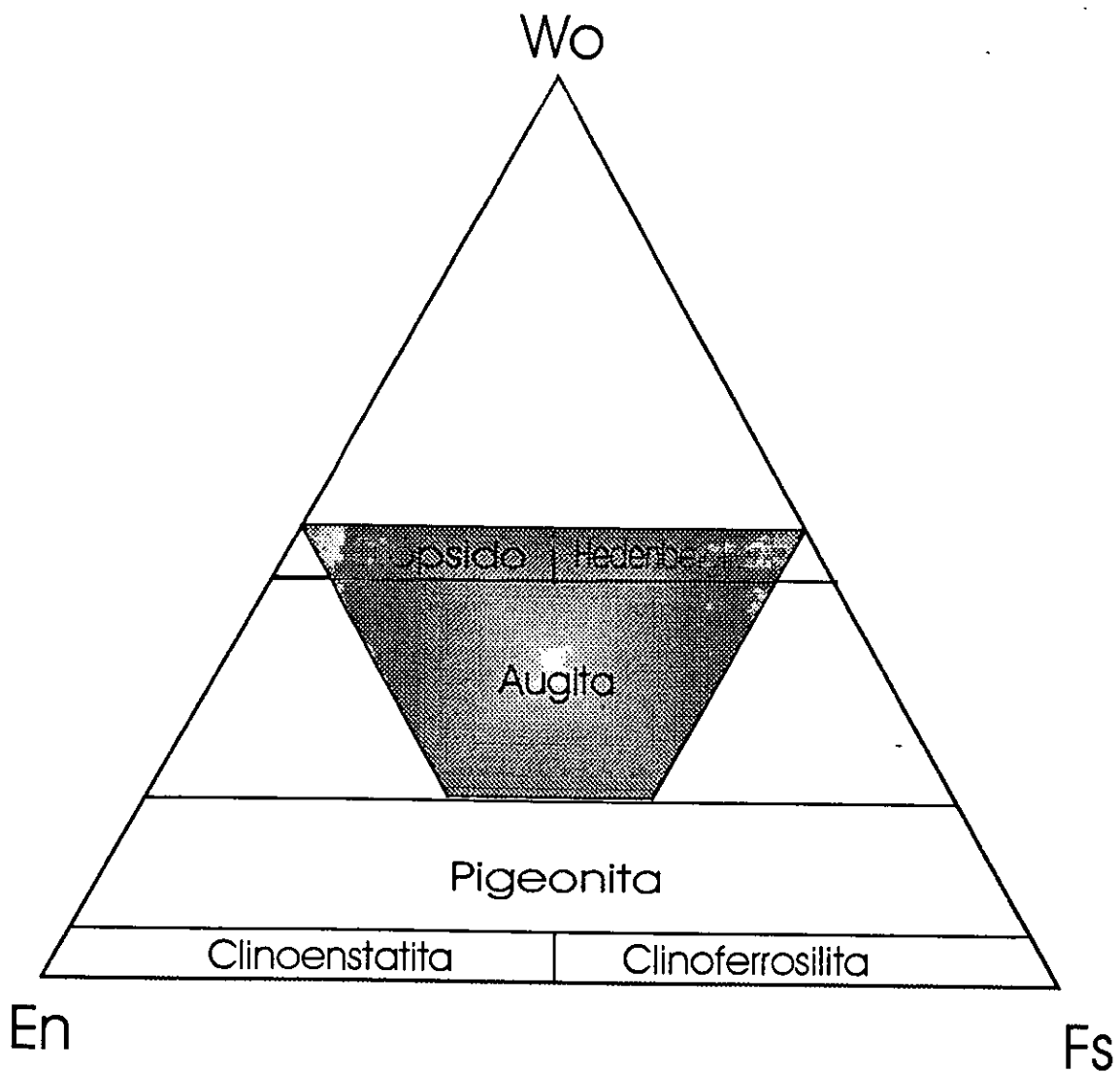


Figura 11. En donde se aprecia el campo predominante de los piroxenos, entre diópsido-hedenbergita y augita, en este diagrama ternario los vértices corresponden a fases minerales donde los valores cuantificados son, Ca, Mg, Mn y Fe.

APATITA: Este mineral resulta ser una fase mineral de relevancia, no sólo por los magníficos cristales que se pueden encontrar prácticamente en todo el yacimiento, sino por sus implicaciones petrogenéticas y por ser el principal mineral de ganga, lo que representa un problema en el beneficio del Fe.

La Apatita es genéricamente el nombre de un grupo de especies minerales que contienen fosfato de calcio, dependiendo de su composición puede ser expresada de forma general por la fórmula $\text{Ca}_5(\text{XO}_4)_3(\text{F,Cl,OH})_3$, donde (XO_4) puede ser ocupado por (PO_4) y (CO_3) . Se designa que en las especies del grupo del Apatita, por la predominancia del anión Cl, F y (OH), puede contener Ar, V, (Dunn, 1977), también puede contener SO_4 , SiO_2 , Sr, Mn, Ce, tierras raras, U, Th, (Arem, 1997-1998), dando la siguiente clasificación:

- Fluorapatita $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$
- Hydroxiapatita $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$
- Clorapatita $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$
- Carbonato-apatita o Francolita $\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4,\text{CO}_3\text{OH})_3$

La apatita del Cerro de Mercado es de color amarillo, y se puede mencionar que dentro de la variedad de colores que presenta este mineral el amarillo es escaso (Durango, México; Murcia, España; así como en localidades de Canadá, Brasil, Japón, Zimbabwe, Tanzania). Con importancia gemológica sobresale la apatita de Cerro de Mercado no solo por su diafanidad, belleza y perfección de los cristales (colección), sino por la abundancia y tamaño de los ejemplares. Arem (1997-1998), indica que los colores azul y amarillo en apatitas, se debe al contenido de tierras raras (praseodimio y neodimio), para el caso de las apatitas de Cerro del Mercado se comprueba la presencia de estos elementos con la información obtenida por Infrarrojo y Microsonda Electrónica de Barrido realizado por Ostroumov (1999).

CLASIFICACIÓN DE MUESTRAS DE APATITA, PROCEDENTES DE CERRO DE MERCADO

TIPO	LOCALIDAD	COLOR	REPORTADO
HIDROXIAPATITA	MÉXICO	AMARILLO	AREM, 1997-1998.
FLUORAPATITA	MÉXICO	AMARILLO	YOUNG, 1969, in DUNN, 1977.
FLUORAPATITA	MÉXICO	AMARILLO-VERDE	LESLIE, 1975.
FLUORAPATITA	MÉXICO	AMARILLO-VERDE	LYONS, 1988.
FLUORAPATITA	MÉXICO	AMARILLO	OSTROUMOV, 1999.

Dr. Mikhail Ostroumov (Universidad Michoacána), realizó análisis por Espectrometría de Infrarrojo y Microsonda Electrónica obteniendo los siguientes datos:

- Infrarrojo : Nd^{3+} con 17250 cm^{-1} (580 ver pico en espectro), y 13350 cm^{-1} (750 ver pico en espectro), dos vectores de transición en las regiones verde y rojo, f-f-transición, $^4I_{g/2} \rightarrow ^2G_{7/2}$ y $^4I_{g/2} \rightarrow ^2F_{7/2}$, ver espectro (comunicación personal Ostroumov, 1999), para el Nd posiciones características son: 528, 531, 569, **573**, **578**, **585**, 589, 594, **750**, ver figura 12.

Con la utilización de Microsonda Electrónica de Barrido (MEB): la composición de elementos traza en las apatitas fue la siguiente:

$\text{SiO}_2 = 0.73\%$

$\text{FeO} = 0.05\%$

$\text{SrO} = 0.05\%$

$\text{BaO} = 0.04\%$

$\text{MnO} = 0.03\%$

$\text{F} = 3.49 \%$

$\text{Cl} = 0.30\%$

$\text{Nd}_2\text{O}_3 = 0.45\%$ (tiene un alto contenido de Nd, $a = 9.386$ amstrong, $c = 6.879$ amstrong, cambox 5X50).

De este modo se puede clasificar como “fluorapatita” con alto contenido de Nd.

Las apatitas del yacimiento El Laco, Chile, son clasificados también como fluorapatitas, presentan una coloración amarilla y llegan a tener

tamaños de centímetros, Vivallo et al., 1997. Sobre sus inclusiones fluidas también presentan similitud, teniendo fases líquida, vapor y cristalina, en algunos cristales las inclusiones se alinean con respecto al eje principal (c), esto también se presenta en Cerro de Mercado, (Broman et al., 1999).

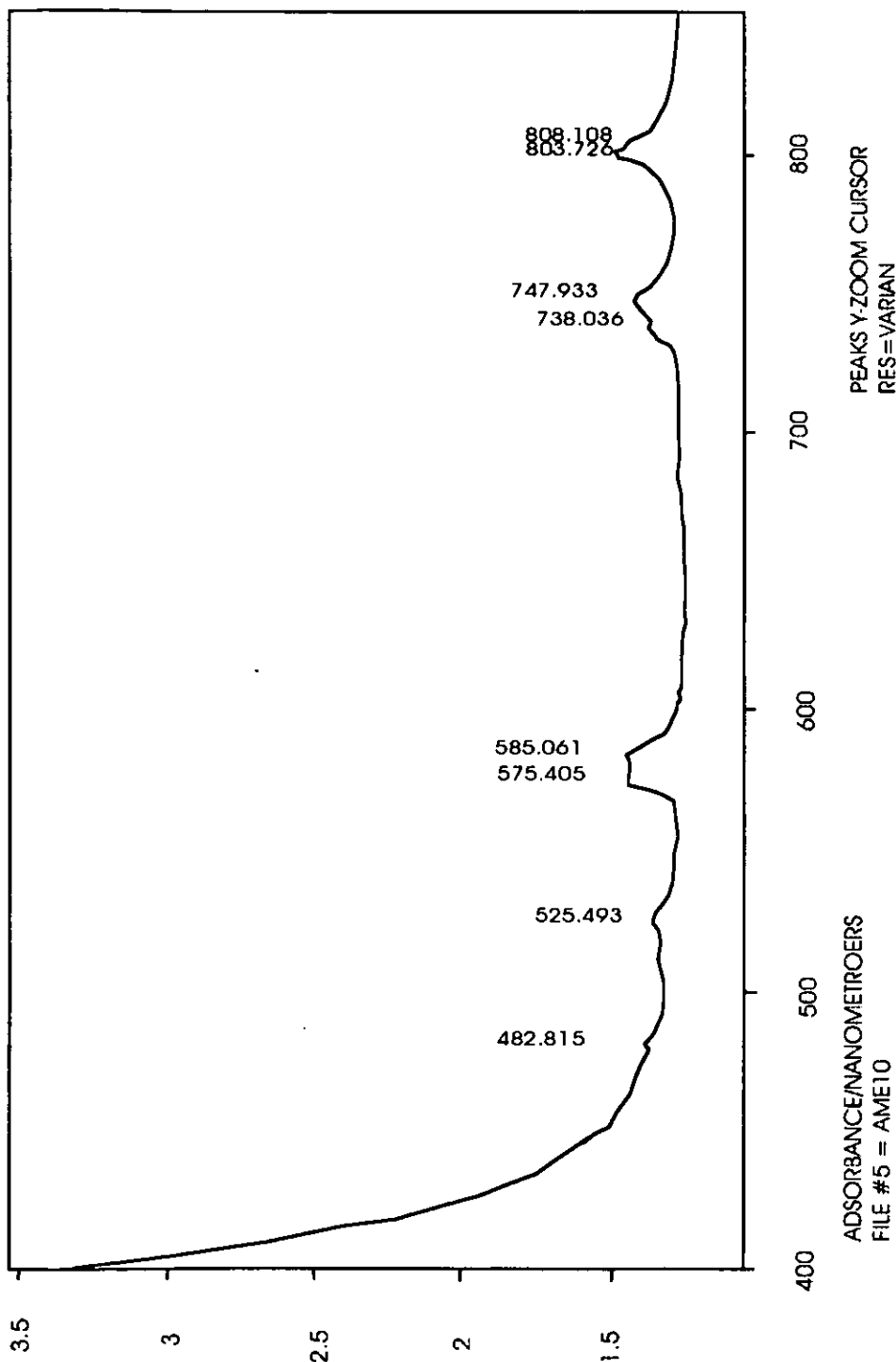


FIGURA 13. MUESTRA UN ESPECTROGRAMA CORRESPONDIENTE A UN CRISTAL DE APATITO DONDE SE PUEDEN APRECIAR LOS PICOS DEL ESPECTRO, REPORTADOS ANTERIORMENTE EN EL TEXTO, SECCIÓN DE INFRARROJO, (COMUNICACIÓN PERSONAL OSTROUMOV, 1999).

Inclusiones Fluídas en cristales de apatita, que se pueden utilizar como geotermómetros, se clasifican como monofásicas y polifásicas, primarias y secundarias. Las inclusiones en abundancia compuestas de una combinación variable de solución acuosa, vapor (burbujas) y cristales hijos. Piroxeno como un cristal hijo (cristal extranjero atrapado) en la inclusión, también inclusiones de magnetita (cristal hijo), otros cristales hijos como: halita, calcita, anhidrita. La temperatura de homogenización baja 75° C y hasta 400° C encontradas, la temperatura de decrepitación es más allá de los 300° C (Leslie, 1975).

La apatita se utiliza como **estándar en Trazas de Fisión** (método de fechamiento por trazas de fisión). La utilización de la apatita del Cerro de Mercado fue por presentar un alto grado de cristalización y pureza, mencionando que se habían realizado dataciones radiométricas por el método de K-Ar McDowel y Keiser, 1977 in Labarthe, 1990, en tobas que cubren (arriba) al miembro Cerro de Mercado (Formación Santuario, 30.3 m.a.) y debajo del Miembro Cerro de Mercado (Formación El Aguila, 30.8 m.a.), lo cual define claramente la edad de la mineralización, concordante con la edad de uno de los pulsos de la Sierra Madre Occidental (32-27 m.a.) mencionado por Aranda et al., 2000, en la evolución tectomagmática de cuencas y sierras. El Método de Trazas de Fisión fue utilizado por Neaser y Fleischer (1975), para encontrar la edad de cristalización de las rocas del área, siendo concordante con las obtenidas por el método de K-Ar, lo cual significa que la apatita del Cerro de Mercado puede ser usada como estándar para fechamientos posteriores por trazas de fisión. La edad que obtuvieron por fechamiento de trazas de fisión (Valero y Treviño, 1990), es de 30.63 ± 4.22 m.a. Esto refleja la concordancia de los datos obtenidos, dando una certeza para la mineralización.

La apatita en la mina Cerro de Mercado corresponde a un mineral de ganga como la pirita y silicatos, el cual debe de extraerse del concentrado de Hierro dado que la norma permisible contempla como máximo el 0.05 % en el concentrado final, debido a que en cantidades mayores ocasiona baja resistencia y fracturamiento en el acero de alto horno.

IV.4. Paragénesis del yacimiento.

CUADRO PARAGENÉTICO REPRESENTATIVO DE LAS MUESTRAS ANALIZADAS

<i>Minerales</i>	<i>Etapa I</i>	<i>Etapa II</i>	<i>Etapa III</i>
Magnetita	-----		
Maghemita		-----	
Hematita (Espeularita y Martita)		-----	-----
Goethita-Limonita			-----
Pirita	----		
Plagioclasa	-----	-----	
Feldespato K	-----	-----	
Piroxeno	-----	-----	-----
Hornblenda	-----		
Cuarzo	-----	-----	-----
Apatita	-----	-----	-----
Calcita		-----	-----
Esferulitas		----	-----
Yeso			-----
Fragmentos de roca		----	-----
Zircón	----		
Sericitización		-----	-----
Carbonatación		-----	-----
Silicificación		-----	-----
Epidotización		-----	-----
Argilitización		-----	-----
Cloritización			-----
Fases minerales reportadas por otros autores, en el yacimiento.			
Topacio			
Sepiolita			
Escapolita			
Actinolita-Tremolita			
Barita			
Para detalles ver apéndices de petrografía y minerografía.			

Nota: con base en análisis petrográficos y minerográficos, se identificaron estas especies minerales y en base a relaciones texturales de óxidos esencialmente se proponen tres etapas paragenéticas, teniendo a la magnetita como mineral hipogénico y a la maghemita, hematita y goethita-limonita como pseudomorfos y como producto de reemplazamiento y alteración.

CAPÍTULO V. CORRELACIÓN DE LOS DATOS DE CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA Y LAS PROPIEDADES MAGNÉTICAS.

En este capítulo se presentan resultados de un estudio mineralógico-paleomagnético, correspondiente a unidades litológicas y mineralización de la mina Cerro de Mercado y sitios fuera de la mina. La relación entre mineralogía y respuesta magnética indudablemente es una manifestación de los datos obtenidos, la cual fue vital para la interpretación y se comentará en los siguientes párrafos:

Referente a los resultados obtenidos de la caracterización minerográfica, muestra que los óxidos magnéticos son abundantes y presentan texturas variables. Los tamaños que presentan estas fases minerales son de micras hasta centímetros (ver detalle en apéndices), esto repercute en el estado magnético de dominio simple a múltiple, siendo esencialmente multidominios de la serie de titano-magnetitas, lo cual indica procesos de enfriamiento lento, oxidación deutérica de alto y bajo grado, que corresponden a magnetita como mineral hipogénico y como fases de reemplazamiento (hematita y variedades de especularita, martita) y como pseudomorfo maghemita, asociados goethita-limonita como etapa final (supergénica), Alva y Cruz, (1998), ver gráfica 1 y 2.

La polaridad para la mayoría de las unidades estudiadas varía de normal a inversa, esto dependiendo del tipo de roca y efectos de alteración sufridos durante su evolución geológica, Alva y Cruz, (1998).

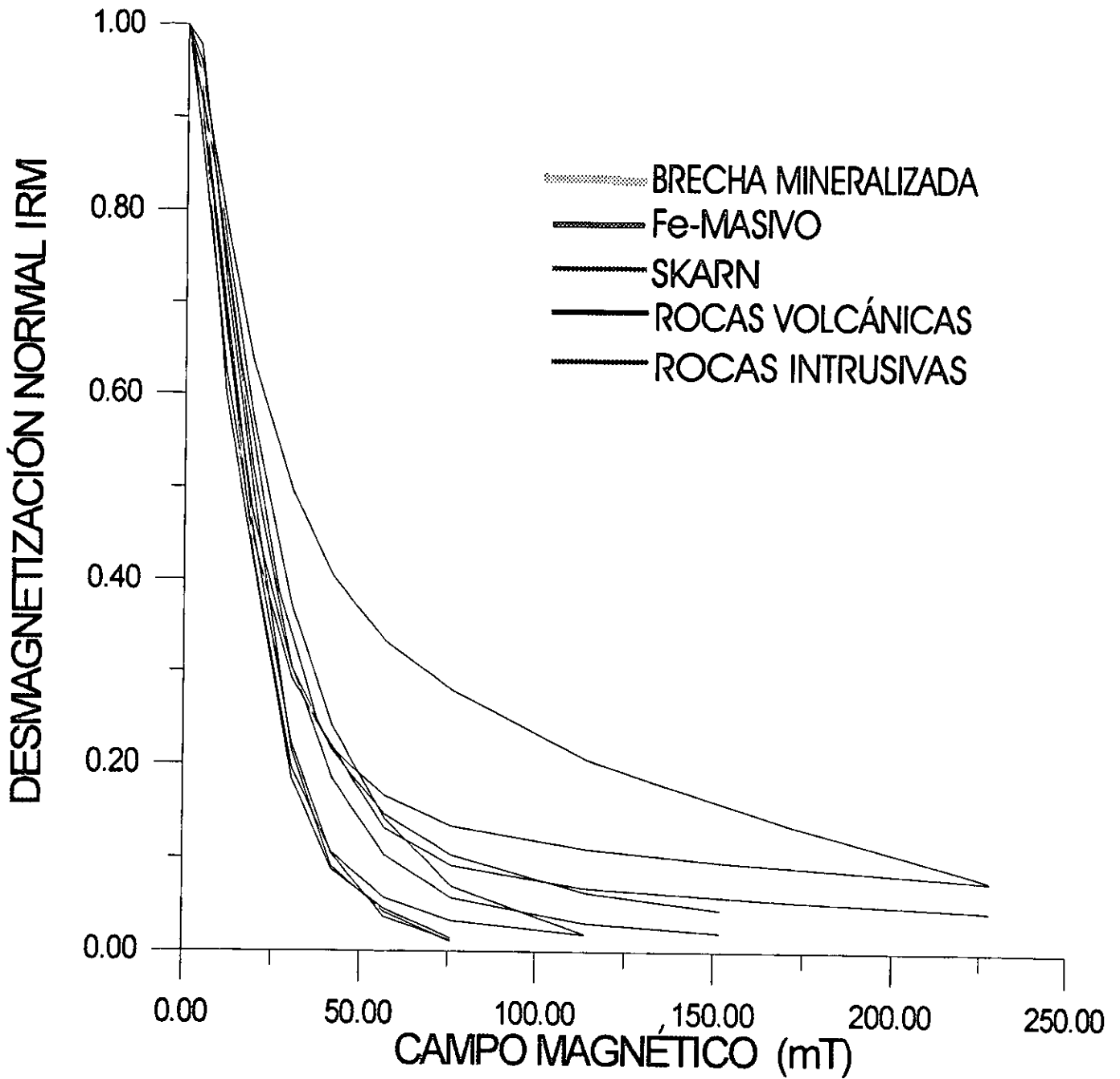
La dispersión angular de las direcciones de magnetización para la mineralización de Fe, es menor que la observada en otras litologías, esto posiblemente porque el evento de mineralización se efectuó en un intervalo de tiempo corto, sin descartar los efectos por procesos supergénicos (oxidación), metamorfismo, metasomatismo y alteración hidrotermal ocurridos en la mineralización o postmineralización, Alva y Cruz, (1998).

La susceptibilidad en el ciclo de histéresis mostrados en la gráfica 3, nos muestra materiales ferromagnéticos blandos (de Fe, esencialmente), esto se aprecia por la estreches del lazo de histéresis y baja magnetización remanente, Serway, (1997), Opdyke et al., 1996. La susceptibilidad en los cuerpos es relativamente baja, quedando dentro del rango reportado por

Valencio, 1980, para granitos tipo I asociados a zonas de subducción (Según clasificación tectónica, mineralógica y química), se pueden asociar a procesos modificadores y a tamaños de partículas antes mencionados, ver gráfica 4 y 5.

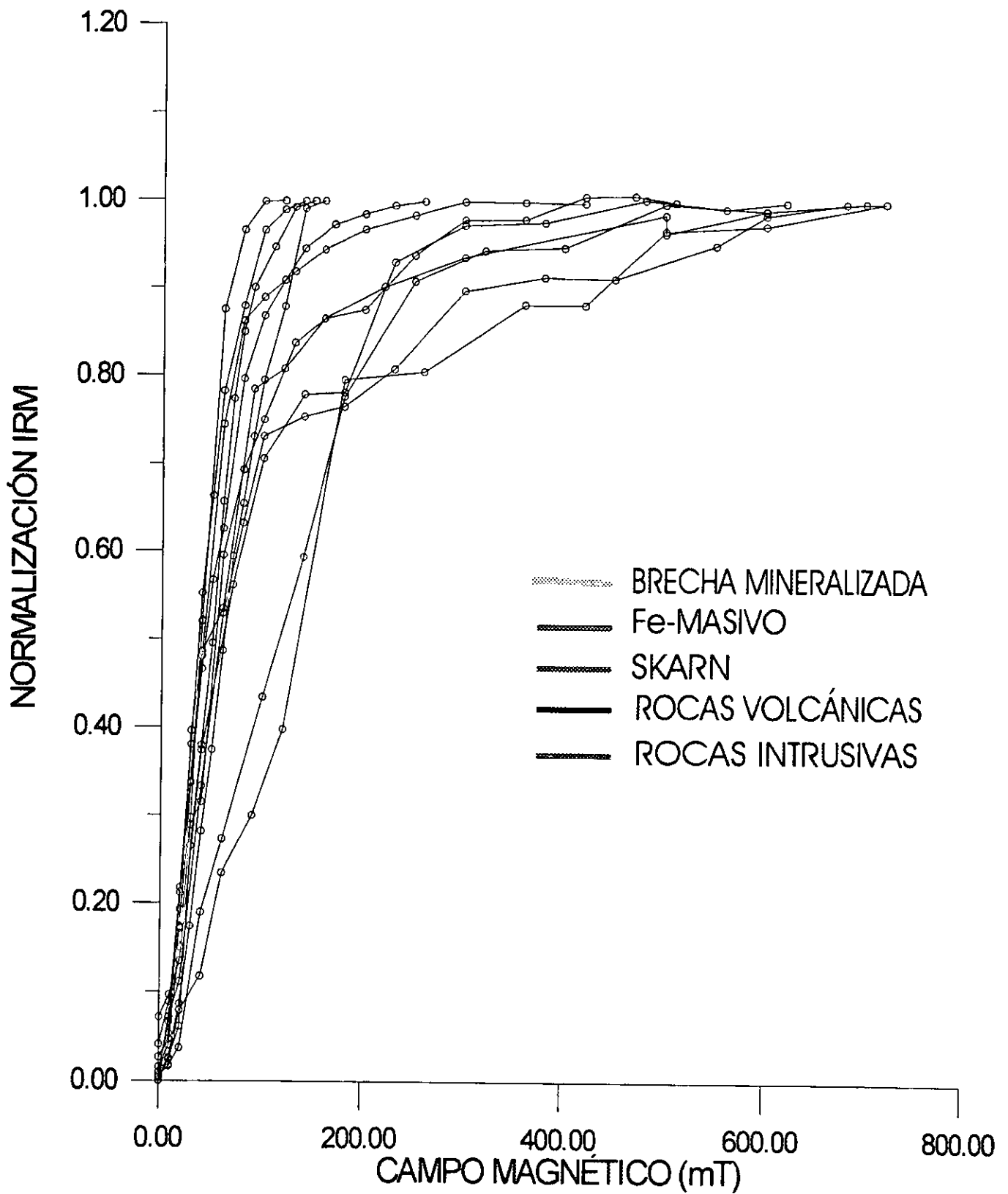
Los resultados paleomagnéticos, que comprenden espectros de desmagnetización térmica, diagramas vectoriales y de adquisición de magnetización remanente isotermal (ver gráfica 6), muestran una correspondencia directa con las observaciones petrográficas y minerográficas. Indicando que la serie de titano-magnetita es predominante, y otras fases minerales poco y no-magnética como hematita y goethita-limonita, comentando que se documentan diversos registros de componentes secundarias asociadas a procesos en donde predomina la alteración hidrotermal, denotada en las texturas minerales apreciadas en microscopia (ver detalle en apéndices), Alva y Cruz, (1998), Butler, (1992).

De esta manera, se llega a la generación de un modelo magnético en donde la magnetización observada e inducida tienen un patrón muy similar, y guardan relación directa con la magnetización remanente. Los datos de la tabla 2 nos muestran el análisis de direcciones Fisher, generando valores promedio de dirección verdadera (Valencio, 1980), esta certeza, aunado a la información magnética generada y aspectos petrogenéticos permiten la generación de un modelo magnético para el yacimiento de Cerro de Merado, el cual corresponde con un cuerpo principal intrusivo, siendo un stock o tronco, generado por un emplazamiento magmático en el Terciario, este emplazamiento se correlaciona con uno de los pulsos (32-27 m.a.) que sufrió la Sierra Madre Occidental (SMO) debido a la evolución tectónica en provincias tectónicas de cuencas y sierras, asociados a fallamiento y subducción, (Aranda et al., 2000), derivado de un arco magmático, mencionando que las manifestaciones externas (fuera de la mina), deben corresponder a otros cuerpos o ser producto de erosión del Cerro de Mercado.



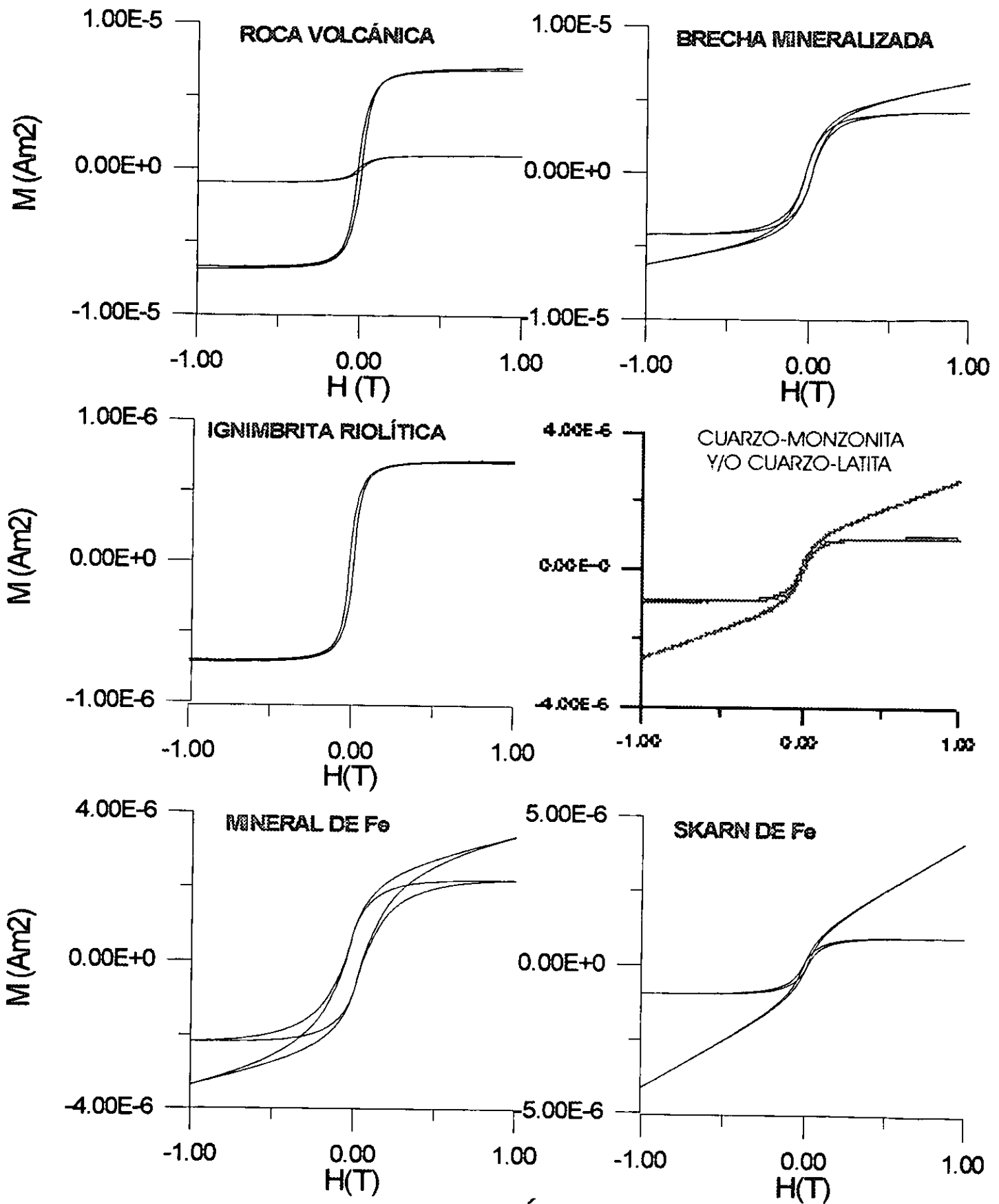
GRÁFICA 1.

Se observa en la gráfica el comportamiento por desmagnetización, para muestras diversas de roca del yacimiento, donde las diferencias son marcadas por las coercitvidades de los óxidos de Fe presentes.



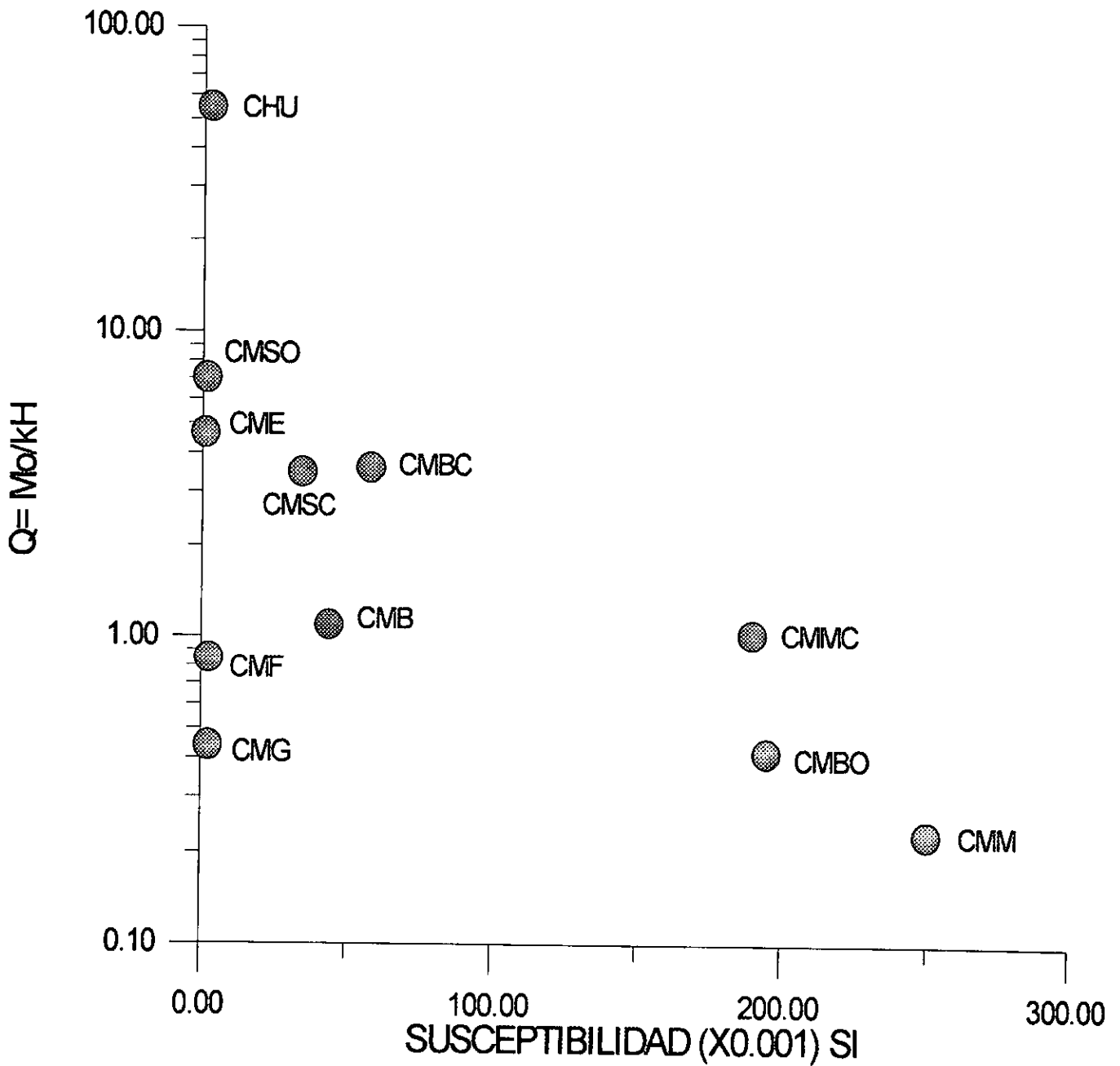
GRÁFICA 2.

La gráfica muestra el comportamiento de diferentes tipos de roca bajo un campo magnético y una magnetización remanente isotermal, con diferentes respuestas en base a la coercitividad de los óxidos presentes.



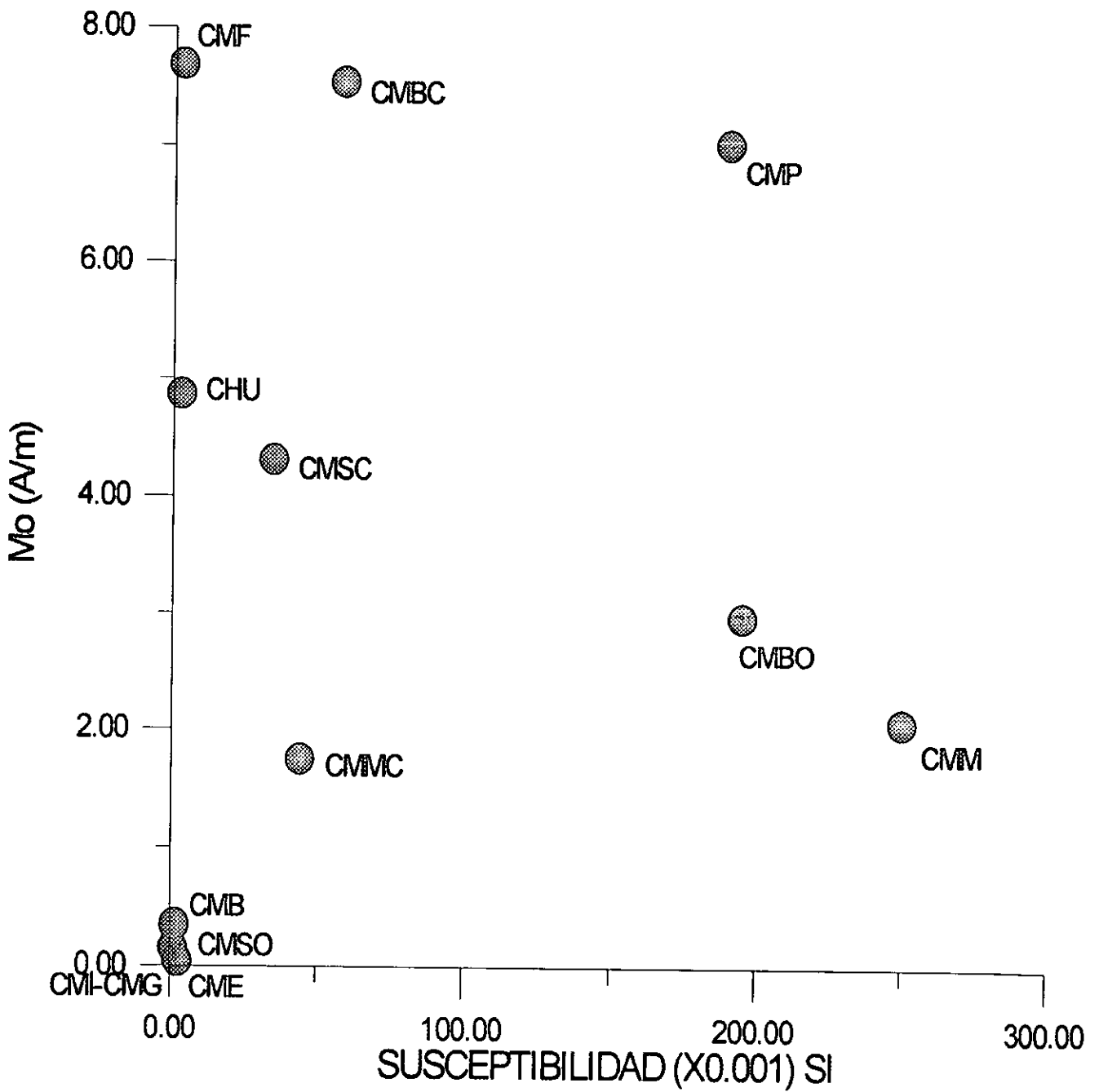
GRÁFICA 3.

Se tienen diferentes gráficas que corresponden a rocas representativas del yacimiento, las cuales tienen comportamientos diferentes en ciclos de histéresis.



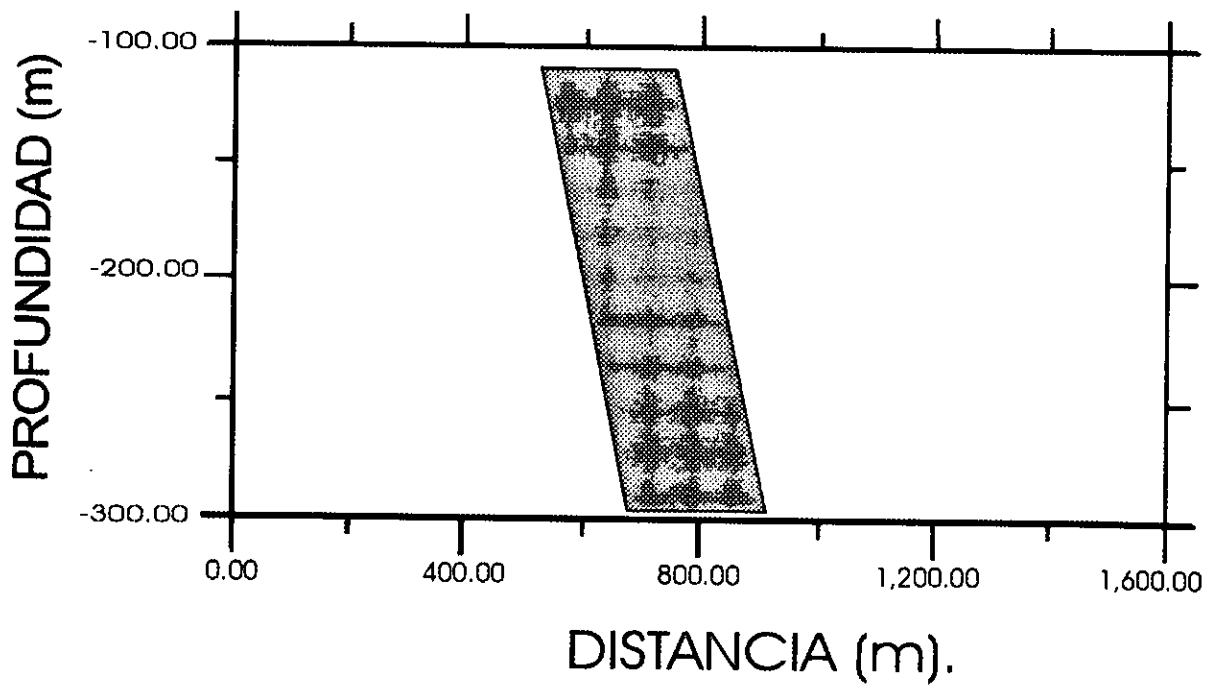
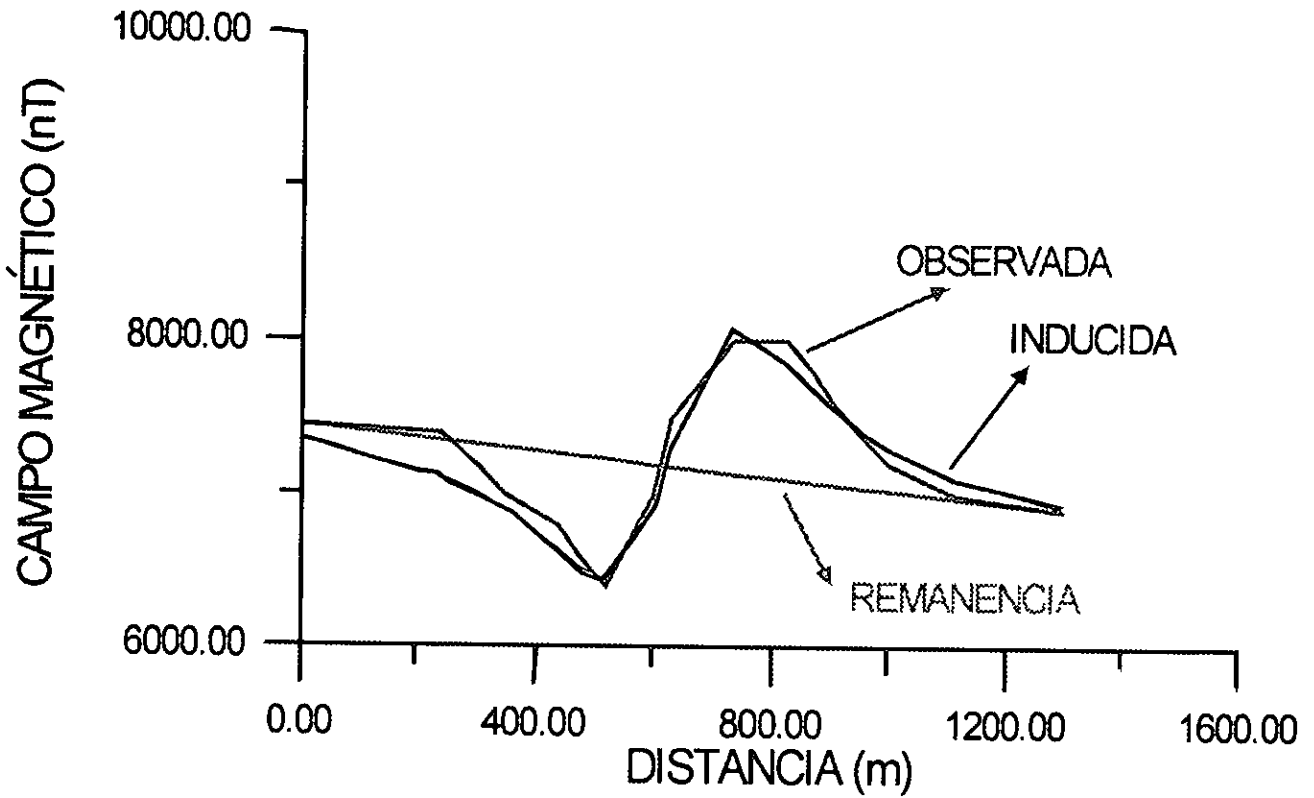
GRÁFICA 4.

En la gráfica se aprecia la distribución de los sitios de muestreo basados en susceptibilidades magnéticas, esto representa multidominios y tendencias a agruparse.



GRÁFICA 5.

Se aprecia una distribución heterogénea de los sitios de muestreo lo cual nos proporciona información sobre multidominios magnéticos de los óxidos de Fe contenidos en estas rocas.



GRÁFICA 6.

En las siguientes gráficas se muestra la generación de un modelo magnético, basado en información magnética obtenida en la realización de este trabajo, siendo el resultado un cuerpo principal que corresponde a un tronco o stock.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- Se logró realizar la caracterización mineralógica y magnética de las fases minerales presentes en el yacimiento, compuestas esencialmente por óxidos e hidróxidos de Fe, correspondiendo a: magnetita como mineral hipogénico, y reemplazando hematita con variedades de especularita y martita, en pseudomorfo de magnetita se presenta la maghemita y en la etapa final de alteración goethita-limonita, otro mineral opaco asociado es la pirita, diseminado y escaso. Otras fases presentes correspondientes a minerales tansluidos son: Plagioclasa (oligoclasa-andesina), piroxenos (diópsido-hedenbergita), feldespato k (sanidino, ortoclasa), hornblenda, cuarzo, apatita, calcita, yeso, zircón, asociados fragmentos de roca (riolita), esferulitas (feldespato k y cristobalita), y las alteraciones presentes: sericitización, carbonatación, silicificación, epidotización, argilitización y cloritización, que afectan a la roca encajonante esencialmente y zonas mineralizadas.
- Se realizó la caracterizaron mineralógica y magnética de muestras externas a la mina Cerro de Mercado, teniendo respuesta similar en mineralogía y relaciones texturales, con variación en la concentración de óxidos de Fe.
- En cuanto a la génesis de los magmas que formaron al yacimiento, se cree que los magmas de la SMO pudieron generarse por fusión parcial de la corteza, opor cristalización fraccionada de magmas provenientes del manto y asimilación simultánea de material cortical (Ruiz et al., 1988; Cameron y Robinson, 1990 in Aranda et al., 2000).
- Con base en los datos obtenidos de magnetización inducida, remanente y observada se generó un modelo magnético del yacimiento, el cual corresponde a un cuerpo tabular que se apega a un stock o tronco originado por un emplazamiento magmático, asociado a un arco magmático que se originó en el Terciario, este emplazamiento se correlaciona con uno de los pulsos (32-27 m.a.) que sufrió la Sierra Madre Occidental (SMO) debido a la evolución tectónica en provincias tectónicas de cuencas y sierras, asociados a fallamiento y subducción, (Aranda et al., 2000). El periodo de mineralización es relativamente corto, datado por métodos radiométricos de K-Ar, por McDowel y

Keiser, 1977, in Labarthe, 1990, en rocas de la Formación Santuario, 30.3 m.a. arriba del miembro Cerro de Mercado y para la Formación El Aguila, 30.8 m.a., debajo del Cerro de Mercado, lo cual define claramente la edad de mineralización comprendida entre estas dos formaciones, que es concordante con la edad de 32-27 m.a. reportada por Aranda et al., 2000, para uno de los pulsos de actividad magmática. Otro método empleado fue el de trazas de fisión por Neaser y Fleischer, (1975), siendo concordante con las obtenidas por K-Ar, posteriormente Valero y Treviño, (1990), realizaron fechamiento por trazas de fisión, obteniendo valores de 30.63 ± 4.22 m.a., considerando a la apatita del Cerro de Mercado como un estándar para fechamientos por trazas de fisión.

- La información generada en este trabajo será integrada a una base de datos para Yacimientos Ferríferos de México con presencia de anomalías magnéticas, para poder correlacionarlo con otros yacimientos de este tipo como se ha realizado en este trabajo con el de Kiruna en Suecia y El Laco en Chile, y poder emplear esta información en la prospección de este tipo de yacimientos.

RECOMENDACIONES:

- Se recomienda realizar trabajo de exploración (barrenación) en sitios fuera del Cerro de Mercado para evaluar el potencial, dado que por la información generada no hay una prolongación del cuerpo (stock o tronco) mineralizante del Cerro de Mercado.
- Realizar barrenación de exploración, para delimitar las dimensiones del cuerpo a profundidad.
- Realizar estudios detallados de las apatitas del Cerro de Mercado, las cuales tienen un interés gemológico y como estándar internacional en fechamiento por trazas de fisión.
- Realizar estudios de geoquímica y microsonda electrónica de barrido a los piroxenos para determinar con precisión la fase mineral, y en roca total o apatitas concentraciones de Sm y Nd para determinar procedencia de los magmas que generaron la mineralización.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- Aguilar A., Grez E., Henríquez F. y Nyström J. O., 1991. **Magnetita Pedernales: A new Magmatic Iron Deposit in Northern Chile**. *Economic Geology*. Vol. 86, pp. 1346-1349.
- Alva Valdivia L. M., 1996, **Propiedades Geofísicas de la Tierra**, cuaderno del Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México. Plaza y Valdés editores, pp. 44.
- Alva Valdivia L. M. Y Cruz Ocampo J. C., 1998. **Caracterización petromagnética y microscopía de óxidos magnéticos en el depósito de magnetita-apatita Cerro de Mercado, México**. Primera Reunión Nacional de Ciencias de la Tierra, Libro de Resúmenes, pp. 30.
- Arem J. E. 1997-1998. **Color Encyclopedia of Gemstones**, Second Edition. Van Nostrand Reinhold Company. New York, USA.
- Broman C., Nyström O. J., Henríquez F., Elfman M., 1999. **Fluid inclusions in magnetite-apatite ore from a cooling magmatic system at El Laco, Chile**. *GFF*. Vol. 121, pp. 253-267.
- Butler R. F., 1992. **Paleomagnetism**. Blackwell Scientific Publications. Pp.301.
- Cameron M. and Papike J.J., 1982. **Piroxenos**. *Reviews in Mineralogy*. Volume 7, Chapter 2, pp. 8. Mineralogical Society of America.
- http://www.canaco_turismo&turismodurango.org.mx
- Consejo de Recursos Minerales, 1993. **"Monografía Geológico-Minera del Estado de Durango"**. Secretaria de Energía, Minas e Industria Paraestatal Subsecretaria de Minas.
- Cornelis K. y Cornelius S. H., 1996. **Manual de Mineralogía**, Cuarta Edición, Editorial Reverté, S.A., España.
- Damon E. P., Shafiqullah M. y Clark F. K., 1981. **Evolución de los Arcos Magmáticos en México y su Relación con la Metalogénesis**. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología. *Revista*, vol. 5, número 2, pp. 223-238.
- Damon E. P., y Bikerman, M., 1964. **Potassium-Argon dating of post-Laramide plutonic and volcanic rocks within the Basing and Range Province of southeastern Arizona and adjacent areas**; *Arizona Geological Society Digest*, v. 7, pp. 63-78.

- Dunn P. J., 1977. **Apatite a Guide to Species Nomenclature**. The Mineralogical Record, March-April, vol. 8, num. 2, USA.
- Espinoza, S., Vivallo, W. y Henríquez F.. 1994. **Geología y Génesis de Mineralización Metálica en el Distrito Ferrífero de Cerro Imán, Copiapo, Chile**. Actas Volumen II, pp. 799-802. 7° Congreso Geológico Chileno. Universidad de Concepción, Departamento de Ciencias de la Tierra.
- GEOMIMET, 1997. **Síntesis de la Industria Minera Mexicana**. XXIV Epoca, Septiembre-October, número 209, pp. 92-94.
- Haggerty S. E. et al., 1976. **Oxide Minerals. Mineralogical Society of America Short Course Notes**. Volumen 3, Chapter 4 and 5, Noviembre de 1976. Printing Company Blacksburg, Virginia.
- Hurlburt C. S. y Klein C., 1997. **Manual de Mineralogía**. Cuarta Edición. Editorial Riverté, S.A. Tomo II, pp. 679.
- Labarthe H. G. et al., 1990. **Cerro de Mercado, SIDERMEX**. American Institute Of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, Sección México, Society of Economic Geologist. Minas Mexicanas. Tomo V, pp. 71-91.
- Leslie L. S. 1975. **Chemical Remanent Magnetization in Iron Ores and Wall Rocks of Cerro de Mercado, Durango, México**. A Thesis Submitted to The Faculty of The Graduate School of The University of Minnesota.
- Lindsley D. H. et al., 1976. **Oxide Minerals. Mineralogical Society of America Short Course Notes**. Volumen 3, Chapter 1 and 2, Noviembre de 1976. Printing Company Blacksburg, Virginia.
- Lyons J. I. 1988. **Volcanogenic Iron Deposits, Cerro de Mercado and Vicinity, Durango, México**. Economic Geology. Vol. 83. pp. 1886-1906.
- McDowell F. W. y Clabaugh S. E. 1979. **Ignimbrites of the Sierra Madre Occidental and their relation to the tectonic history of Western Mexico**. Geological Society of America. Special Paper 180. Pag. 113-124.
- McDowell F. W. y Clabaugh S. E. 1981. **The Igneous History of the Sierra Madre Occidental and its relation to the Tectonic Evolution of Western Mexico**. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geología. Revista, vol. 5. Num. 2, pag.195-206.
- Nyström J. O. and Henríquez F.. 1994. **Magmatic Features of Iron Ores of the Kiruna Type in Chile and Sweden: Ore Textures and Magmatite Geochemistry**. Economic Geology. Vol. 89. Pp 820-839.

- Nyström J. O., 1985. **Apatite iron ores of the Kiruna Field, northern Sweden: magmatic textures and carbonatitic affinity.** Geologiska Föreningens I Stockholm Förhandlingar. Vol. 107. Pt. 2, pp. 133-141.
- Nyström, J. O. and Henríquez, F. 1989. **Dendritic magnetite and miniature diapir-like concentrations of apatite: two magmatic features of the Kiirunavaara iron ore.** Geologiska Föreningens I Stockholm Förhandlingar. Vol. 111. Pt. 1, pp. 53-64.
- Ortega G. F. et al., 1992. **Texto explicativo de la quinta edición de la carta geológica de la Republica Mexicana, escala 1: 2'000,000.** Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Secretaria de Energía, Minas e Industria Paraestatal y Consejo de Recursos Minerales.
- Opdyke N. D. and Channell J. E. T., 1996. **Magnetic Stratigraphy.** Academic Press. Volume 64, pp, 60-73. International Geophysics Series.
- Park C. F. Jr. 1972. **The Iron Ore Deposits of the Pacific Basin.** Economic Geology. Vol. 67, pp. 339-349.
- Romer R. L., Martinsson and Perdahl. 1994. **Geochronology of the Kiruna Iron Ores and Hydrothermal Alterations.** Economic Geology. Vol. 89. Pp.1249-1261.
- Stacey, J. A. and Banerjee, S. K., 1974. **Physical principles of rock magnetism.** Dev of Solid Earth Geophys. Vol. 5, Elsevier, New York.
- Salazar, Gonzalez, Santillan, Acevedo y Quintero. 1923. **El Cerro de Mercado, Durango.** Instituto Geológico de México. Boletín Número 44.
- Serway R. A., 1997. **Física, Tomo II, Cuarta Edición,** pp. 649-995. Editorial McGRAW-HILL. Impreso en México.
- Urrutia F. J., 1979. **Significado y Utilización de magnetizaciones de múltiples fases.** Vol. 25, Sobretiro de Anales del Instituto de Geofísica.
- Valencio D. A., 1980. **El Magnetismo de las rocas.** Edición Universitaria de Buenos Aires, p 351. Impreso en Argentina.
- Valero R. A. y Treviño M. A., 1990. **Fechaamiento de la Apatita del Cerro de Mercado y Calibración del Método de Huellas de Fisión.** Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería, UNAM.
- Vivallo, W., Espinoza, S. y Henríquez, F. 1994. **Significado de la Distribución del Oro en Menas y Rocas de Caja en los Depósitos de Hierro de los Distritos Cerro Negro Norte y Cerro Imán, Chile.** Actas VolumenII, pp. 926-930. 7º Congreso Geológico Chileno. Universidad de Concepción, Departamento de Ciencias de la Tierra.

- Vivallo W., Espinoza S. y Henríquez F. 1995. **Los depósitos de hierro del tipo magnetita-apatita: geoquímica de las rocas volcánicas asociadas y potencialidad de la mena de hierro como fuente de mineralización de oro.** Revista Geológica de Chile. Vol. 22, Num. 2.

- Vivallo W., Henríquez F. y Espinoza S. 1995. **Metasomatismo y alteración hidrotermal en el Distrito Ferrífero Cerro Negro Norte, Copiapó, Chile.** Revista Geológica de Chile. Vol. 22, Num.1.

- Vivallo W. y Henríquez F. 1997. **Relación Génética entre los Yacimientos Estratoligados de Cu ("Tipo Manto"), De Cu-Fe±Au y de Hierro del Tipo Kiruna.** VIII Congreso Geológico Chileno. Actas Vol. II. Sesión Temática 5, pp. 1189-1193. Universidad de Concepción, Departamento de Ciencias de la Tierra.

BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA EN PETROGRAFÍA Y MINERAGRAFÍA:

- Kerr P. F., 1965. **Mineralogía Óptica.** Tercera Edición. Editorial Castilla, impreso en Madrid, España.

- Melgarejo J. C. et al., 1997. **Atlas de Asociaciones Minerales en Lámina Delgada.** Edicions de la Universidad de Barcelona. Primera Edición.

- Mackenzie W. S. y Guilford C., 1996. **Atlas de Petrografía, Minerales formadores de roca en lámina delgada.** Editorial Masson. Impreso en Barcelona, España.

- Mackenzie W. S., Donaldson y Guilford C., 1996. **Atlas de Rocas Ígneas y sus texturas.** Editorial Masson. Impreso en Barcelona, España.

- Spry P. G. and Gedlinske B. L., 1987. **Tables for the determination of Common Opaque Minerals.** The Economic Geology Publishing Company.

- Uytendborgaardt W. And Burke E. A. J., 1971. **Tables for Microscopic Identification of Ore Minerals.** Elsevier Publishing Company. Printed in The Netherlands. Second Edition.

- Yardley B. W. D., Mackenzie W. S. y Guilford C., 1996. **Atlas de Rocas Metamórficas y sus texturas.** Editorial Masson. Impreso en Barcelona, España.

APÉNDICES:

APÉNDICE A: MINERAGRAFÍA.

SECCIÓN DE MINERAGRAFÍA

MÉTODO DE ESTUDIO

El estudio se realizó a 16 muestras a las cuales se le efectuaron los siguientes pasos:

- a) Descripción megascópica de las muestras bajo el microscopio estereoscópico.
- b) Elaboración de superficies pulidas para realizar el análisis minerográfico de cada muestra.
- c) Análisis bajo el microscopio minerográfico.
- d) Medición de partículas mediante un micrómetro.
- e) Toma de fotomicrografías.

Los resultados de las muestras, se presentan a continuación:

ESTUDIO MINERAGRÁFICO

No de Muestra: CMBO - 3E.

1. DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA

Roca color pardo amarillento a ocre oxidada de textura masiva constituida por óxidos e hidróxidos de Fe con fenocristales de apatita y cuarzo anhedral, tiene una textura brechoide rica en óxidos de Fe.

2. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Es una roca que presenta un mosaico de minerales en forma de islas y continentes, formadas por magnetita en cristales euhedrales, parcialmente reemplazada por martita, hematita y goethita-limonita. Afectados por vetillas de mineral transparente algunos con secciones hexagonales (apatitas), presenta las texturas trellis, lamelar y martización.

3. MINERALOGÍA

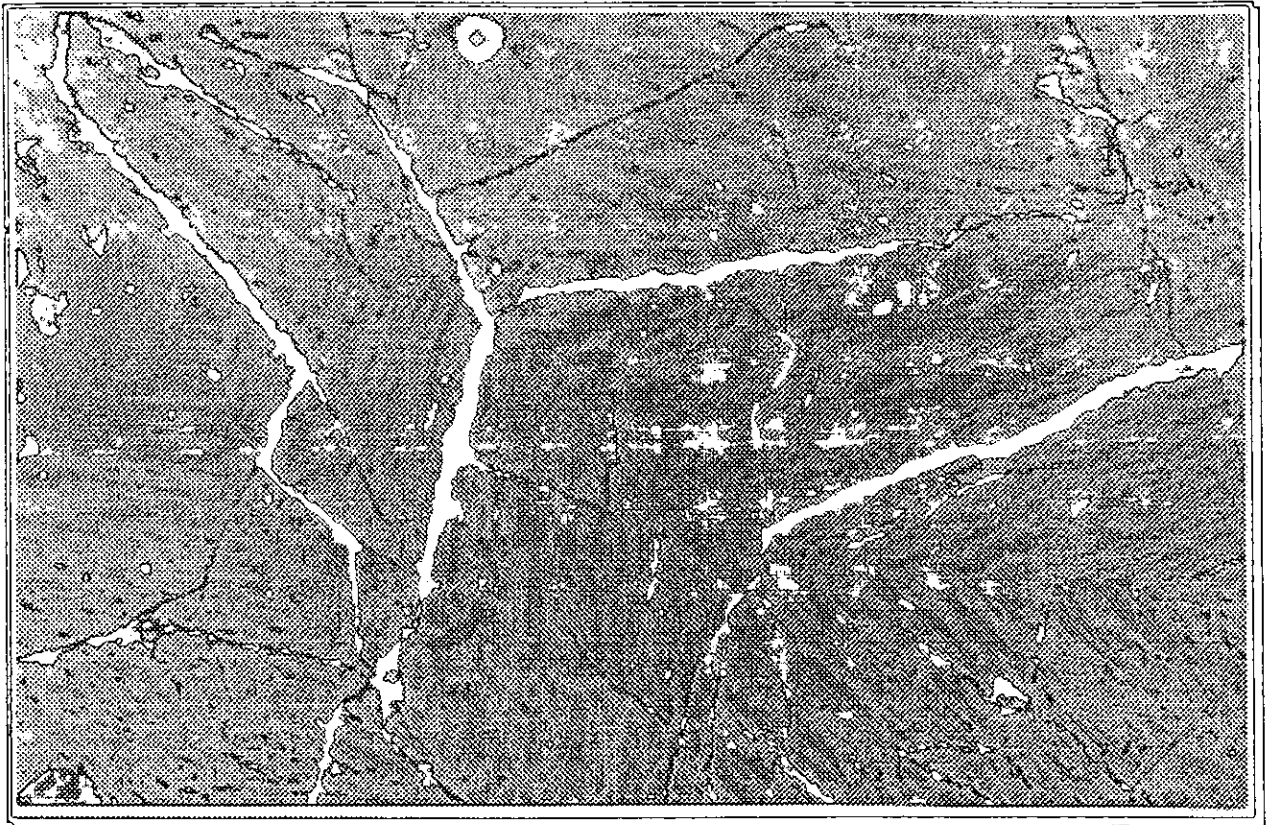
Mineral	Características
Magnetita	Forma parte del mosaico mineral y corresponde al primer mineral de Fe, que se formo, ahora queda restringido por un reemplazamiento parcial de martita, hematita y goethita-limonita, con lamelas de martita y hematita, presentando textura trellis, lamelar y martización.
Martita	Se encuentra como un reemplazamiento parcial de magnetita, presente en texturas lamelar, martización y trellis.
Hematita	Es escasa y se encuentra formando parte del reemplazamiento parcial de magnetita, quedando en zonas restringidas como bordes y fracturas, asociado a goethita-limonita.
Goethita-limonita	Como producto de alteración de óxidos de Fe, asociado a la hematita, se encuentra en bordes fracturas esencialmente, como agregados y diseminados en mineral transparente, presenta texturas bandeada y coloforme, se asocia a mineral transparente.
Pirita	Escasos cristales anhedrales diseminados en material transparente.
Mineral transparente	Corresponde a cuarzo anhedral y apatita euhedrales, estos con secciones hexagonales, tabulares con terminación piramidal.

CUADRO PARAGENÉTICO

Minerales	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
Magnetita	-----		
Martita		-----	
Hematita		---	--
Goethita-Limonita			-----
Pirita	--		
Mineral transparente	-----	-----	-----

4. CLÁSIFICACIÓN: Corresponde a un material de brecha rica en mineral de Fe.

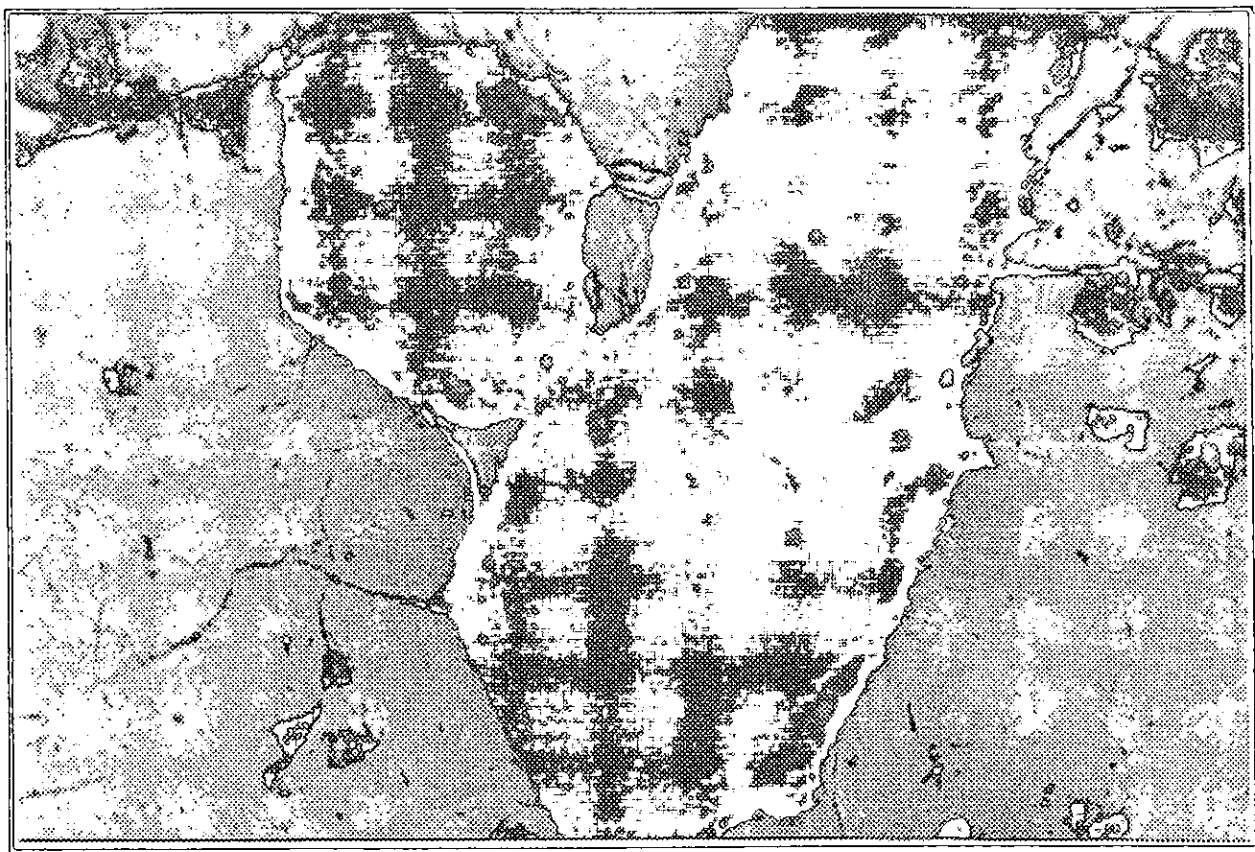
5. FOTOMICROGRAFÍA:



Escala Gráfica: ——— 90 μm .

Fotomicrografía número 1: Campo de la muestra **CMBO - 3E**. Donde se observa una masa de magnetita parcialmente reemplazada por martita con textura lamelar, afectados por vetillas secundarias en dirección de las lamelas.

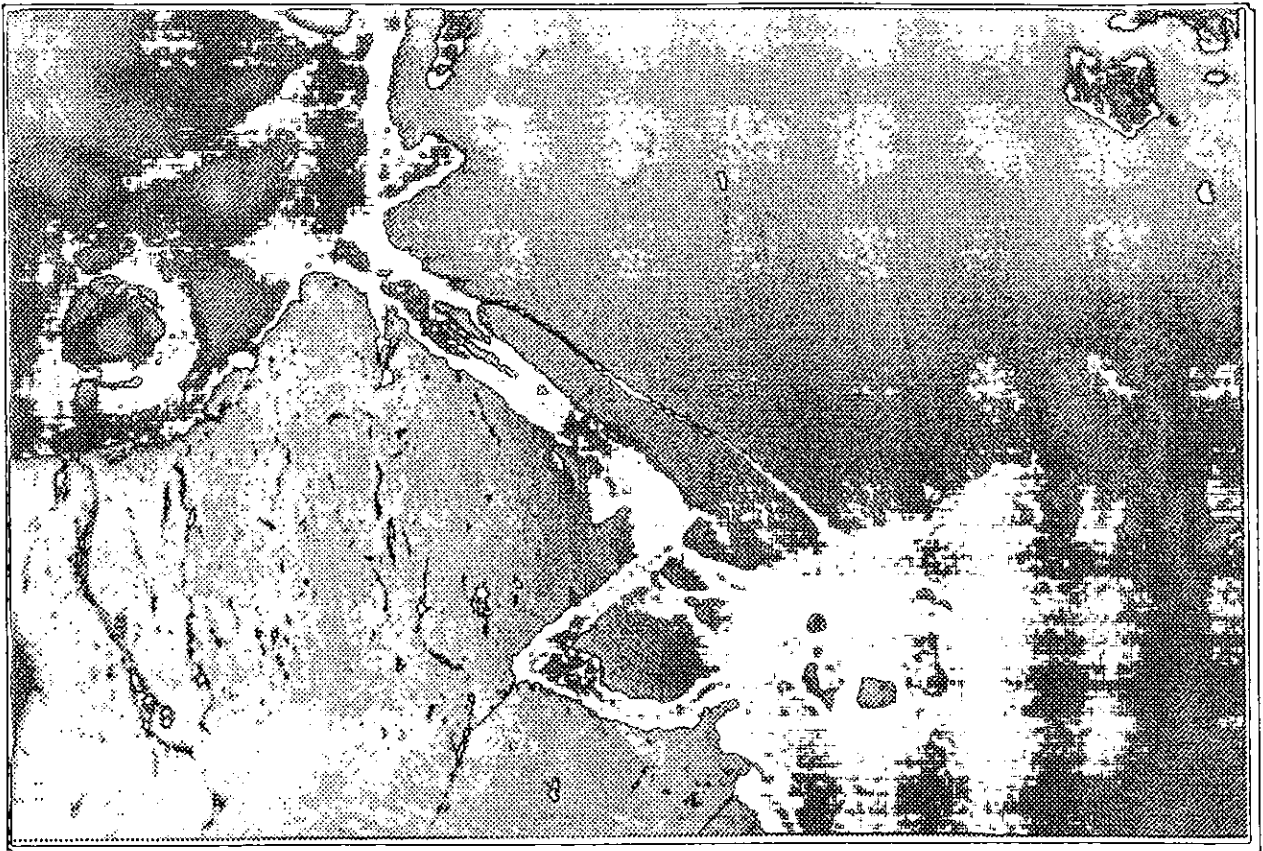
5. FOTOMICROGRAFÍA:



Escala Gráfica: ————— 90 μm .

Fotomicrografía número 2: Campo de la muestra **CMBO - 3E**. Donde se observa una masa de magnetita parcialmente reemplazada por martita con textura de martitización, lamelar, con fenocristales intersticiales de subhedrales a euhedrales con bordes difusos de apatitos, asociados goethita-limonita en agregados y diseminados en material transparente, afectados por vetillas secundarias de material transparente y goethita-limonita.

5. FOTOMICROGRAFÍA:



Escala Gráfica: ————— 90 μm .

Fotomicrografía número 3: Campo de la muestra **CMBO - 3E**. Donde se observa una masa de magnetita parcialmente reemplazada por martita con textura de martitización, lamelar, afectados en bordes y masas por goethita-limonita que presenta textura colóforme.

ESTUDIO MINERAGRÁFICO

No de Muestra: CMB - 4E.

1. DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA

Roca color pardo amarillento a ocre oxidada de textura porfídica constituida por fenocristales de apatita y cuarzo anhedral, tiene una textura brechoide con mineralización rica en óxidos de Fe.

2. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Es una roca que presenta un mosaico de minerales, las partículas en forma de islas y continentes, formadas por magnetita, parcialmente reemplazada por martita, hematita y goethita-limonita. Diseminados en minerales transparentes, algunos de estos presentan sección hexagonal (apatita), presenta las texturas trellis, lamelar y martización, afectado por vetillas secundarias de mineral transparente a las cuales se asocian hematita y goethita-limonita.

3. MINERALOGÍA

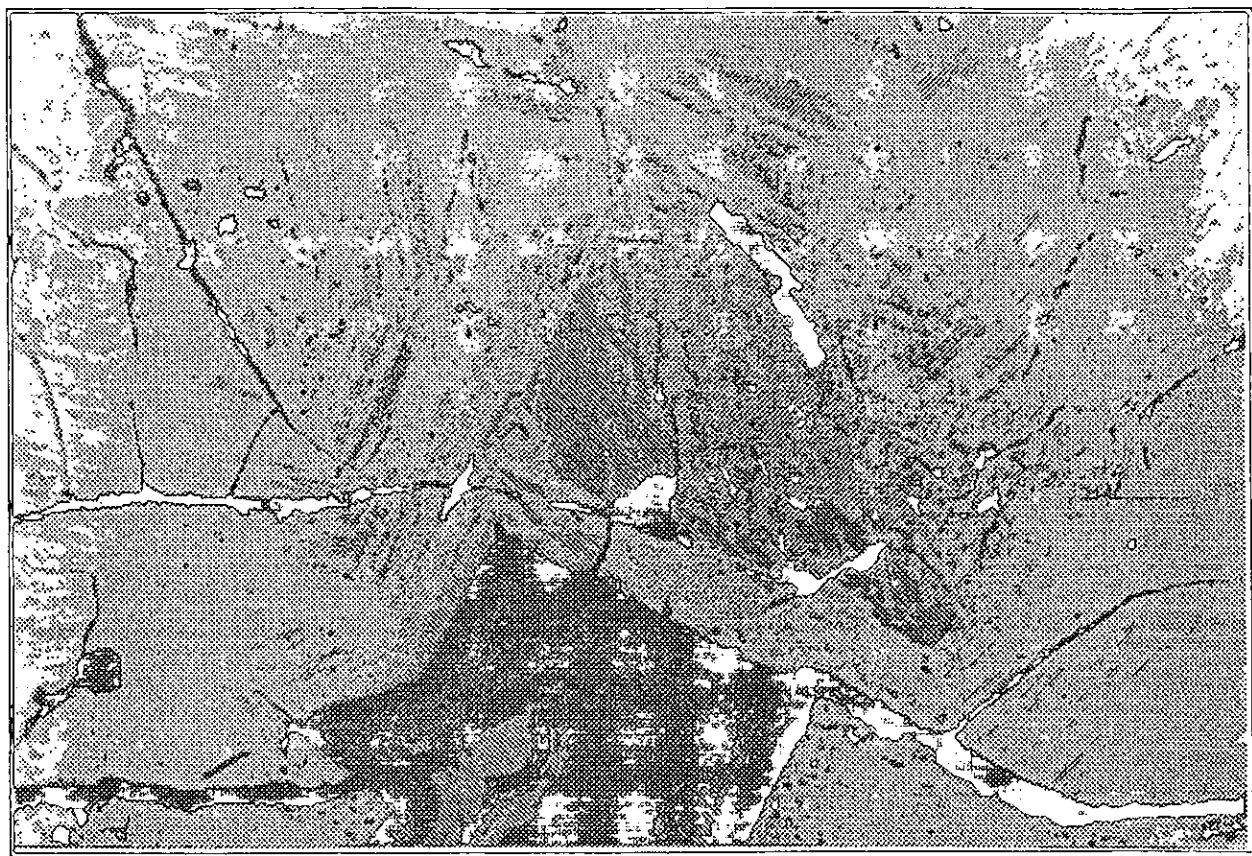
Mineral	Características
Magnetita	Forma masas, islas y continentes anhedrales, corresponde al mineral primario de Fe, ahora queda restringido por un reemplazamiento parcial de martita, hematita y goethita-limonita, con lamelas de martita y hematita, presentando textura trellis y lamelar.
Martita	Se encuentra como un reemplazamiento parcial de magnetita, presente en lamelas y masivo, con textura lamelar y trellis.
Hematita	Se encuentra formando parte del reemplazamiento parcial de magnetita, quedando en zonas restringidas como bordes y fracturas, asociado a mineral transparente.
Goethita-limonita	Como producto de alteración de óxidos de Fe, asociado a la hematita, se encuentra en bordes fracturas esencialmente, como agregados y diseminados en mineral transparente, presenta texturas bandeada y coliforme. Presente en vetillas secundarias asociado a mineral transparente.
Pirita	Como finos y pequeños cristales anhedrales, diseminados en mineral transparente y asociados a goethita-limonita.

CUADRO PARAGENÉTICO

Minerales	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
Magnetita	-----		
Martita		-----	
Hematita		-----	--
Goethita-Limonita			-----
Pirita	---		
Mineral transparente	-----	-----	-----

4. CLASIFICACIÓN: Corresponde a un material de brecha rica en mineral de Fe.

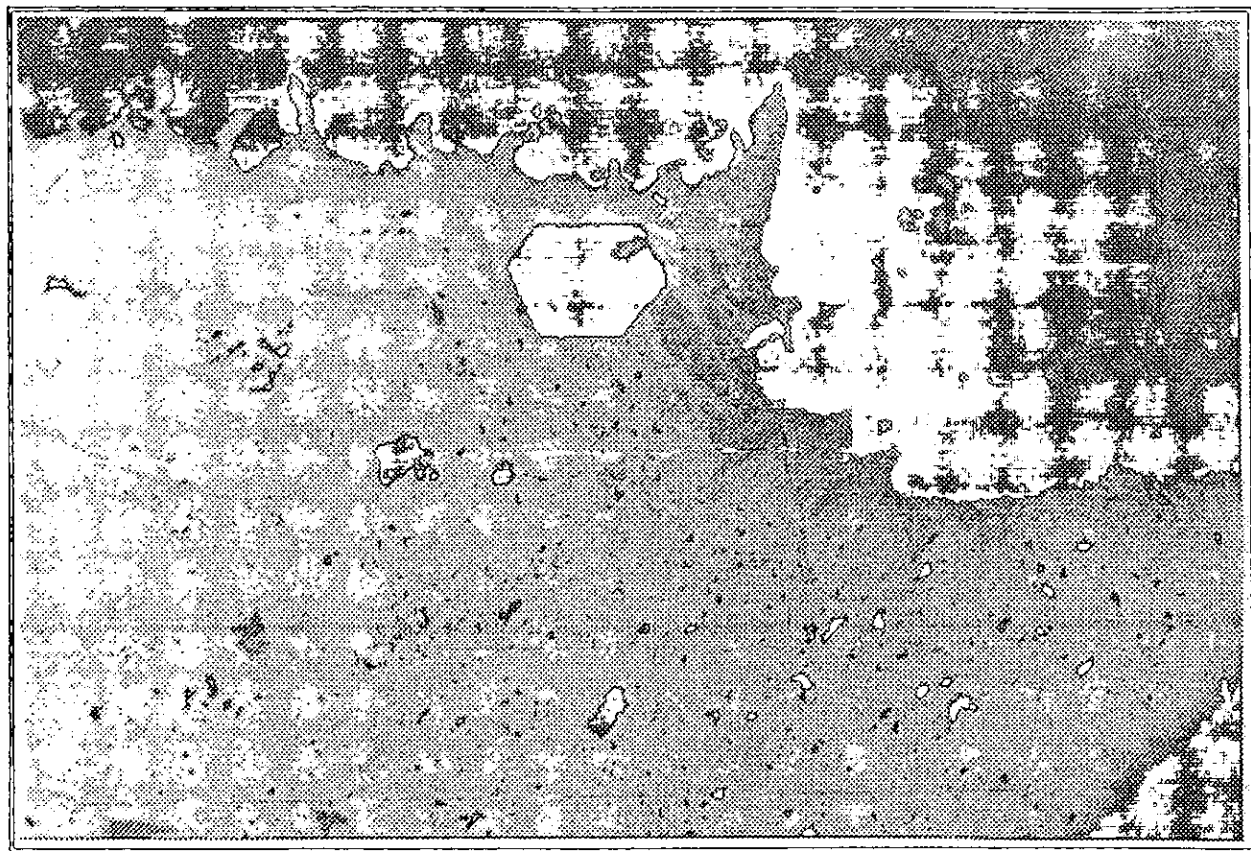
5. FOTOMICROGRAFÍA:



Escala Gráfica: ————— 90 μm .

Fotomicrografía número 1: Campo de la muestra CMB - 4E. Donde se observa una masa de magnetita parcialmente alterada por martita, con textura lamelar, alterada a goethita-limonita con textura coloforme, bandeada y zonada, afectados por vetillas secundarias de mineral transparente con goethita-limonita en diseminados y agregados.

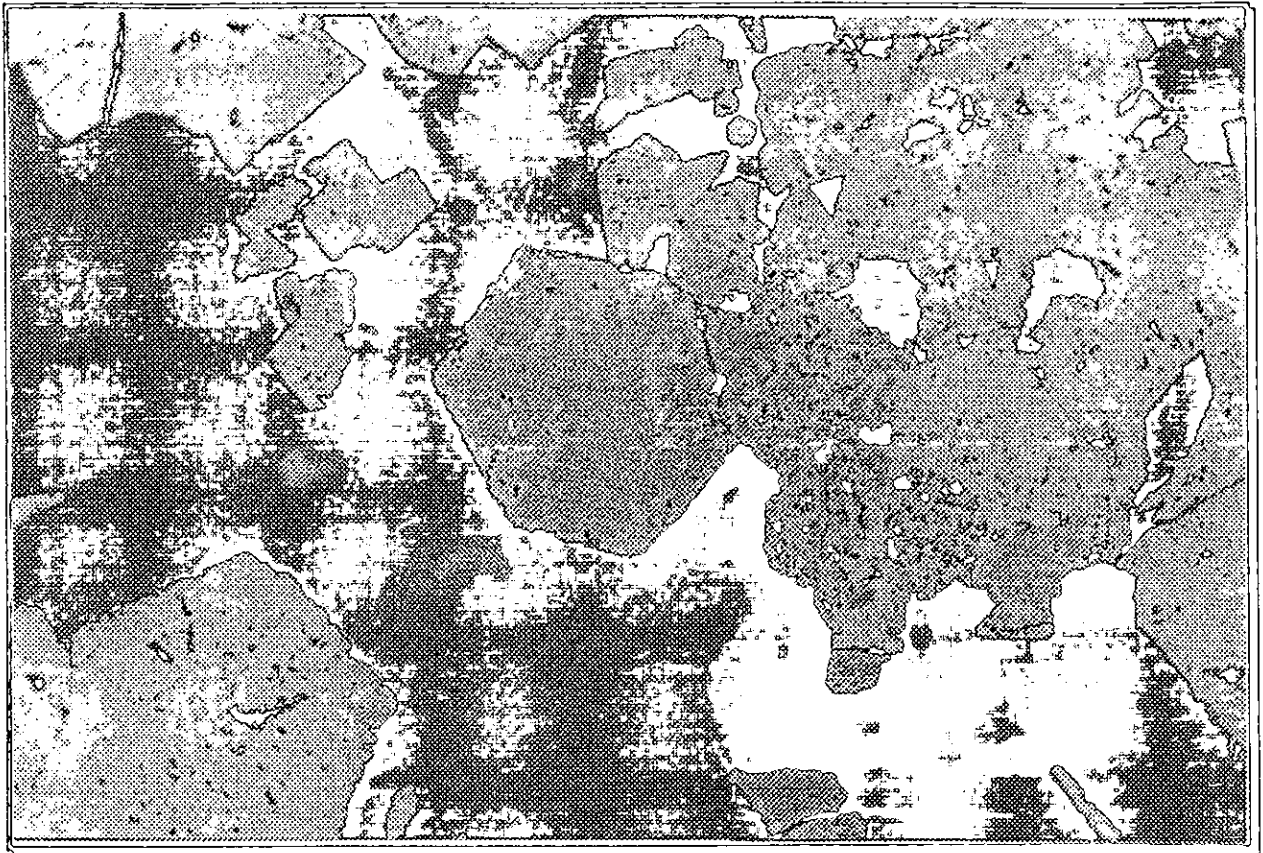
5. FOTOMICROGRAFÍA:



Escala Gráfica: ————— 90 μm .

Fotomicrografía número 2: Campo de la muestra CMB - 4E. Donde se observa una masa de magnetita parcialmente alterada por malachita, con textura lamelar y con una inclusión de un cristal euhedral de sección hexagonal de apatito y en contacto con material transparente asociado a goethita-limonita.

5. FOTOMICROGRAFÍA:



Escala Gráfica: ————— 90 μm .

Fotomicrografía número 3: Campo de la muestra **CMB - 4E**. Donde se observan cristales euhedrales de magnetita parcialmente reemplazada por martita, con texturas: martitización y lamelar, alterada en bordes por goethita-limonita con textura coliforme, asociados a material transparente.

ESTUDIO MINERAGRÁFICO

No de Muestra: CMBC - 2I.

1. DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA

Roca color pardo amarillento a ocre oxidada de textura masiva constituida por óxidos e hidróxidos de Fe con fenocristales de apatita y cuarzo anhedral, tiene una textura brechoide rica en óxidos de Fe.

2. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Es una roca que presenta un mosaico de minerales en forma de continentes y partículas, formadas por magnetita en cristales euhedrales, parcialmente reemplazada por martita, hematita y goethita-limonita. Intercrecidas con mineral transparente algunos con secciones hexagonales (apatitas), presenta las texturas trellis, lamelar y martización.

3. MINERALOGÍA

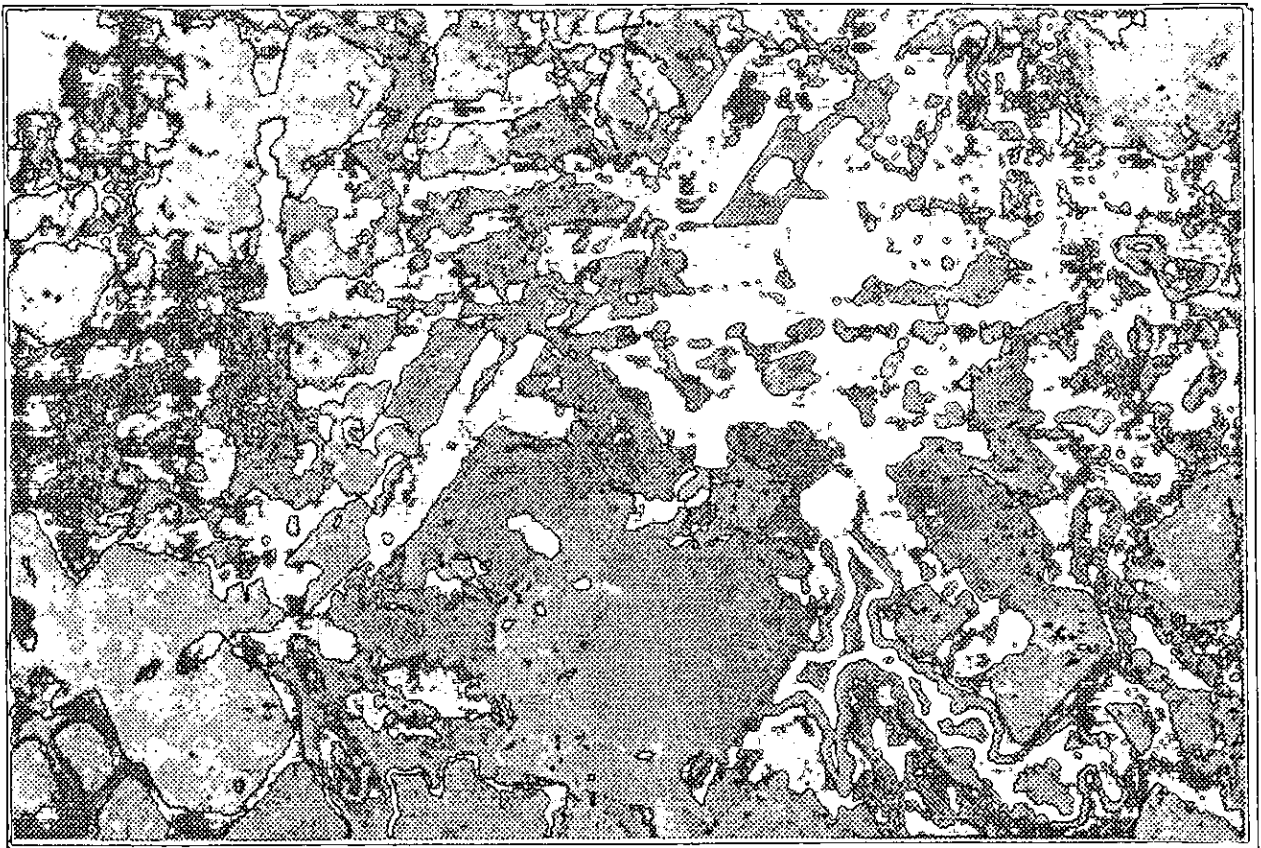
Mineral	Características
Magnetita	Forma parte del mosaico mineral y corresponde al primer mineral de Fe, que se formo, ahora queda restringido por un reemplazamiento parcial de martita, hematita y goethita-limonita, con lamelas de martita y hematita, presentando textura trellis, lamelar y martización.
Martita	Se encuentra como un reemplazamiento parcial de magnetita, presente en texturas lamelar, martización, trellis y masivo.
Hematita	Se encuentra formando parte del reemplazamiento parcial de magnetita, quedando en zonas restringidas como bordes y fracturas, asociado a goethita-limonita.
Goethita-limonita	Como producto de alteración de óxidos de Fe, asociado a la hematita, se encuentra en bordes fracturas esencialmente, como agregados y diseminados en mineral transparente, presenta texturas bandeada y coloforme.
Mineral transparente	Corresponde a cuarzo anhedral y apatita euhedrales, estos con secciones hexagonales, tabulares con terminación piramidal.

CUADRO PARAGENÉTICO

Minerales	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
Magnetita	-----		
Martita		-----	
Hematita		---	--
Goethita-Limonita			-----
Mineral transparente	-----	-----	-----

4. CLASIFICACIÓN: Corresponde a un material de brecha rica en mineral de Fe.

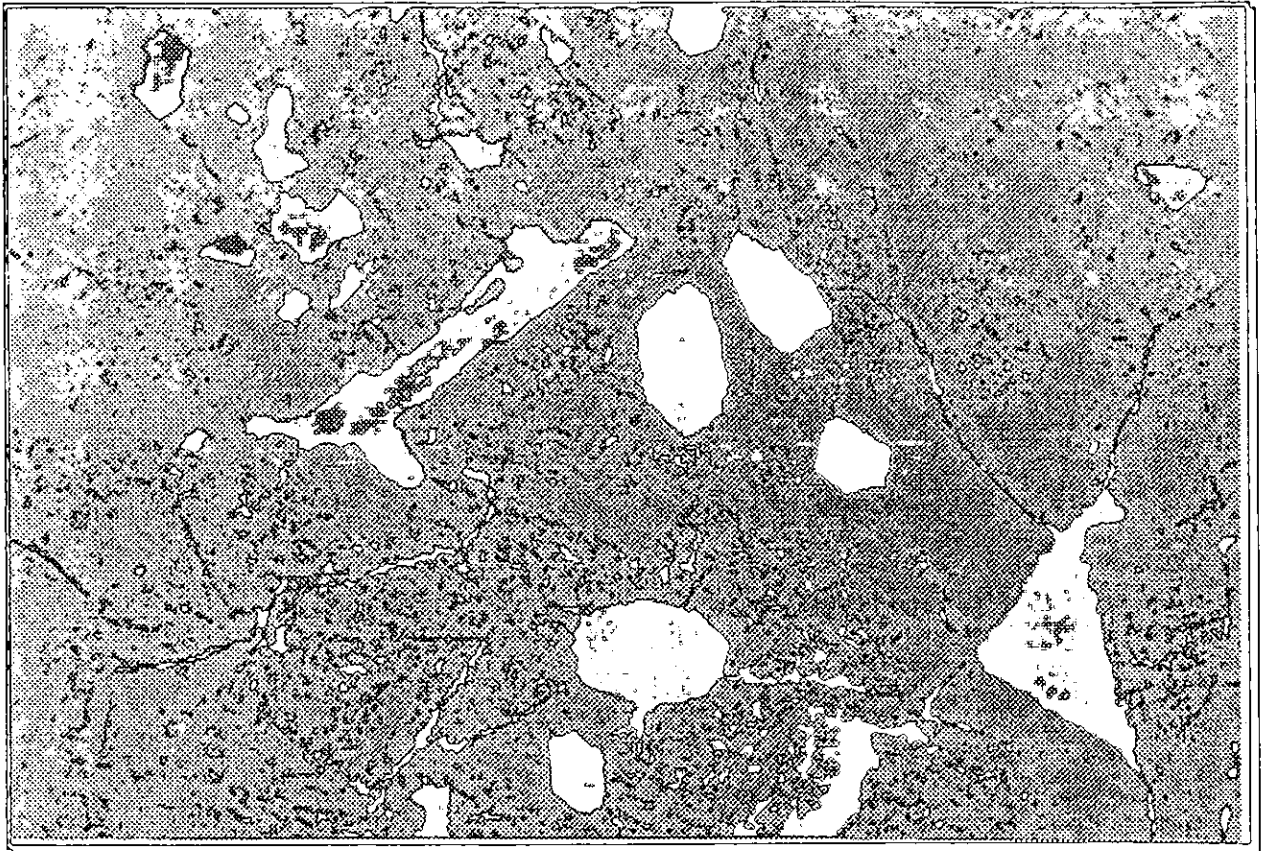
5. FOTOMICROGRAFÍA:



Escala Gráfica: ——— 90 μm .

Fotomicrografía número 1: Campo de la muestra **CMBC - 2I**. Donde se observa una masa intersticial de magnetita euhedral a anhedral, parcialmente reemplazada por martita, presenta texturas: martitización, lamelar, en bordes con goethita-limonita con textura coliforme y en diseminados y agregados en material transparente, se presentan apatitos y material transparente asociado.

5. FOTOMICROGRAFÍA:



Escala Gráfica: ————— 90 μm .

Fotomicrografía número 2: Campo de la muestra CMBC - 2I. Donde se observa una masa intersticial de magnetita parcialmente reemplazada por martita, presenta texturas: martitización, lamelar, con inclusiones de cristales euhedrales de apatito, afectados por vetillas secundarias de material transparente asociado a goethita-limonita diseminados y agregados en material transparente.

ESTUDIO MINERAGRÁFICO

No de Muestra: CMBC - 5E.

1. DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA

Roca color negro-pardo amarillento a ocre oxidada de textura brechoide constituida por fenocristales de apatita, cuarzo anhedral y otros, tiene una textura brechoide rica en óxidos e hidróxidos de Fe.

2. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Es una roca que presenta un mosaico de minerales en forma de islas y continentes, formadas por magnetita en cristales anhedrales a euhedrales, parcialmente reemplazada por martita, hematita y goethita-limonita. Afectados por vetillas de mineral transparente algunos con secciones hexagonales (apatitas), presenta las texturas trellis, lamelar y martización.

3. MINERALOGÍA

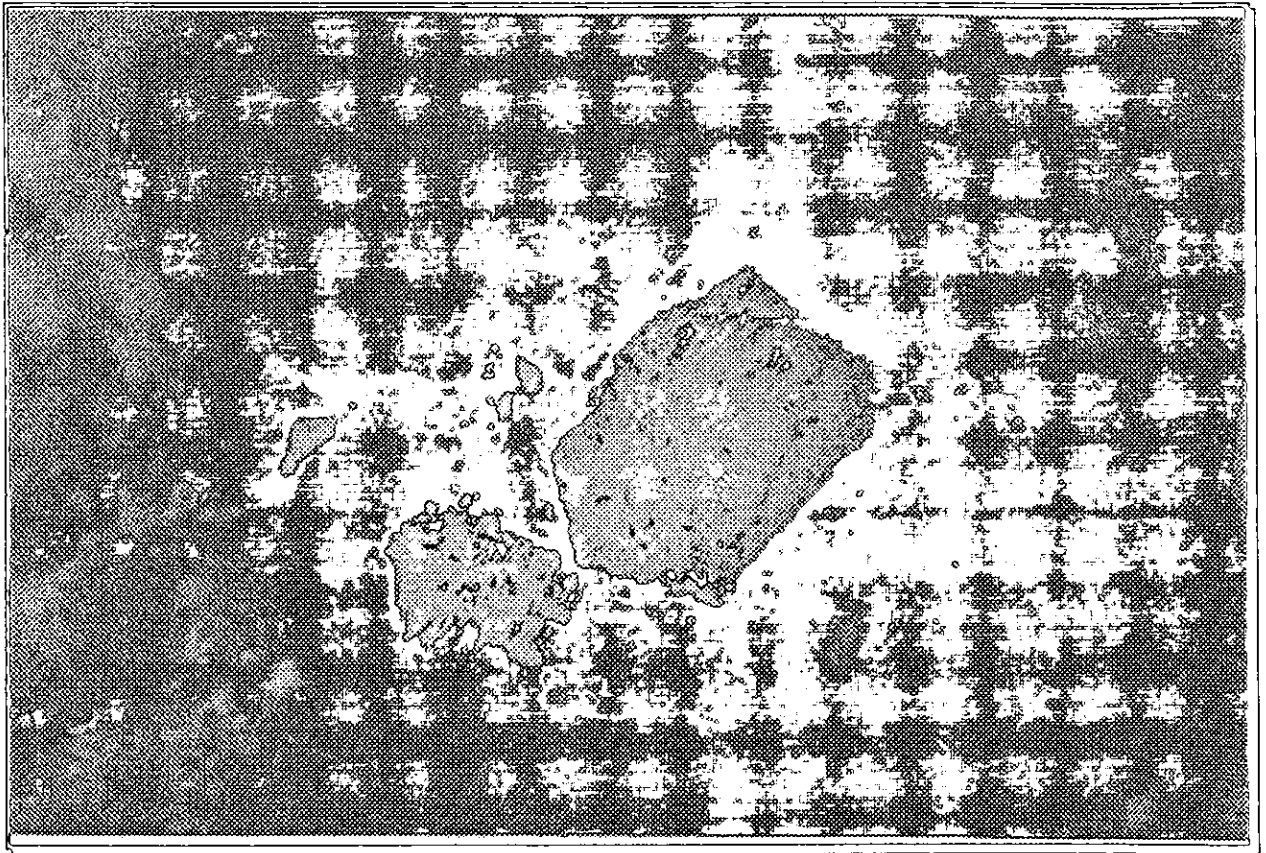
Mineral	Características
Magnetita	Forma parte del mosaico mineral y corresponde al primer mineral de Fe, que se formó, ahora queda restringido por un reemplazamiento parcial de martita, hematita y goethita-limonita, con lamelas de martita y hematita, presentando textura trellis, lamelar y martización.
Martita	Se encuentra como un reemplazamiento parcial de magnetita, presente en texturas lamelar, martización y trellis.
Hematita	Es escasa y se encuentra formando parte del reemplazamiento parcial de magnetita, quedando en zonas restringidas como bordes y fracturas, asociado a goethita-limonita.
Goethita-limonita	Como producto de alteración de óxidos de Fe, asociado a la hematita, se encuentra en bordes fracturas esencialmente, como agregados y diseminados en mineral transparente, presenta texturas bandeada y coloforme, se asocia a mineral transparente.
Pirita	Escasos cristales anhedrales diseminados en material transparente.
Mineral transparente	Corresponde a cuarzo anhedral y apatita euhedrales, estos con secciones hexagonales, tabulares con terminación piramidal.

CUADRO PARAGENÉTICO

Minerales	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
Magnetita	-----		
Martita		-----	
Hematita		---	--
Goethita-Limonita			-----
Pirita	--		
Mineral transparente	-----	-----	-----

4. CLASIFICACIÓN: Corresponde a un material de brecha rica en óxidos e hidróxidos de Fe.

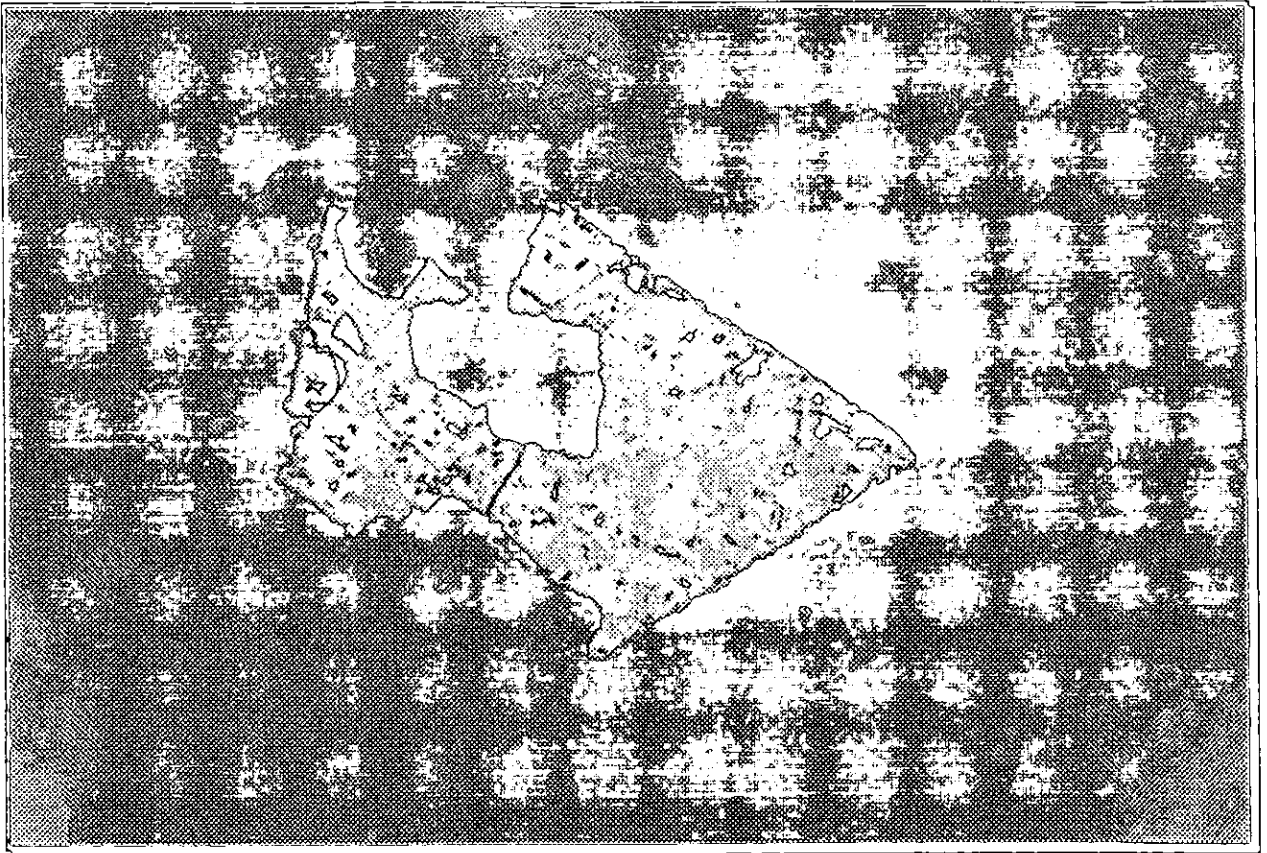
5. FOTOMICROGRAFÍA:



Escala Gráfica: ——— 90 μm .

Fotomicrografía número 1: Campo de la muestra **CMBC - 5E**. Donde se observan islas martita-hematita como reemplazamiento total de magnetita diseminados en material transparente y goethita-limonita como agregados y diseminados en material transparente.

5. FOTOMICROGRAFÍA:



Escala Gráfica: ————— 90 μm .

Fotomicrografía número 2: Campo de la muestra **CMBC - 5E**. Donde se observa una isla subhedral de magnetita parcialmente reemplazada por martita con bordes difusos por goethita-limonita y como agregados y diseminados en material transparente.

ESTUDIO MINERAGRÁFICO

No de Muestra: CMF - 21.

1. DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA

Roca color pardo amarillento a ocre oxidada de textura masiva constituida por óxidos e hidróxidos de Fe con fenocristales de apatita y cuarzo anhedral.

2. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Es una roca que presenta un mosaico de minerales en forma de masas, formadas por magnetita anhedral, parcialmente reemplazada por martita, hematita y goethita-limonita. Intercrecidas con mineral transparente algunos con secciones hexagonales (apatitas), presenta las texturas trellis, lamelar, martización y coloforme, presenta vetillas secundarias de mineral transparente.

3. MINERALOGÍA

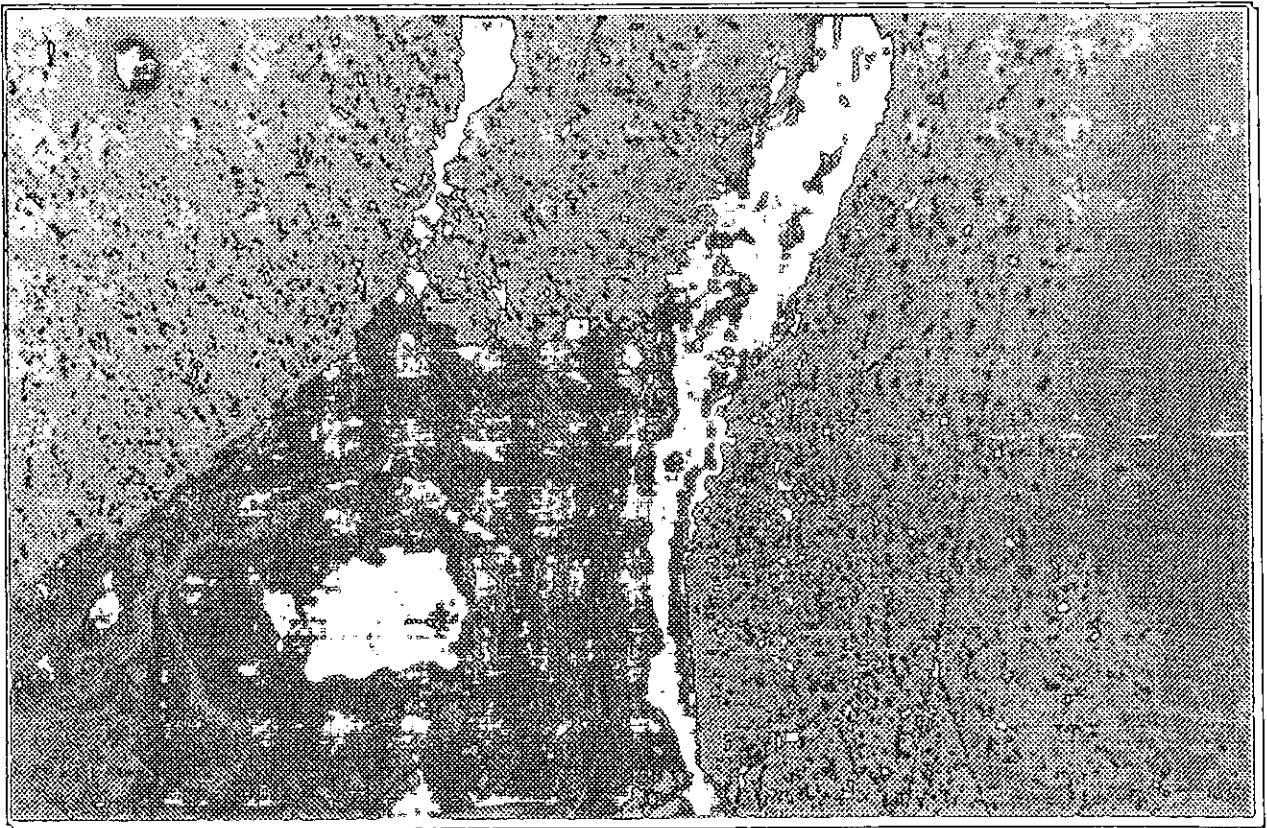
Mineral	Características
Magnetita	En forma de masas y corresponde al primer mineral de Fe, que se formo, ahora queda restringido por un reemplazamiento parcial de martita, y en bordes por hematita y goethita-limonita, con lamelas de martita y hematita, presentando textura trellis, lamelar, martización y coloforme.
Martita	Se encuentra como un reemplazamiento parcial de magnetita, presente en texturas lamelar, martización, trellis y masivo.
Hematita	Se encuentra formando parte del reemplazamiento parcial de magnetita, quedando en zonas restringidas como bordes y fracturas, asociado a goethita-limonita.
Goethita-limonita	Como producto de alteración de óxidos de Fe, asociado a la hematita, se encuentra en bordes fracturas esencialmente, como agregados y diseminados en mineral transparente, presenta texturas bandeada y coloforme.
Mineral transparente	Corresponde a cuarzo anhedral y apatita euhedrales, estos con secciones hexagonales, tabulares con terminación piramidal, Hay vetillas secundarias que se encuentran afectando a los óxidos de Fe.

CUADRO PARAGENÉTICO

Minerales	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
Magnetita	-----		
Martita		-----	
Hematita		---	--
Goethita-Limonita			-----
Mineral transparente	-----	-----	-----

4. CLASIFICACIÓN: Corresponde a un mineral masivo afectado por material transparente.

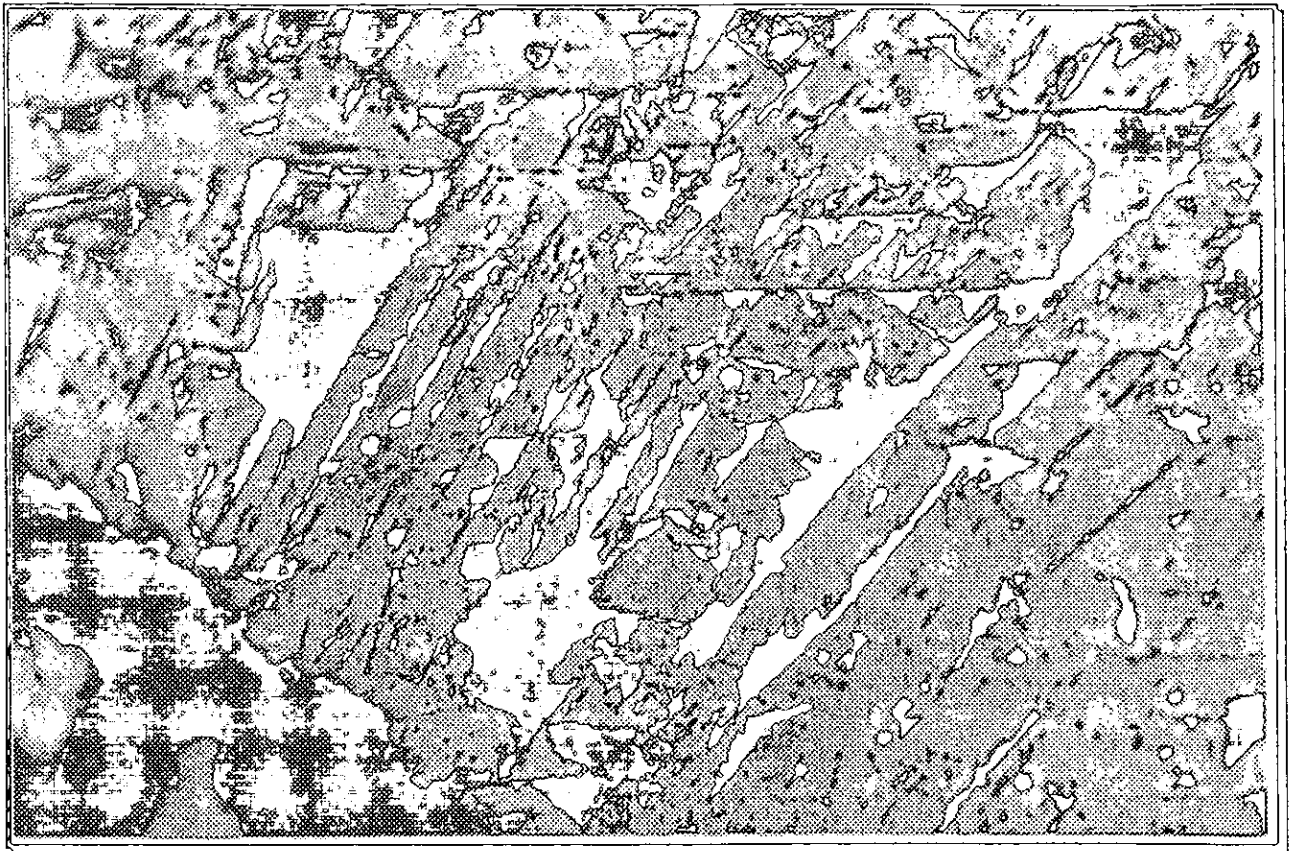
5. FOTOMICROGRAFÍA:



Escala Gráfica: ——— 90 μm .

Fotomicrografía número 1: Campo de la muestra CMF - 2I. Donde se observa una masa de magnetita parcialmente reemplazada por martita con texturas: martitización y lamelar, en fracturas hay presencia de goethita-limonita con textura colofome, asociado a material transparente.

5. FOTOMICROGRAFÍA:



Escala Gráfica: ————— 90 μm .

Fotomicrografía número 2: Campo de la muestra CMF - 2I. Donde se observa una masa de magnetita parcialmente reemplazada por martita con texturas: trellis y lamelar, asociado a material transparente, con diseminados y agregados de goethita-limonita.

ESTUDIO MINERAGRÁFICO

No de Muestra: CMSC - 6I.

1. DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA

Roca color pardo amarillento a ocre oxidada de textura masiva constituida por óxidos e hidróxidos de Fe con fenocristales de apatita euhedrales y cuarzo anhedral.

2. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Es una roca que presenta un mosaico de minerales en forma de continentes y partículas, formadas por magnetita anhedral, parcialmente reemplazada por martita, hematita y goethita-limonita. Intercrecidas con mineral transparente algunos con secciones hexagonales (apatitas), presenta las texturas trellis, lamelar, martización y sandwich.

3. MINERALOGÍA

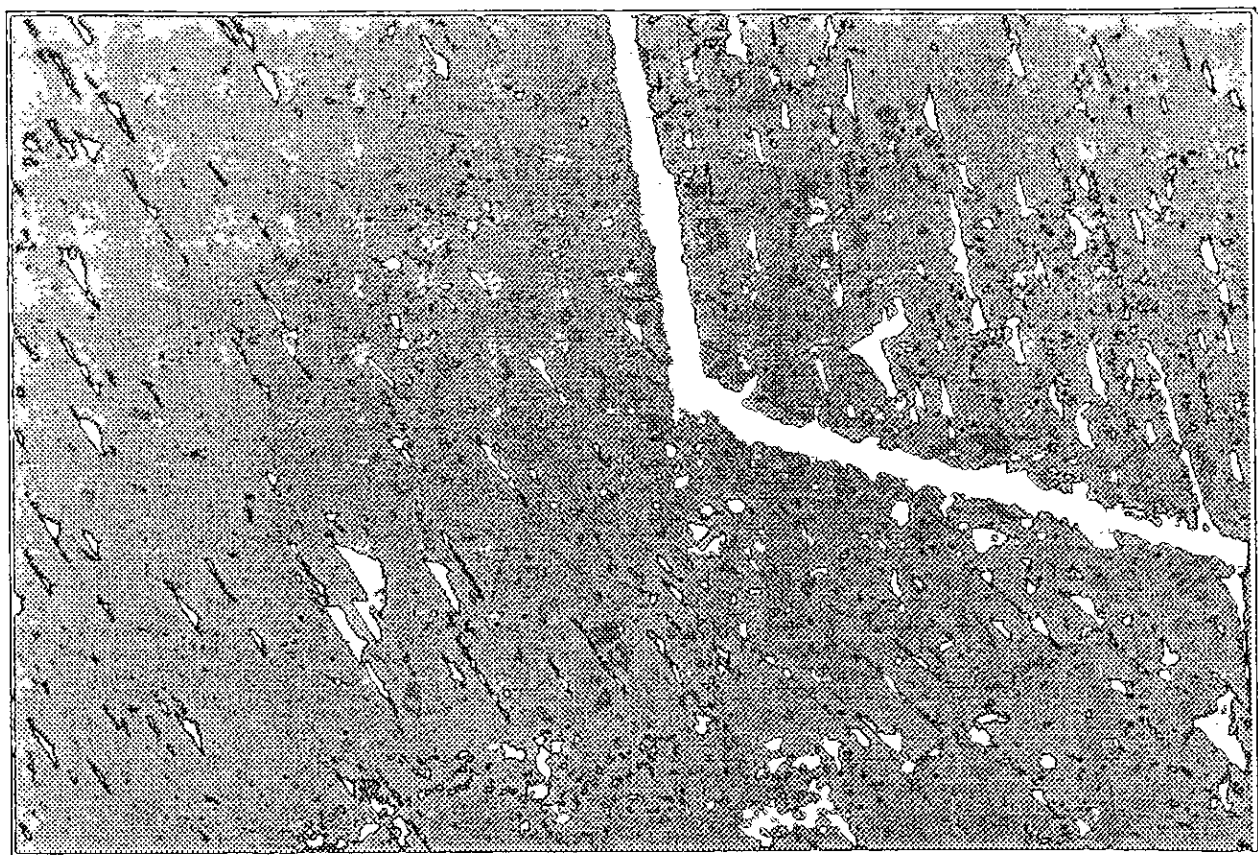
Mineral	Características
Magnetita	En forma de masas y corresponde al primer mineral de Fe, que se formo, ahora queda restringido por un reemplazamiento parcial de martita, hematita y goethita-limonita, con lamelas de martita y hematita, presentando textura trellis, lamelar, martización y sandwich.
Martita	Se encuentra como un reemplazamiento parcial de magnetita, presente en texturas lamelar, martización, trellis.
Hematita	Se encuentra formando parte del reemplazamiento parcial de magnetita, quedando en zonas restringidas como bordes y fracturas, asociado a goethita-limonita, con textura sandwich.
Goethita-limonita	Como producto de alteración de óxidos de Fe, asociado a la hematita, se encuentra en bordes fracturas esencialmente, como agregados y diseminados en mineral transparente, presenta texturas bandeada y colofome.
Mineral transparente	Corresponde a cuarzo anhedral y apatita euhedrales, estos con secciones hexagonales, tabulares con terminación piramidal.

CUADRO PARAGENÉTICO

Minerales	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
Magnetita	-----		
Martita		-----	
Hematita		---	--
Goethita-Limonita			-----
Mineral transparente	-----	-----	-----

4. CLASIFICACIÓN: Corresponde "Skarn Conejos" rico en óxidos e hidróxidos de Fe.

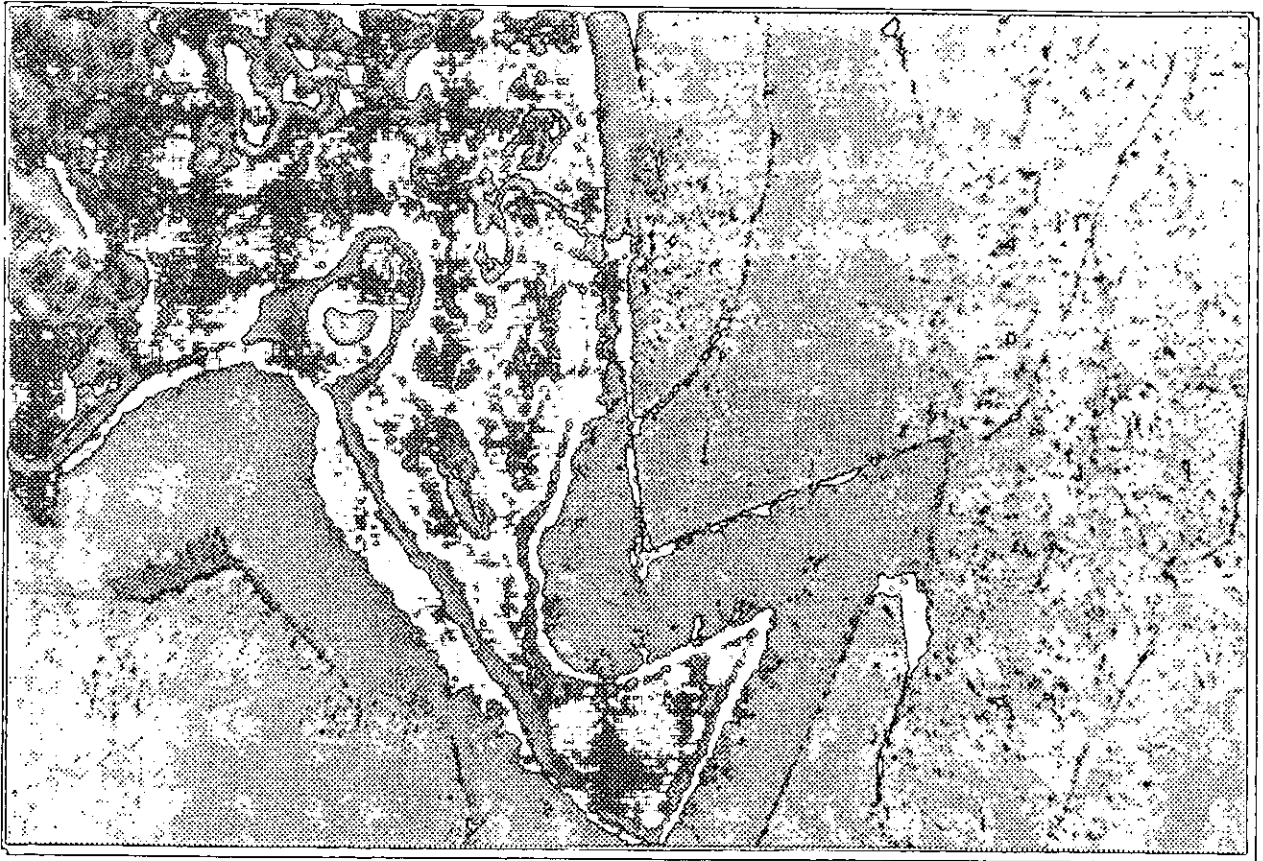
5. FOTOMICROGRAFÍA:



Escala Gráfica: ————— 90 μm .

Fotomicrografía número 1: Campo de la muestra **CMSC - 6I**. Donde se observa una masa de magnetita parcialmente reemplazada por martita-hematita, presenta textura trellis, se asocia a material transparente diseminados y vetillas secundarias de este material.

5. FOTOMICROGRAFÍA:



Escala Gráfica: ————— 90 μm .

Fotomicrografía número 2: Campo de la muestra **CMSC - 6I**. Donde se observa una masa de magnetita parcialmente reemplazada por martita, presenta textura martitización, se presenta goethita-limonita con textura coloforme en bordes asociado a material transparente diseminados y pequeñas vetillas secundarias de este material.

ESTUDIO MINERAGRÁFICO

No de Muestra: CMP - 41.

1. DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA

Roca color pardo amarillento a ocre oxidada de textura masiva constituida por óxidos e hidróxidos de Fe con fenocristales de apatita y cuarzo anhedral.

2. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Es una roca que presenta un mosaico de minerales en forma de continentes y partículas, formadas por magnetita en cristales euhedrales, parcialmente reemplazada por martita, hematita y goethita-limonita. Afectados por vetillas de mineral transparente algunos con secciones hexagonales (apatitas), presenta las texturas trellis, lamelar y martización.

3. MINERALOGÍA

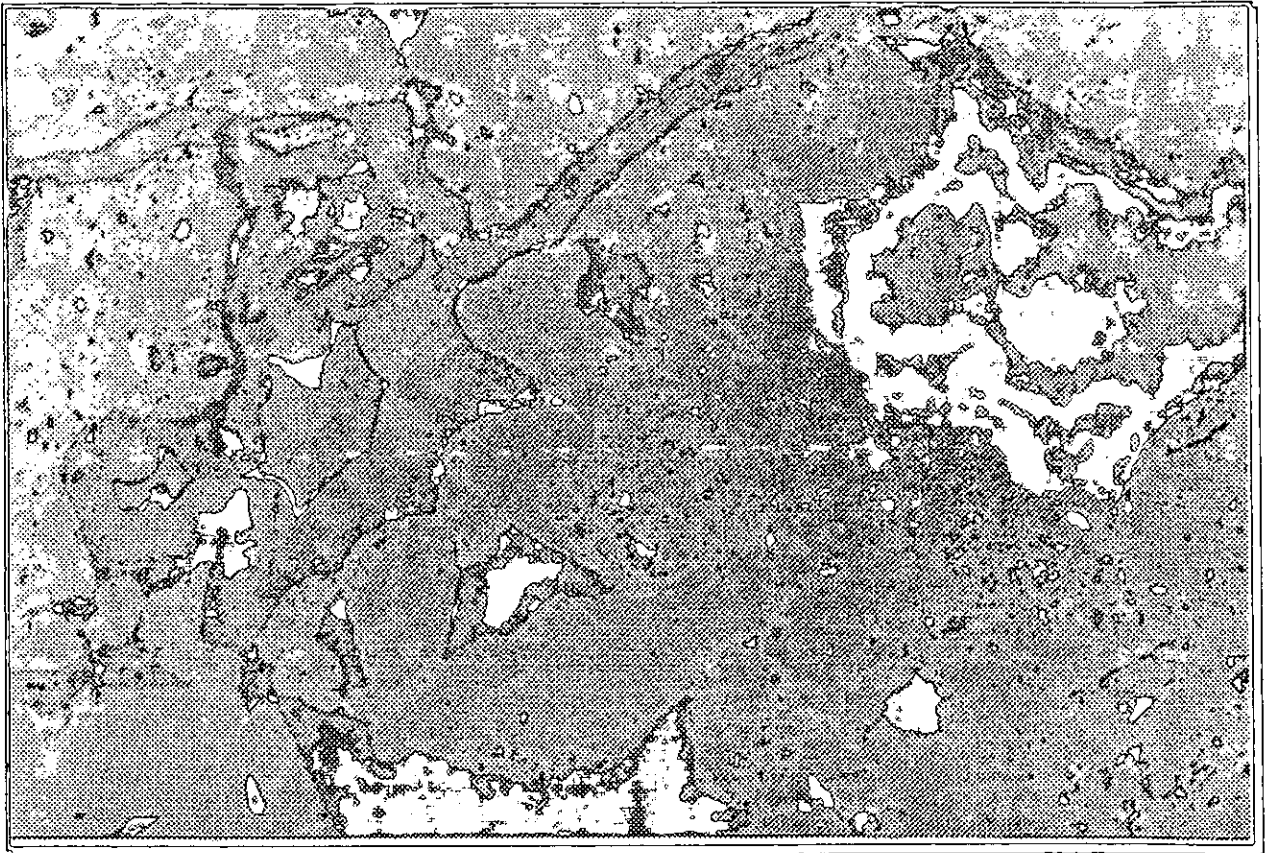
Mineral	Características
Magnetita	Forma parte del mosaico mineral y corresponde al primer mineral de Fe, que se formo, ahora queda restringido por un reemplazamiento parcial de martita, hematita y goethita-limonita, con lamelas de martita y hematita, presentando textura trellis, lamelar y martización.
Martita	Se encuentra como un reemplazamiento parcial de magnetita, presente en texturas lamelar, martización, trellis y masivo.
Hematita	Se encuentra formando parte del reemplazamiento parcial de magnetita, quedando en zonas restringidas como bordes y fracturas, asociado a goethita-limonita.
Goethita-limonita	Como producto de alteración de óxidos de Fe, asociado a la hematita, se encuentra en bordes fracturas esencialmente, como agregados y diseminados en mineral transparente, presenta texturas bandeada y coloforme.
Pirita	Son escasos y pequeños cristales anhedrales diseminados en mineral transparente.
Mineral transparente	Corresponde a cuarzo anhedral y apatita euhedrales, estos con secciones hexagonales, tabulares con terminación piramidal. Son producto de vetillas secundarias y algunos diseminados en óxidos de Fe.

CUADRO PARAGENÉTICO

Minerales	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
Magnetita	-----		
Martita	-	-----	
Hematita		---	
Goethita-Limonita			-----
Pirita	---		
Mineral transparente	-----	-----	-----

4. CLASIFICACIÓN: Corresponde mineral masivo de óxidos e hidróxidos de Fe.

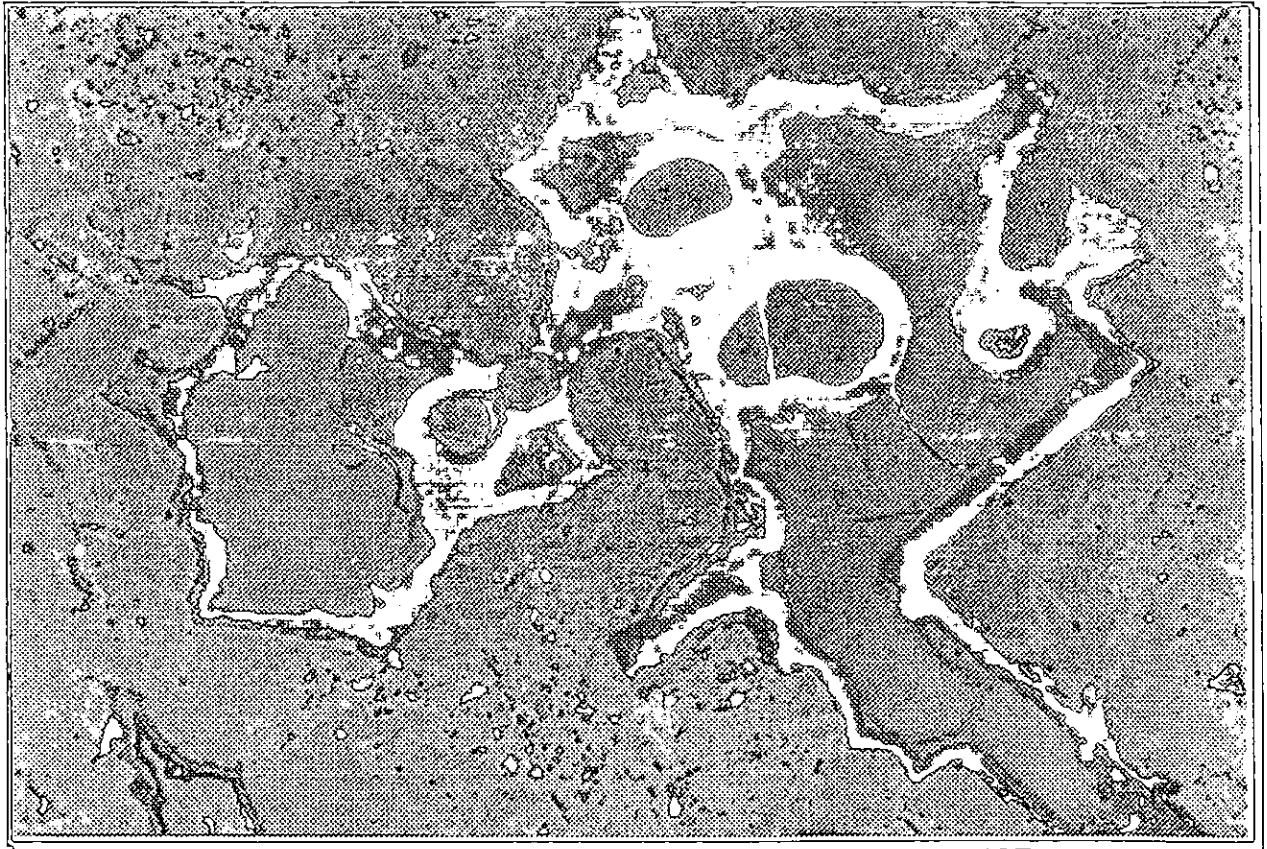
5. FOTOMICROGRAFÍA:



Escala Gráfica: ——— 90 μm .

Fotomicrografía número 1: Campo de la muestra **CMP - 41**. Donde se observa una masa de magnetita reemplazada parcialmente por martita, presenta textura de martitización, trellis y lamelar, en bordes alteración por goethita-limonita con textura colofome zonada, asociado a material transparente.

5. FOTOMICROGRAFÍA:



Escala Gráfica: ————— 90 μ m.

Fotomicrografía número 2: Campo de la muestra **CMP - 4I**. Donde se observa una masa de magnetita reemplazada parcialmente por martita, presenta textura de martitización, trellis y lamelar, en bordes y fracturas alteración por goethita-limonita con textura coliforme radiada, asociado a material transparente.

ESTUDIO MINERAGRÁFICO

No de Muestra: CMM - 5E.

1. DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA

Roca color pardo amarillento a ocre oxidada de textura masiva constituida por óxidos e hidróxidos de Fe con cristales de apatita y cuarzo anhedral.

2. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Es una roca que presenta un mosaico intersticial de mineral transparente y magnetita de cristales de euhedrales a anhedrales, parcialmente reemplazada por martita, hematita(especular) y goethita-limonita. Afectados por vetillas de mineral transparente algunos con secciones hexagonales (apatitas), presenta las texturas trellis, lamelar y martización.

3. MINERALOGÍA

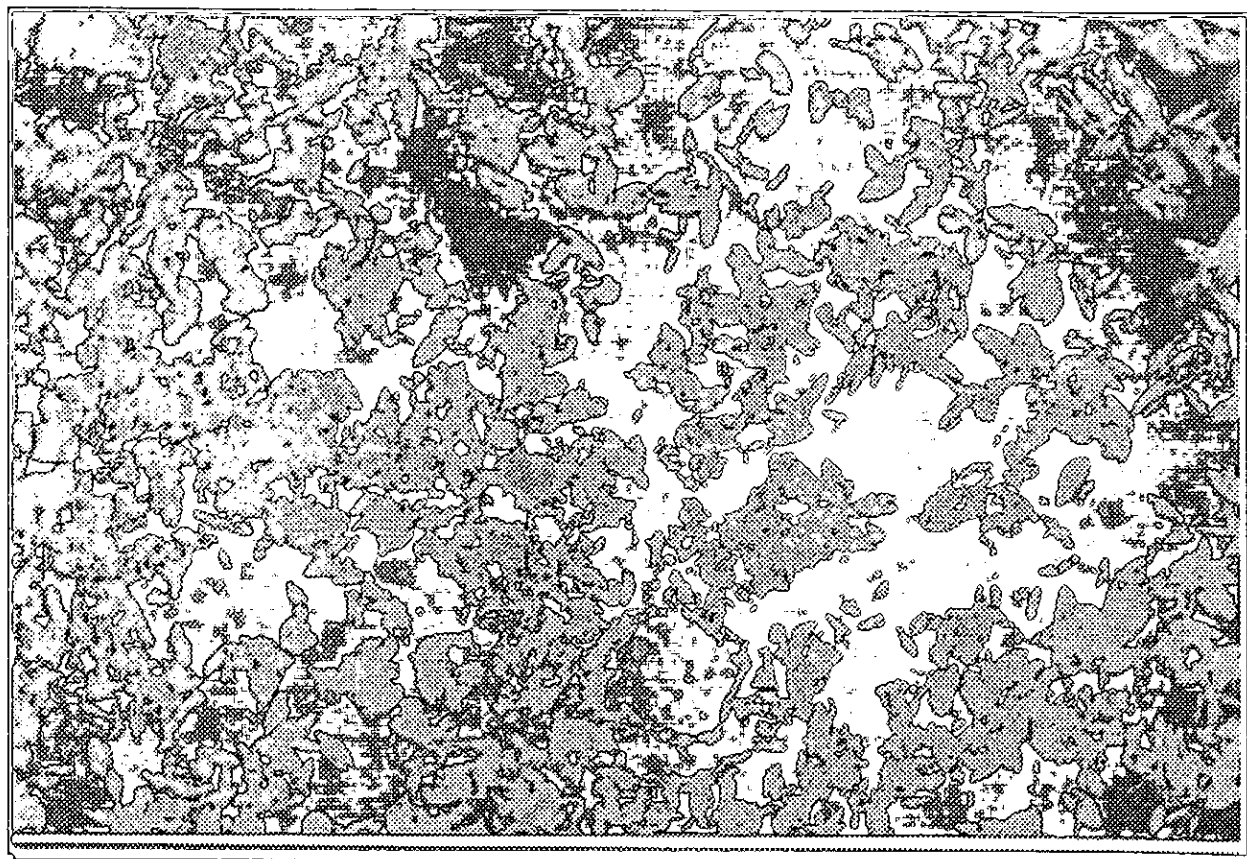
Mineral	Características
Magnetita	En forma de islas euhedrales a anhedrales, corresponde al primer mineral de Fe, que se formo, ahora queda restringido por un reemplazamiento parcial de martita, hematita y goethita-limonita, con lamelas de martita y hematita, presentando textura trellis, lamelar y martización.
Martita	Se encuentra como un reemplazamiento parcial de magnetita, presente en texturas lamelar y trellis.
Hematita	Se encuentra en forma especular, como parte del reemplazamiento parcial de magnetita, quedando en zonas restringidas como bordes y fracturas, asociado a goethita-limonita.
Goethita-limonita	Como producto de alteración de óxidos de Fe, asociado a la hematita, se encuentra en bordes fracturas esencialmente, como agregados y diseminados en mineral transparente, presenta texturas bandeada y coloforme, se asocia a mineral transparente.
Mineral transparente	Corresponde a cuarzo anhedral y apatita euhedrales, estos con secciones hexagonales, tabulares con terminación piramidal, son escasos.

CUADRO PARAGENÉTICO

Minerales	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
Magnetita	-----		
Martita		-----	
Hematita		---	--
Goethita-Limonita			-----
Mineral transparente	-----	-----	-----

4. CLASIFICACIÓN: Corresponde a mineral masivo de óxidos e hidróxidos de Fe.

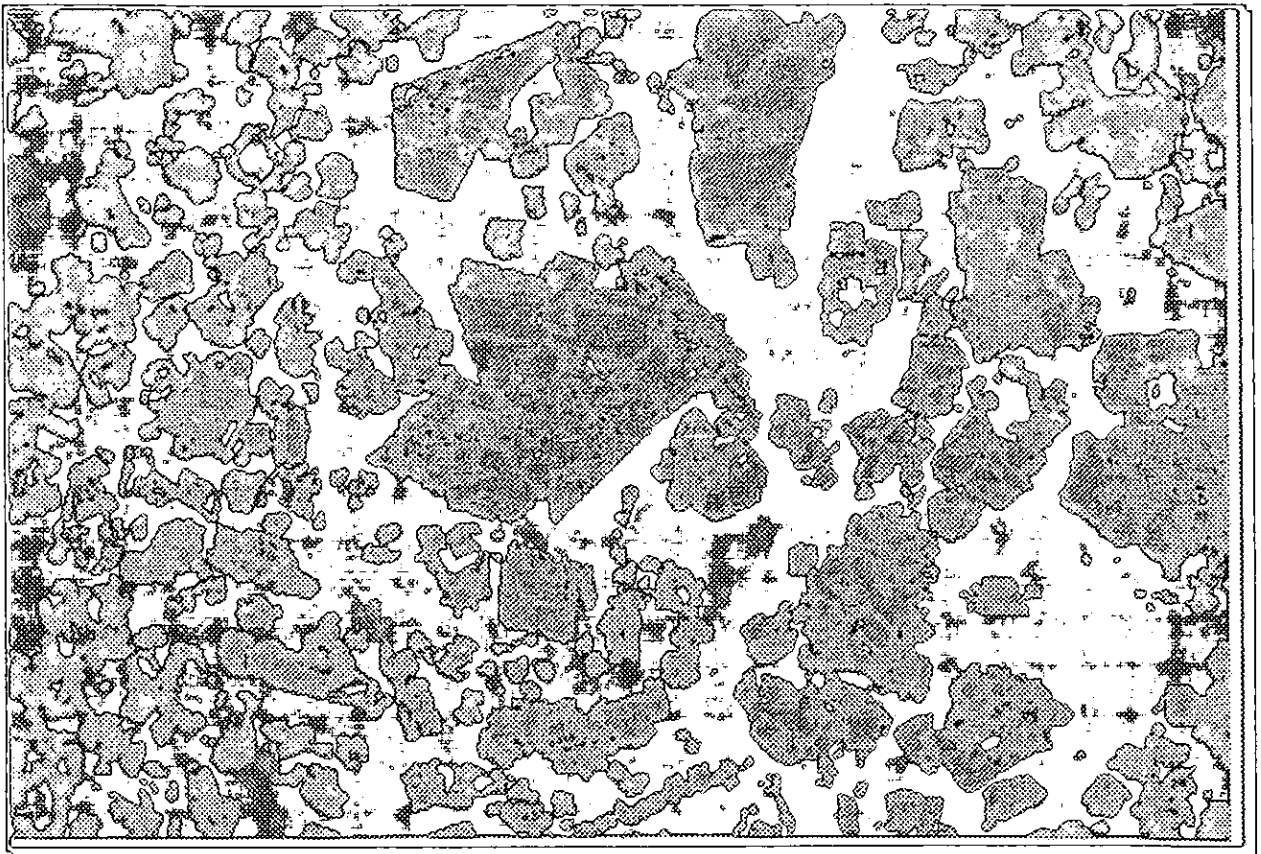
5. FOTOMICROGRAFÍA:



Escala Gráfica: ————— 90 μm .

Fotomicrografía número 1: Campo de la muestra CMM - 5E. Donde se observa un mosaico intersticial de restos de magnetita reemplazados parcialmente a total por martita-hematita de textura de martitización y abundante hematita especular (especularita), diseminados en material transparente, goethita-limonita en agregados y diseminados en material transparente.

5. FOTOMICROGRAFÍA:



Escala Gráfica: ————— 90 μm .

Fotomicrografía número 2: Campo de la muestra CMM - 5E. Donde se observan islas euhedrales a anhedrales de magnetita con reemplazamiento parcial por martita con textura de martitización, lamelas, diseminados en material transparente.

ESTUDIO MINERAGRÁFICO

No de Muestra: CME - 3E.

1. DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA

Roca color rosa textura afanítica constituida por cristales de cuarzo y feldespatos diseminados en una matriz vítrea de grano muy fino con óxidos e hidróxidos de Fe diseminados.

2. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Es una roca que presenta un mosaico intersticial de mineral transparente y magnetita de cristales anhedral, parcialmente reemplazada por martita, hematita y goethita-limonita. Afectados por vetillas de mineral transparente algunos con secciones hexagonales (apatitas), presenta las texturas trellis, lamelar y martización.

3. MINERALOGÍA

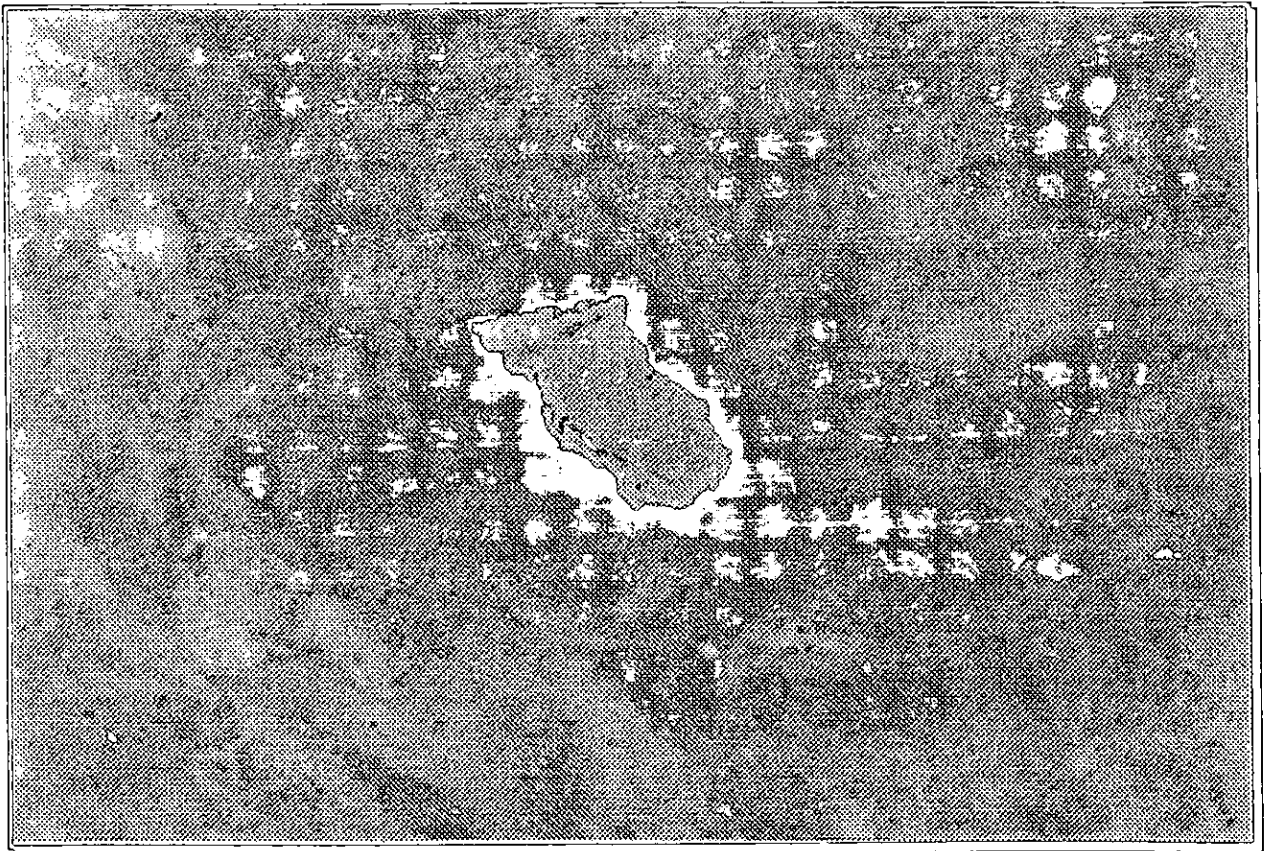
Mineral	Características
Magnetita	En forma de islas anhedral, corresponde al primer mineral de Fe, que se formo, ahora queda restringido por un reemplazamiento parcial de martita, hematita y goethita-limonita, con lamelas de martita y hematita, presentando textura trellis, lamelar y martización.
Martita	Se encuentra como un reemplazamiento parcial de magnetita, presente en texturas lamelar y trellis.
Hematita	Es escasa y se encuentra como parte del reemplazamiento parcial de magnetita, quedando en zonas restringidas como bordes y fracturas, asociado a goethita-limonita.
Goethita-limonita	Como producto de alteración de óxidos de Fe, asociado a la hematita, se encuentra en bordes fracturas esencialmente, como agregados y diseminados en mineral transparente, presenta texturas bandeada y colofome, se asocia a mineral transparente.
Pirita	Son pequeños cristales anhedral diseminados en material transparente.
Mineral transparente	Corresponde a cuarzo anhedral y apatita euhedrales, estos con secciones hexagonales, tabulares con terminación piramidal, son escasos.

CUADRO PARAGENÉTICO

Minerales	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
Magnetita	-----		
Martita		-----	
Hematita		---	--
Goethita-Limonita			-----
Pirita	--		
Mineral transparente	-----	-----	-----

4. CLASIFICACIÓN: Corresponde a una Toba de composición Rioltica con óxidos e hidróxidos de Fe.

5. FOTOMICROGRAFÍA:



Escala Gráfica: ————— 90 μm .

Fotomicrografía número 1: Campo de la muestra CME - 3E. Donde se observa una isla central de magnetita con reemplazamiento parcial de martita que presenta textura de martitización y lamelar, con bordes alterados por goethita-limonita, esta en agregados y diseminados en mineral transparente.

ESTUDIO MINERAGRÁFICO

No de Muestra: CMI - 3E.

1. DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA

Roca color gris-blanco-rosado de textura porfídica constituida por fenocristales de cuarzo, feldespatos, piroxenos y óxidos e hidróxidos de Fe diseminados.

2. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Es una roca que presenta un mosaico de mineral transparente con islas de magnetita anhedrales, parcialmente reemplazada por hematita y goethita-limonita. Afectados por vetillas de mineral transparente algunos con secciones hexagonales (apatitas), presenta las texturas sandwich, lamelar.

3. MINERALOGÍA

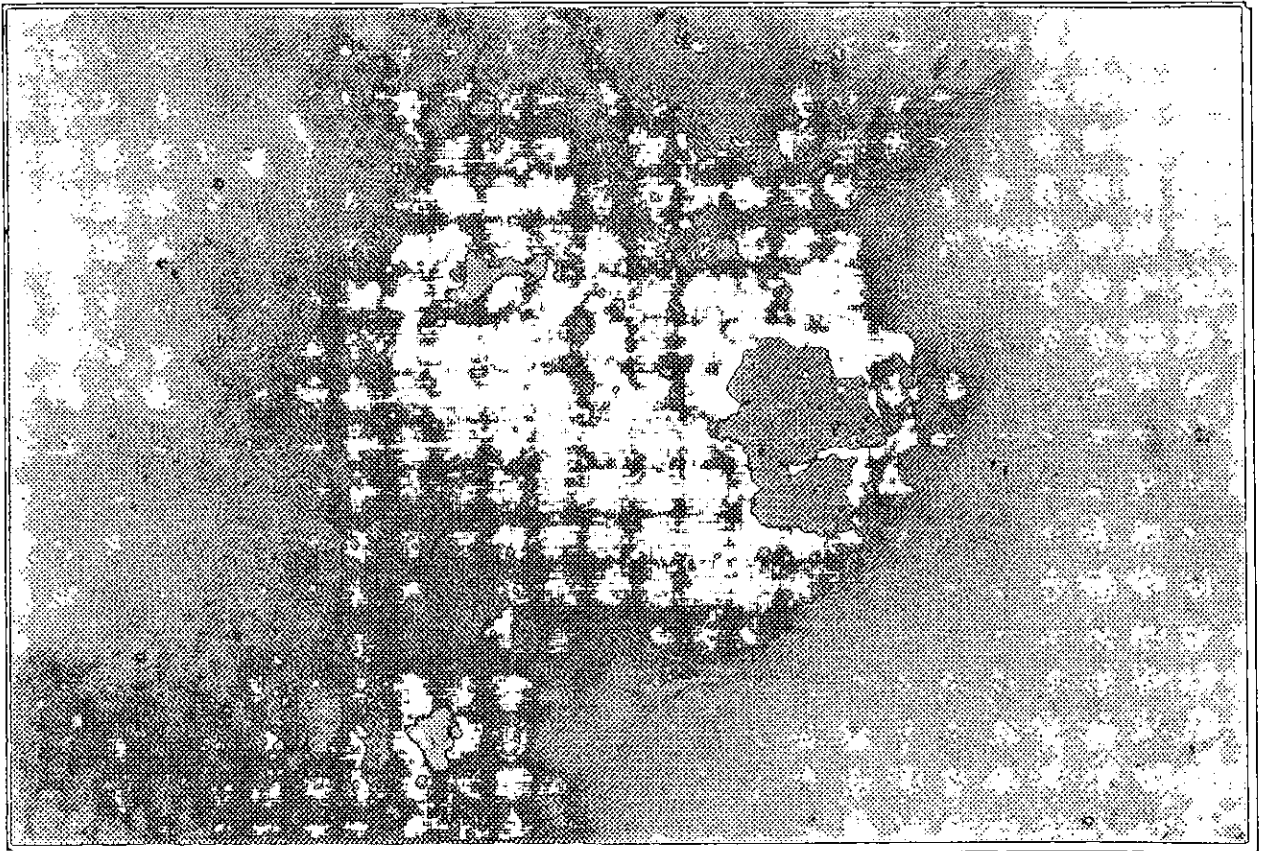
Mineral	Características
Magnetita	En forma de islas anhedrales, corresponde al primer mineral de Fe, que se formo, ahora queda restringido por un reemplazamiento parcial de hematita y goethita-limonita, presentando textura sandwich, lamelar y coloforme.
Hematita	Se encuentra como parte del reemplazamiento parcial de magnetita, quedando en zonas restringidas como bordes y fracturas, asociado a goethita-limonita, también como islas como resultado de un reemplazamiento total de magnetita.
Goethita-limonita	Como producto de alteración de óxidos de Fe, asociado a la hematita, se encuentra en bordes fracturas esencialmente, como agregados y diseminados en mineral transparente, presenta texturas bandeada y coloforme, se asocia a mineral transparente.
Mineral transparente	Corresponde a cuarzo anhedral y apatita euhedrales, estos con secciones hexagonales, tabulares con terminación piramidal, son escasos.

CUADRO PARAGENÉTICO

Minerales	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
Magnetita	-----		
Hematita		---	--
Goethita-Limonita			-----
Mineral transparente	-----	-----	-----

4. CLASIFICACIÓN: Corresponde a una Latita y/o Cuarzolatita.

5. FOTOMICROGRAFÍA:



Escala Gráfica: ————— 90 μm .

Fotomicrografía número 1: Campo de la muestra **CMI - 3E**. Donde se observan islas anhedrales de hematita, magnetita parcialmente reemplazada por hematita y goethita-limonita, diseminados en material transparente.

ESTUDIO MINERAGRÁFICO

No de Muestra: CMG - 11E.

1. DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA

Roca color ocre con lentes o bandas blancas de textura fluidal constituida por cristales de yeso y óxidos e hidróxidos de Fe, diseminados y alternados.

2. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Es una roca que presenta un mosaico de mineral transparente con islas de magnetita anhedrales, parcialmente reemplazada por hematita y goethita-limonita. Tiene una textura fluidal donde se aprecia yeso y cuarzo microcristalino alternado con óxidos e hidróxidos de Fe.

3. MINERALOGÍA

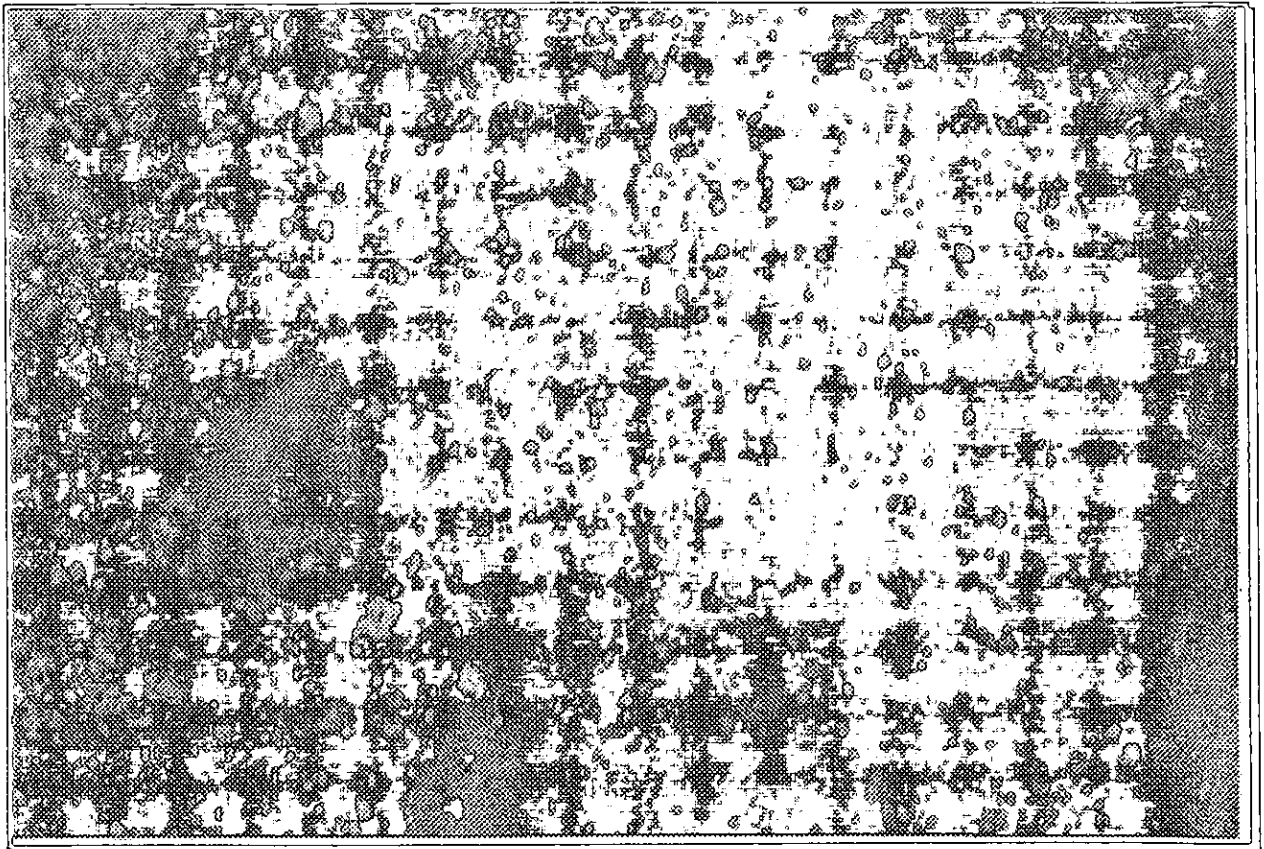
Mineral	Características
Magnetita	En forma de islas de grano fino anhedrales, reemplazadas parcialmente por hematita y goethita-limonita, presentando textura lamelar y coloforme.
Hematita	Se encuentra como parte del reemplazamiento parcial de magnetita, quedando en zonas restringidas como bordes y fracturas, asociado a goethita-limonita, también como islas como resultado de un reemplazamiento total de magnetita.
Goethita-limonita	Como producto de alteración de óxidos de Fe, asociado a la hematita, se encuentra en bordes fracturas esencialmente, como agregados y diseminados en mineral transparente, presenta texturas bandeada y coloforme, se asocia a mineral transparente.
Mineral transparente	Corresponde a yeso y cuarzo anhedral microcristalino, alternados con óxidos e hidróxidos de Fe.

CUADRO PARAGENÉTICO

Minerales	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
Magnetita	-----		
Hematita		-----	--
Goethita-Limonita			-----
Mineral transparente	-----	-----	-----

4. CLASIFICACIÓN: Corresponde a mineral de Fe, diseminados en material transparente.

5. FOTOMICROGRAFÍA:



Escala Gráfica: ————— 90 μm .

Fotomicrografía número : Campo de la muestra **CMG - 11E**. Donde se observa un mosaico intersticial de material transparente e islas anhedrales de hematita, pirita, como agregados y diseminados en material transparente goethita-limonita.

ESTUDIO MINERAGRÁFICO

No de Muestra: CMG - 1I.

1. DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA

Roca color ocre con lentes o bandas blancas de textura fluidal constituida por cristales de yeso y óxidos e hidróxidos de Fe, diseminados y alternados.

2. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Es una roca que presenta un mosaico de mineral transparente con islas de magnetita anhedrales, parcialmente reemplazada por hematita y goethita-limonita. Tiene una textura fluidal donde se aprecia yeso y cuarzo microcristalino alternado con óxidos e hidróxidos de Fe.

3. MINERALOGÍA

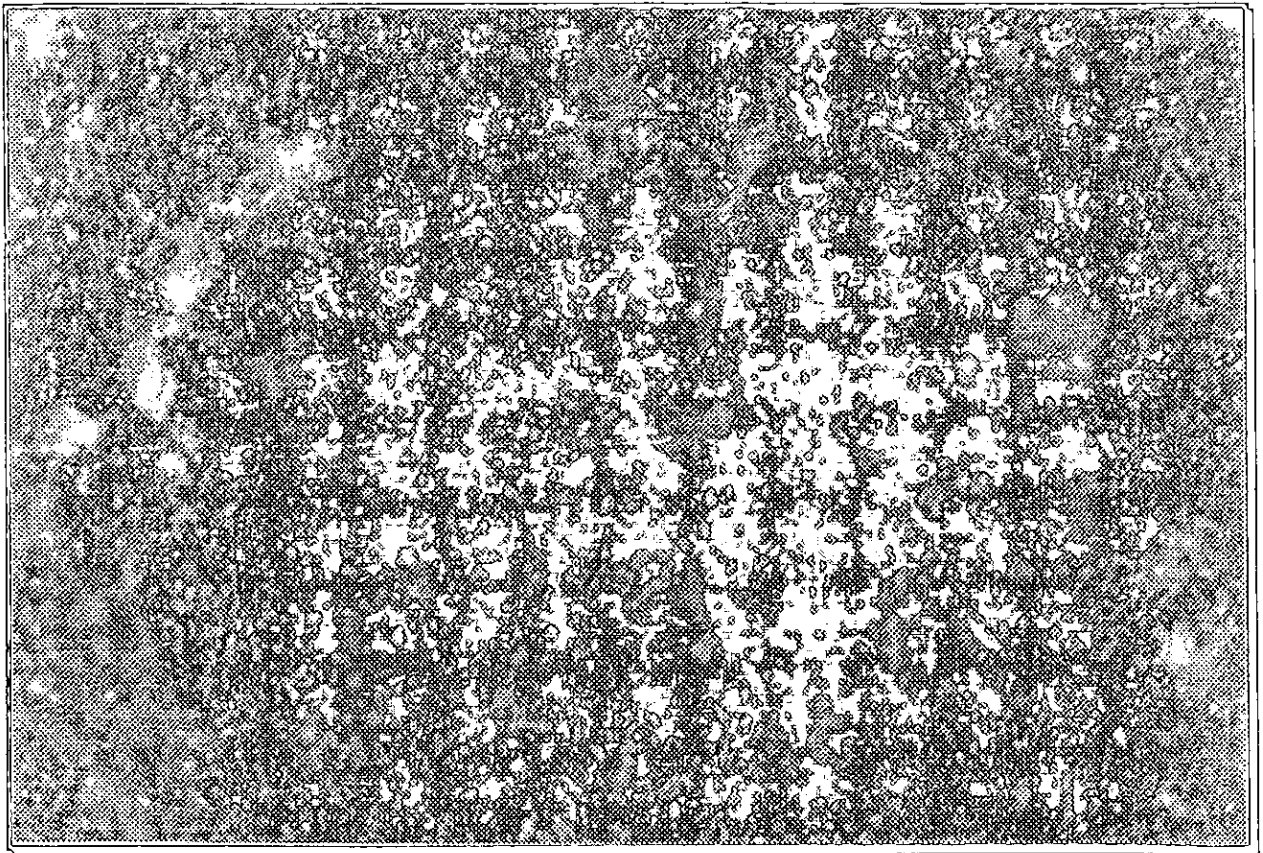
Mineral	Características
Magnetita	En forma de islas de grano fino anhedrales, reemplazadas parcialmente por hematita y goethita-limonita, presentando textura lamelar y coloforme.
Hematita	Se encuentra como parte del reemplazamiento parcial de magnetita, quedando en zonas restringidas como bordes y fracturas, asociado a goethita-limonita, también como islas como resultado de un reemplazamiento total de magnetita.
Goethita-limonita	Como producto de alteración de óxidos de Fe, asociado a la hematita, se encuentra en bordes fracturas esencialmente, como agregados y diseminados en mineral transparente, presenta texturas bandeada y coloforme, se asocia a mineral transparente.
Mineral transparente	Corresponde a yeso y cuarzo anhedral microcristalino, alternados con óxidos e hidróxidos de Fe.

CUADRO PARAGENÉTICO

Minerales	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
Magnetita	-----		
Hematita		----	--
Goethita-Limonita			-----
Mineral transparente	-----	-----	-----

4. CLASIFICACIÓN: Corresponde a mineral de Fe, diseminados en material transparente.

5. FOTOMICROGRAFÍA:



Escala Gráfica: _____ 90 μm .

Fotomicrografía número 1: Campo de la muestra **CMG - 11**. Donde se observa un mosaico intersticial de material transparente e islas anhedrales de hematita, pirita, como agregados y diseminados en material transparente goethita-limonita.

ESTUDIO MINERAGRÁFICO

No de Muestra: CMMC - 3I.

1. DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA

Roca color pardo amarillento a ocre oxidada de textura masiva constituida por óxidos e hidróxidos de Fe con fenocristales de apatita y cuarzo anhedral.

2. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Es una roca que presenta un mosaico intersticial de mineral transparente y magnetita en masas e islas anhedrales a euhedrales, parcialmente reemplazada por martita, hematita y goethita-limonita. Presenta las texturas trellis, lamelar y martización, El mineral transparente corresponde a apatitas euhedrales y cuarzo anhedral asociados a goethita-limonita en bordes y fracturas.

3. MINERALOGÍA

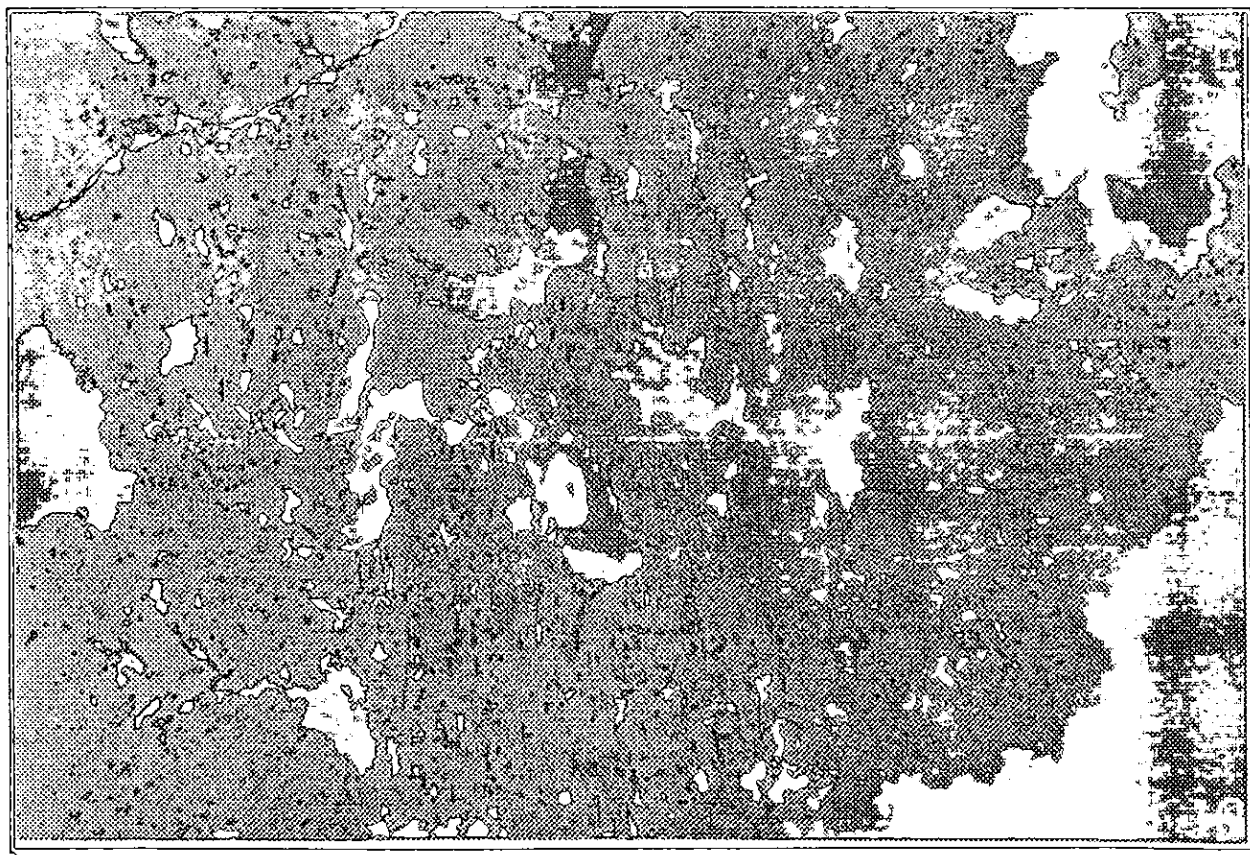
Mineral	Características
Magnetita	En forma de masas e islas anhedrales a euhedrales, corresponde al primer mineral de Fe, que se formo, ahora queda restringido por un reemplazamiento parcial de martita, hematita y goethita-limonita, presentando textura trellis, lamelar y martización.
Martita	Se encuentra como un reemplazamiento parcial de magnetita, presente en texturas lamelar y trellis.
Hematita	Es escasa y se encuentra como parte del reemplazamiento parcial de magnetita, quedando en zonas restringidas como bordes y fracturas, asociado a goethita-limonita.
Goethita-limonita	Como producto de alteración de óxidos de Fe, asociado a la hematita, se encuentra en bordes fracturas esencialmente, como agregados y diseminados en mineral transparente, presenta texturas bandeada y coloforme, se asocia a mineral transparente.
Mineral transparente	Corresponde a cuarzo anhedral y apatita euhedrales, estos con secciones hexagonales, tabulares con terminación piramidal.

CUADRO PARAGENÉTICO

Minerales	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
Magnetita	-----		
Martita		-----	
Hematita		---	--
Goethita-Limonita			-----
Mineral transparente	-----	-----	-----

4. CLASIFICACIÓN: Corresponde a mineral masivo de óxidos e hidróxidos de Fe con apatitas euhedrales.

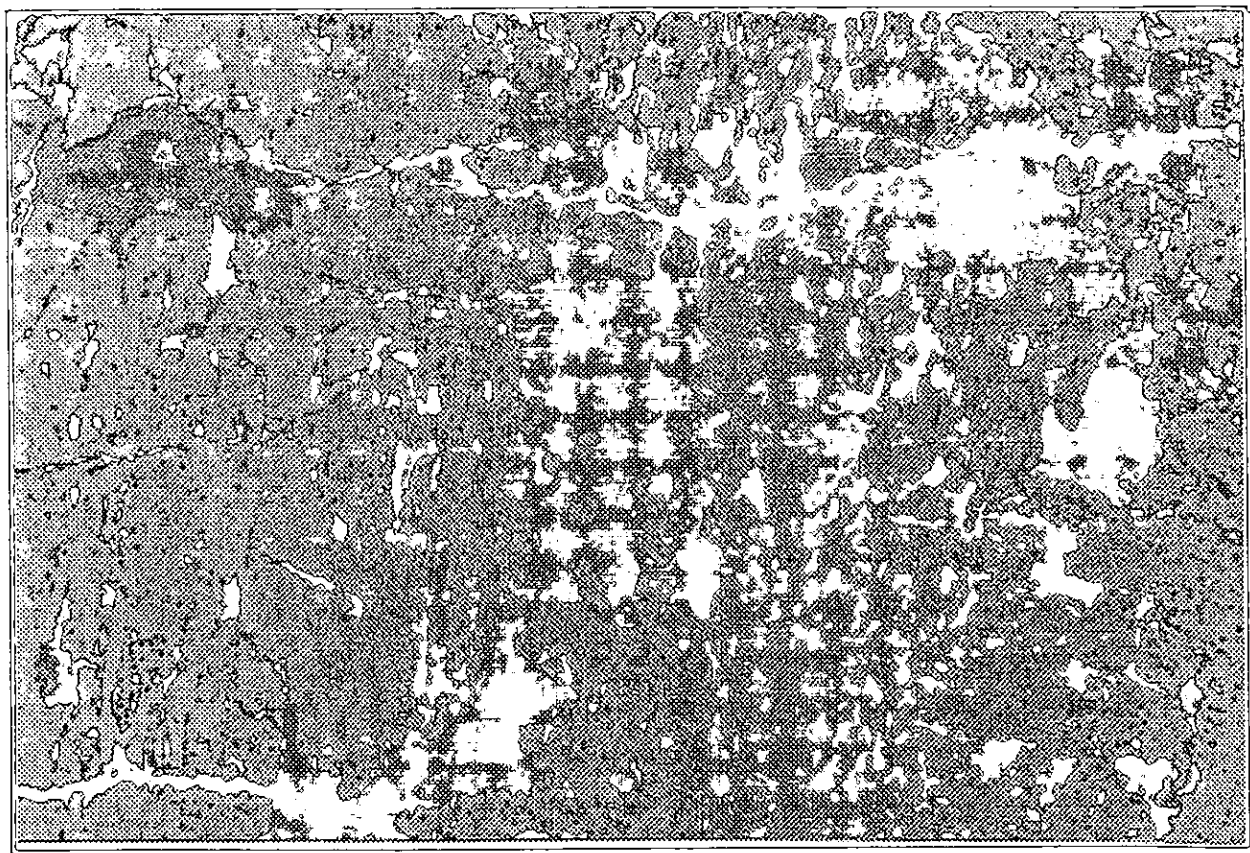
5. FOTOMICROGRAFÍA:



Escala Gráfica: _____ 90 μm .

Fotomicrografía número 1: Campo de la muestra CMMC - 3I. Donde se observa una masa de magnetita con alteración parcial por marrita y goethita-limonita, asociadas zonas con material transparente.

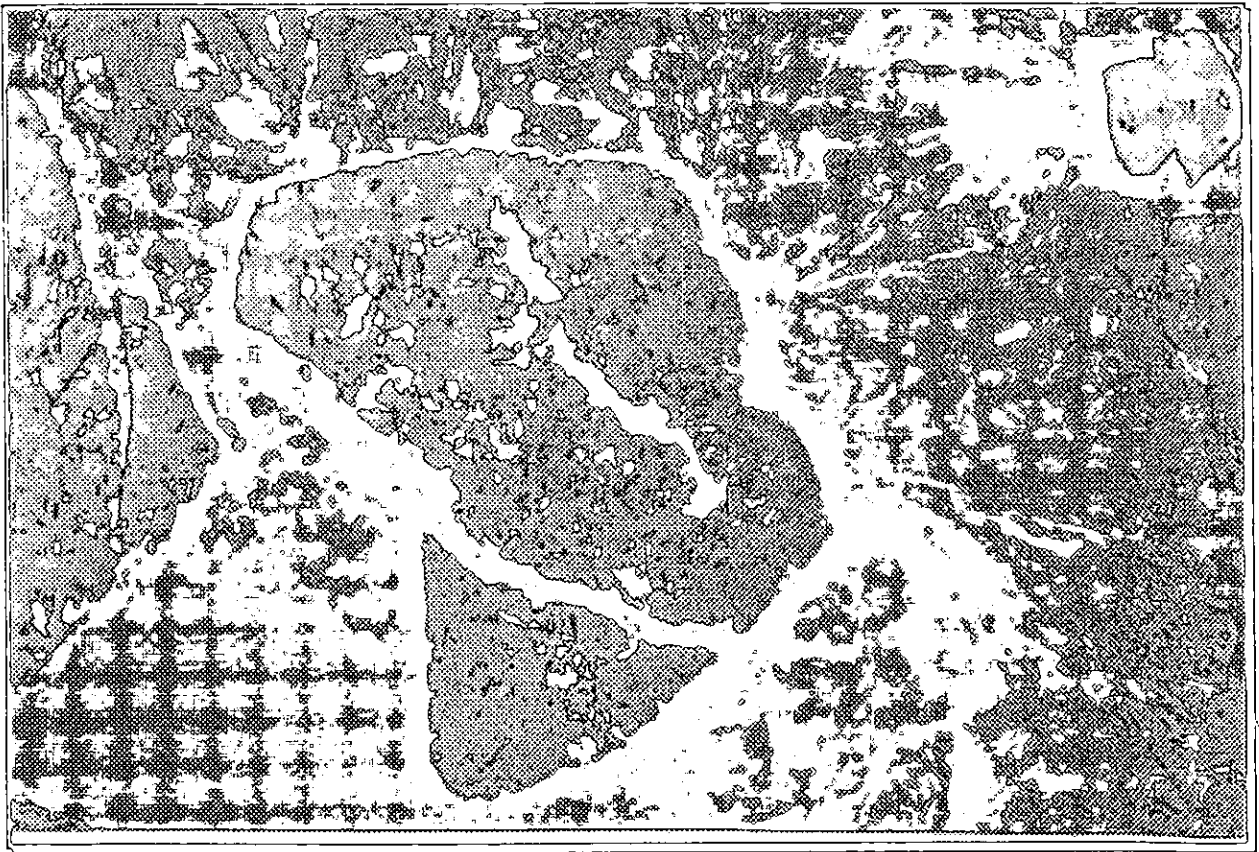
5. FOTOMICROGRAFÍA:



Escala Gráfica: _____ 90 μm .

Fotomicrografía número 2: Campo de la muestra CMMC - 3I. Donde se observa una masa de magnetita con alteración parcial por martita y goethita-limonita con textura coloforme, asociadas zonas con material transparente y vetillas secundarias de material transparente y goethita-limonita.

5. FOTOMICROGRAFÍA:



Escala Gráfica: _____ 90 μm .

Fotomicrografía número 3: Campo de la muestra CMMC - 3I. Donde se observan cristales subhedrales a euhedrales de magnetita con alteración parcial a total por martita y goethita-limonita con textura coloforme radiada, afectados por vetillas secundarias de material transparente y goethita-limonita diseminados y en agregados.

ESTUDIO MINERAGRÁFICO

No de Muestra: CMSO - 1E.

1. DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA

Roca color gris-blanco con motas verdes de textura porfídica constituida por fenocristales de piroxenos, feldspatos y cuarzo, con óxidos de Fe diseminados.

2. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Es una roca que presenta un mosaico intersticial de mineral transparente y magnetita en masas e islas anhedrales a subhedrales, parcialmente reemplazada por martita, hematita y goethita-limonita. Presenta las texturas trellis, lamelar y martización.

3. MINERALOGÍA

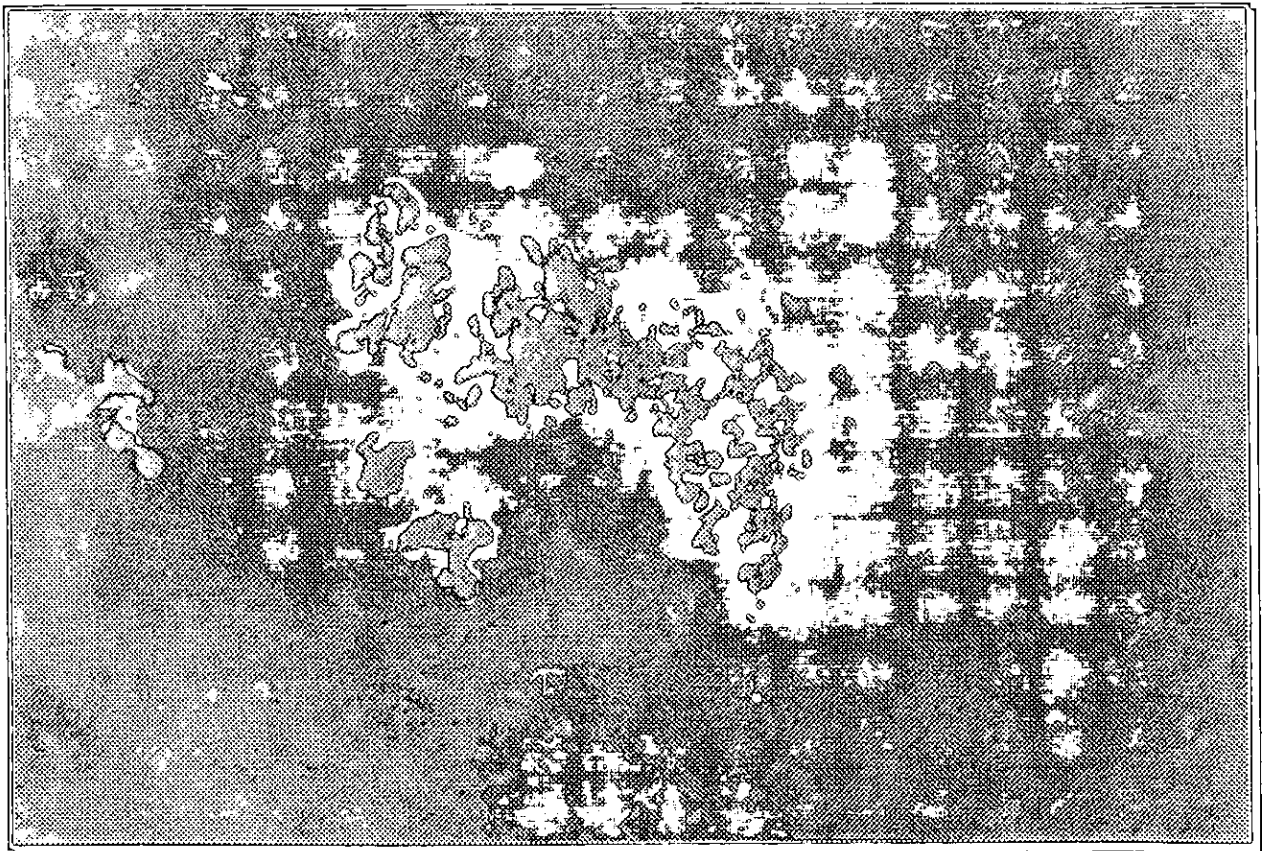
Mineral	Características
Magnetita	En forma de masas e islas anhedrales a subhedrales, corresponde al primer mineral de Fe, que se formó, ahora queda restringido por un reemplazamiento parcial de martita, hematita y goethita-limonita, presentando textura trellis, lamelar y martización.
Martita	Se encuentra como un reemplazamiento parcial de magnetita, presente en texturas lamelar y trellis.
Hematita	Se encuentra como parte del reemplazamiento parcial de magnetita, quedando en zonas restringidas como bordes y fracturas, asociado a goethita-limonita.
Goethita-limonita	Como producto de alteración de óxidos de Fe, asociado a la hematita, se encuentra en bordes fracturas esencialmente, como agregados y diseminados en mineral transparente, presenta texturas bandeada y colorme, se asocia a mineral transparente.
Mineral transparente	Corresponde a piroxenos, feldspatos y cuarzo con diseminados de óxidos e hidróxidos de Fe.

CUADRO PARAGENÉTICO

Minerales	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
Magnetita	-----		
Martita		-----	
Hematita		---	--
Goethita-Limonita			-----
Mineral transparente	-----	-----	-----

4. CLASIFICACIÓN: Corresponde a un Skarn con diseminados de óxidos de Fe.

5. FOTOMICROGRAFÍA:



Escala Gráfica: _____ 90 μm .

Fotomicrografía número 1: Campo de la muestra CMSO - 1E. Donde se observan islas anhedrales de hematita, a la izquierda una pequeña de magnetita con zonas alterados por hematita y manchones de goethita-limonita.

ESTUDIO MINERAGRÁFICO

No de Muestra: CHU - 1E.

1. DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA

Roca color rosa de textura piroclástica-porfídica constituida por fenocristales de cuarzo euhedrales, diseminados en una matriz microcristalina con óxidos de Fe diseminados.

2. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Roca de textura porfídica, que presenta un mosaico intersticial de mineral transparente e islas diseminados de magnetita en cristales euhedrales a anhedrales, parcialmente reemplazada por martita, hematita y goethita-limonita. Presenta las texturas trellis y lamelar.

3. MINERALOGÍA

Mineral	Características
Magnetita	En forma de islas euhedrales a anhedrales, afectada por un reemplazamiento parcial de martita, hematita y goethita-limonita, presentando textura trellis y lamelar.
Martita	Se encuentra como un reemplazamiento parcial de magnetita, presente en texturas lamelar y trellis.
Hematita	Se encuentra como parte del reemplazamiento parcial de magnetita, quedando en zonas restringidas como bordes y fracturas, asociado a goethita-limonita.
Goethita-limonita	Como producto de alteración de óxidos de Fe, asociado a la hematita, se encuentra en bordes fracturas esencialmente, como agregados y diseminados en mineral transparente, presenta texturas bandeada y coloforme, se asocia a mineral transparente.
Pirita	Son pequeños cristales anhedrales diseminados en material transparente.
Mineral transparente	Corresponde a fenocristales de cuarzo euhedral a anhedral y feldespatos en una matriz microcristalina, con óxidos de Fe diseminados.

CUADRO PARAGENÉTICO

Minerales	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
Magnetita	-----		
Martita		-----	
Hematita		---	--
Goethita-Limonita			-----
Pirita	--		
Mineral transparente	-----	-----	-----

4. CLASIFICACIÓN: Corresponde a Toba Lítica de composición Riolítica parcialmente devitrificada, con óxidos e hidróxidos de Fe diseminados.

APÉNDICE B: PETROGRAFÍA.

SECCIÓN DE PETROGRAFÍA

MÉTODO DE ESTUDIO

INTRODUCCIÓN:

El siguiente estudio tiene como objetivo principal caracterizar las rocas que fueron obtenidas de un muestreo en mina y alrededores, asociadas a los minerales de Fe. Procedentes de Cerro de Mercado, Durango, así como la identificación de la mineralogía y el estado de las mismas.

MÉTODO DE ESTUDIO:

El estudio se realizó a 14 muestras y abarcó los siguientes pasos:

- a) Descripción megascópica de las muestras con ejemplar de mano bajo el microscopio estereoscopio.
- b) Elaboración de láminas delgadas.
- c) Descripción de las láminas delgadas bajo el microscopio petrográfico.
- d) Toma de fotomicrografías al microscopio empleando campos observados con nícoles cruzados y luz transmitida. Nota las fotomicrografías fueron tomadas con un objetivo de 2.5 pol. y un ocular de 10 X.

Los resultados del estudio se presentan a continuación:

ESTUDIO PETROGRÁFICO

Clave de la Muestra: CMBO - 2I.

1. DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA:

Roca color pardo amarillento a ocre oxidada de textura masiva constituida por óxidos e hidróxidos de Fe, fenocristales de apatita y cuarzo anhedral, tiene una textura brechoide rica en óxidos de Fe.

2. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

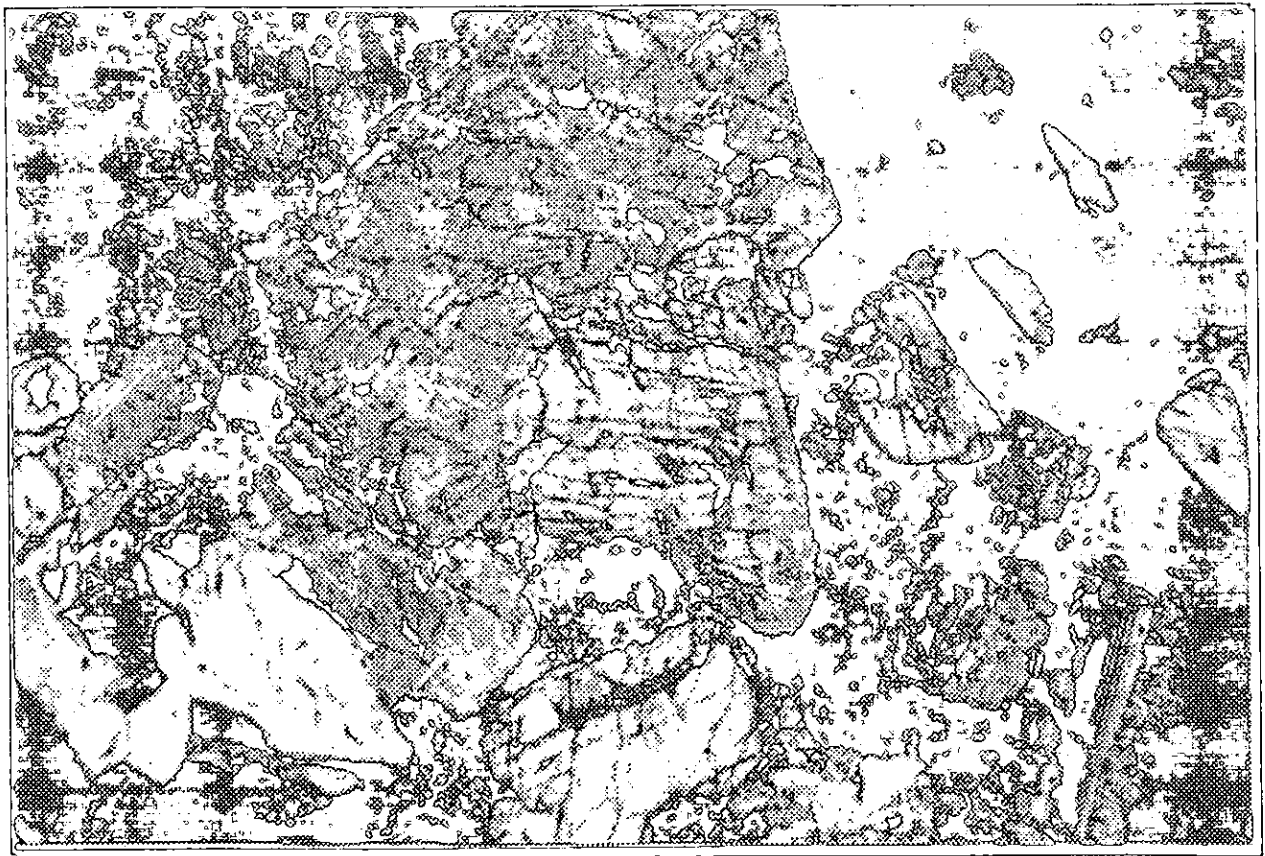
Roca de textura porfídica, constituida por un mosaico de minerales muy alterados los cuales corresponden a feldespato, plagioclasa, piroxenos, cuarzo y minerales opacos diseminados en una matriz fina de cuarzo-feldespato. Las alteraciones presentes son: sericitización, argilitización, epidotización (en vetillas, se asocia con cuarzo, fractura a cristales de feldespato) y silicificación.

3. MINERALOGÍA:

MINERALES	CARACTERÍSTICAS
<i>Plagioclasa (oligoclasa-andesina)</i>	Fenocristales euhedrales a subhedrales, algunos presentan fracturamiento con una alteración parcial a sericita, presentan zonamiento y maclado, se aprecia intersticialmente con piroxenos, presentan alteración parcial por minerales arcillosos, algunos fracturados por vetillas de epidota asociado con cuarzo.
<i>Piroxenos (Hedenbergita-Diópsido)</i>	Fenocristales anhedrales muy fracturados intersticiales con plagioclasas y diseminados en el mosaico mineral, con alteración parcial de la matriz, óxidos de hierro y epidotización.
<i>Hornblenda</i>	Son escasos y pequeños cristales que quedan restringidos mostrando una alteración parcial por óxidos de Fe.
<i>Feldespato (Ortoclasa)</i>	Fenocristales euhedrales a subhedrales, presentan fracturamiento con una alteración parcial a sericita.
<i>Cuarzo</i>	Escasos fenocristales anhedrales, en mosaico mineral asociado a minerales opacos y diseminados en matriz.
<i>Minerales Opacos</i>	Diseminados en la matriz con alteración parcial de óxidos de Fe.
<i>Apatita</i>	Son finos cristales euhedrales tabulares con terminación bipiramidal, se encuentran incluidos en plagioclasas.
<i>Óxidos de Fe.</i>	Se encuentran en el mosaico mineral y matriz, como producto de una alteración parcial de ferromagnesianos y minerales opacos.
<i>Matriz</i>	Es de grano fino y está compuesta de cuarzo-feldespato con óxidos de Fe y epidota.

4. CLASIFICACIÓN DE LA ROCA: Corresponde a una Brecha rica en mineral de Fe, zona de alteración: sericitización-epidotización-silicificación-argilitización.

5. Fotomicrografía.



Escala Gráfica: _____ 0.5 mm.

Fotomicrografía número 1: Campo de la muestra CMBO - 2I. Donde se observa un mosaico de fenocristales intersticiales de plagioclasa y piroxeno, presentando alteración y reemplazamiento por minerales arcillosos, óxidos de Fe y una silicificación parcial asociada a óxidos.

ESTUDIO PETROGRÁFICO

Clave de la Muestra: CMB – 2E.

1. DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA:

Roca color pardo amarillento a ocre oxidada de textura porfídica constituida por fenocristales de apatita y cuarzo anhedral, tiene una textura brechoide con mineralización rica en óxidos de Fe.

2. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

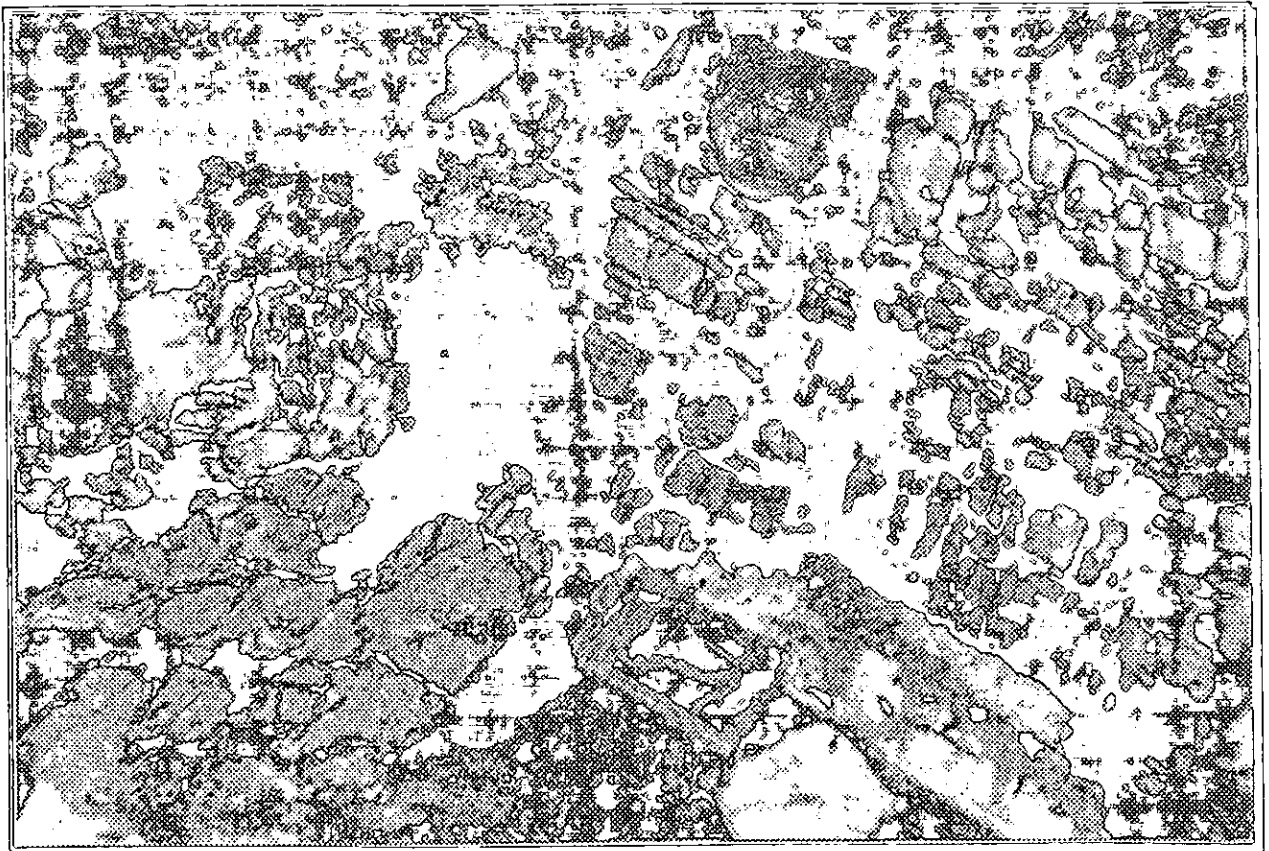
Roca de textura brechoide-porfídica, constituida por fenocristales de plagioclasa, piroxenos, minerales opacos, hornblenda (escasa), los fenocristales están fracturados y alterados, se encuentran diseminados en una matriz carbonatada y afectados por una incipiente epidotización, asociado a material arcilloso, con agregados o manchones de óxidos de Fe y minerales opacos diseminados.

3. MINERALOGÍA:

MINERALES	CARACTERÍSTICAS
Plagioclasa seriadas (oligoclasa-andesina)	Fenocristales fracturados en su mayoría de euhedrales a subhedrales, presentan textura zonada y maclada, con una alteración parcial a sericita, se encuentran diseminados en la matriz.
Piroxenos (Hedenbergita-Diópsido)	Fenocristales fracturados y alterados por minerales opacos, óxidos de Fe y material arcillosos, diseminados en la matriz.
Matriz	Esta carbonatada con abundancia de material arcillosos y minerales opacos, así como óxidos e hidróxidos de Fe y una incipiente epidotización.
Hornblenda	Escasos fenocristales fracturados diseminados en matriz.
Apatita	Son finos y pequeños cristales euhedrales tabulares con terminación piramidal que se encuentran asociados a vetillas con minerales opacos.
Minerales opacos	Se encuentran en vetillas afectando al mosaico mineral, se asocian cristales de apatita, como reemplazamiento de piroxenos y diseminados en la matriz, en algunos se aprecia el borde alterado por óxidos de Fe.
Óxidos de Fe.	Se encuentran diseminados en la muestra, alterando a minerales ferromagnesianos y minerales opacos.

4. CLASIFICACIÓN DE LA ROCA: Corresponde a una zona de brecha con mineralización de Fe, asociado una carbonatación e incipiente epidotización.

5. Fotomicrografía.



Escala Gráfica: ————— 0.5 mm.

Fotomicrografía número 2: Campo de la muestra CMB – 2E. Donde se observan fenocristales de plagioclasa de textura seriada, zonados y maclados, algunos fracturados y piroxenos fracturados con alteración parcial por minerales opacos y óxidos de Fe, diseminados en una matriz carbonatada, afectados por vetillas de minerales opacos y apatito.

ESTUDIO PETROGRÁFICO

Clave de la Muestra: CMBC- 4E.

1. DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA:

Roca color pardo amarillento a ocre oxidada de textura masiva constituida por óxidos e hidróxidos de Fe con fenocristales de apatita y cuarzo anhedral, tiene una textura brechoide rica en óxidos de Fe.

2. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

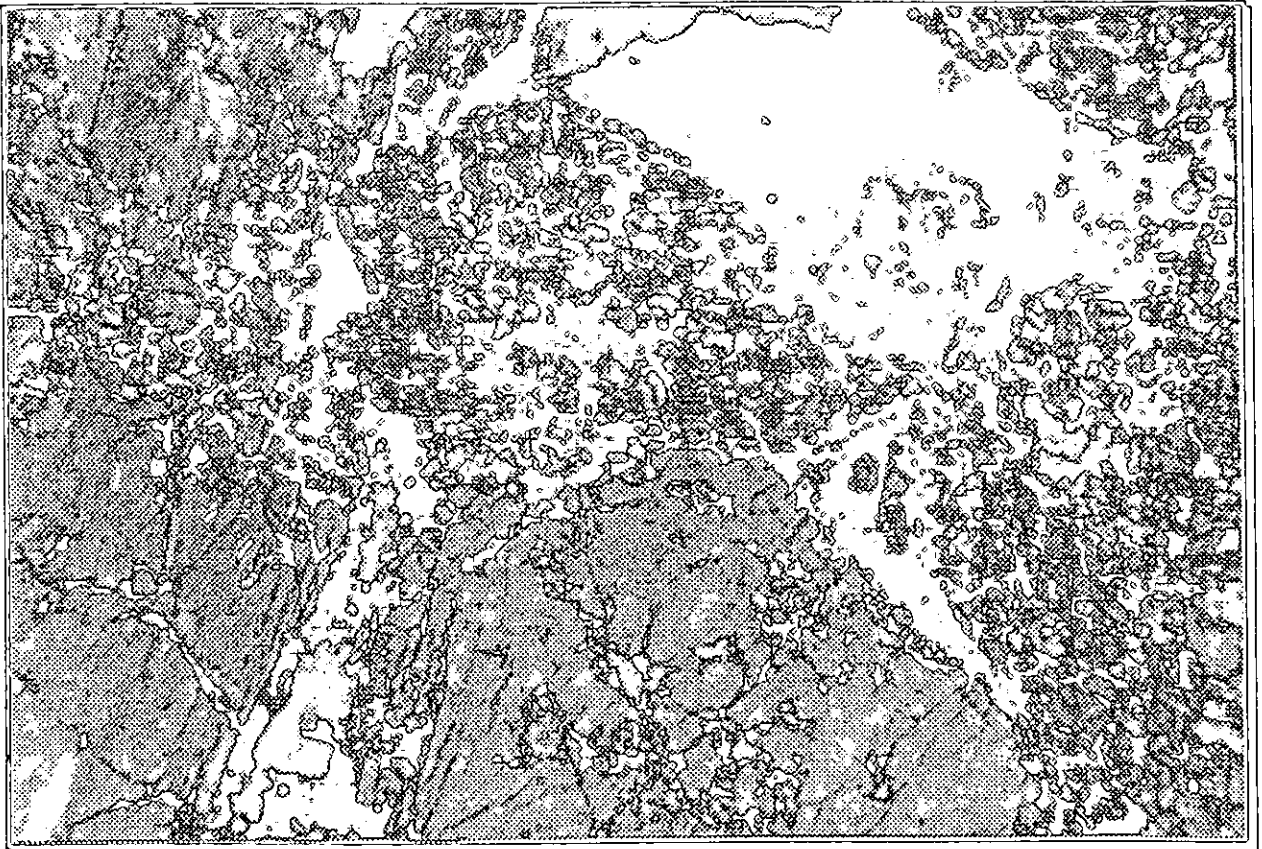
Roca de textura brechoide-porfídica, constituida por fenocristales de piroxenos, plagioclasa, intersticiales con pequeños cristales de cuarzo y algunos minerales opacos, se presentan segregaciones de carbonatos como cementante, asociados a sílice con una devitrificación parcial, presentan textura bandeada y coloforme con inclusiones de minerales opacos alterados parcialmente por óxidos de Fe.

3. MINERALOGÍA:

MINERALES	CARACTERÍSTICAS
<i>Piroxeno (Hedenbergita- Diópsido)</i>	Fenocristales euhedrales a subhedrales, con crecimiento intersticial con otros piroxenos y con pequeños cristales de cuarzo, con inclusiones de minerales opacos por reemplazamiento parcial de estos en fracturas y bordes, en contacto con cementante silíceo (calcedonia con minerales arcillosos y óxidos de Fe).
<i>Cuarzo</i>	Pequeños cristales anhedrales intersticiales o incluidos en fenocristales de piroxenos y como cementante en bandas o coronas, con textura coloforme, variolítica, esferulítica (calcedonia), algunos presentan puntos triples.
<i>Plagioclasa (oligoclasa- andesina)</i>	Escasos fenocristales subhedrales con inclusiones de cuarzo y minerales opacos.
<i>Matriz</i>	Esta constituida de segregaciones de carbonato(calcita), calcedonia y vidrio por devitrificación parcial presenta textura bandeada y coloforme, se encuentra en contacto con piroxenos, asociado a óxidos de Fe y minerales arcillosos.
<i>Minerales opacos</i>	Se encuentran diseminados en la matriz y en piroxenos en bordes principalmente con alteración por óxidos de Fe.
<i>Óxidos de Fe.</i>	Se encuentran diseminados en la muestra y forma zonas como manchones, alterando a minerales ferromagnesianos y minerales opacos.

4. CLASIFICACIÓN DE LA ROCA: Corresponde a una zona de brecha asociada a un skarn.

5. Fotomicrografía.



Escala Gráfica: _____ 0.5 mm.

Fotomicrografía número 3: Campo de la muestra CMBC - 4E. Donde se observan fenocristales de anhedrales a subhedrales de piroxeno, fracturados, alterados y reemplazados por minerales arcillosos, óxidos de Fe, carbonatos y calcedonia (devitrificación), se aprecian intersticiales a cristales de cuarzo en vetillas asociadas a minerales opacos.

ESTUDIO PETROGRÁFICO

Clave de la Muestra: CMF - 2E.

1. DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA:

Roca color pardo amarillento a ocre oxidada de textura masiva constituida por óxidos e hidróxidos de Fe con fenocristales de apatita y cuarzo anhedral.

2. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

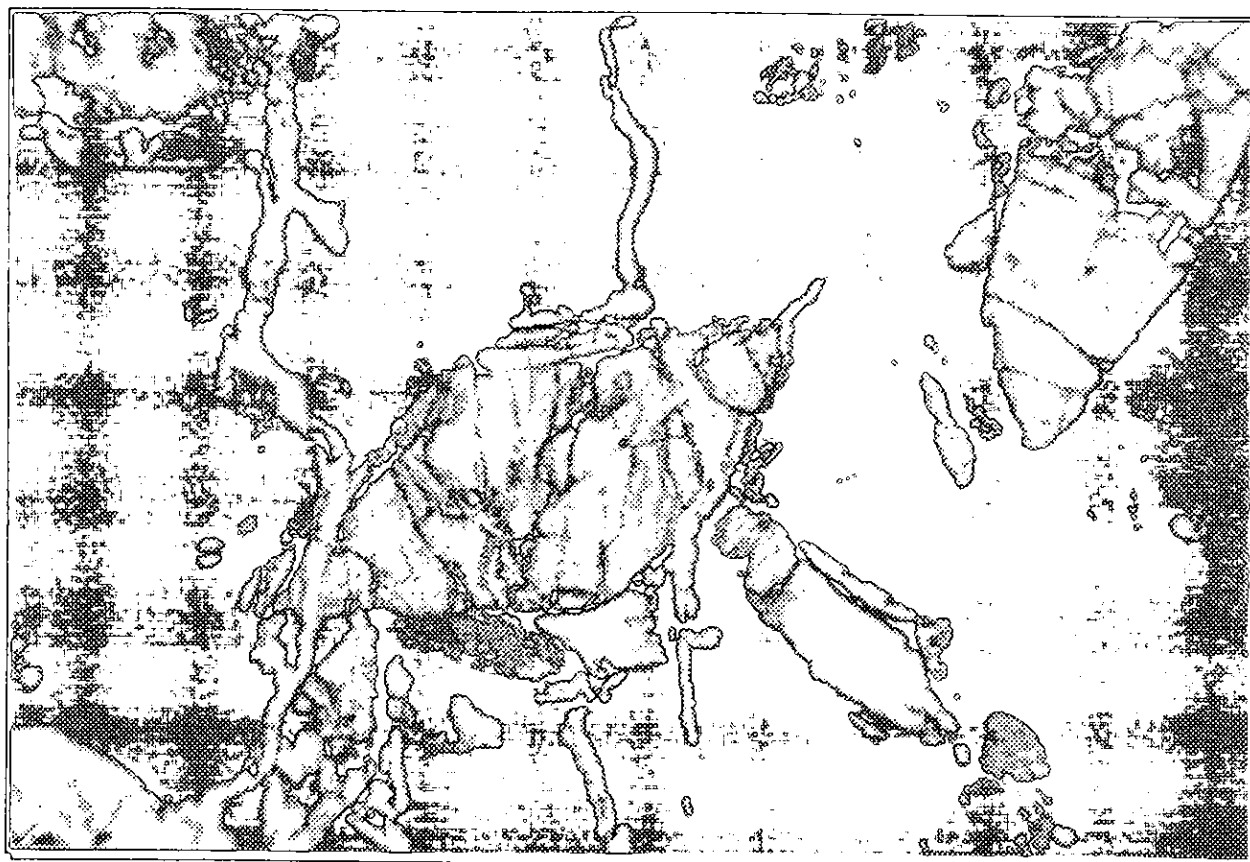
Es una roca que presenta un mosaico de minerales en forma de masas, formadas por minerales opacos, afectadas por vetillas de cuarzo con apatita, asociados óxidos e hidróxidos de Fe y material arcilloso.

3. MINERALOGÍA:

MINERALES	CARACTERÍSTICAS
<i>Minerales opacos</i>	Se encuentran formando una masa la cual esta siendo intrusionada por vetillas de cuarzo asociado con cristales de apatita, con alteración parcial en bordes o fracturas por óxidos de Fe.
<i>Cuarzo</i>	En vetillas como pequeños cristales anhedrales asociados a cristales de apatita y óxidos e hidróxidos de Fe.
<i>Apatita</i>	En pequeños cristales, asociado a cuarzo en vetillas.
<i>Óxidos de Fe.</i>	Se encuentran diseminados en vetillas y en bordes o fracturas como alteración de los minerales opacos.

4. CLASIFICACIÓN DE LA ROCA: Corresponde a una zona de mineralización de Fe masivo con una afectación terminal de vetillas de cuarzo asociado a apatita.

5. Fotomicrografía.



Escala Gráfica: _____ 0.5 mm.

Fotomicrografía número 4: Campo de la muestra CMSC - 3E. Donde se observan fenocristales de apatito, piroxeno, cuarzo intersticiales en una masa de mineral opaco, afectados por un evento secundario evidenciado por vetillas de calcita.

ESTUDIO PETROGRÁFICO

Clave de la Muestra: CMSC- 3E.

1. DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA:

Roca color pardo amarillento a ocre oxidada de textura masiva constituida por óxidos e hidróxidos de Fe con fenocristales de apatita euhedrales y cuarzo anhedral.

2. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

Roca de textura porfídica, constituida por minerales opacos y fenocristales de piroxenos parcialmente reemplazados por óxidos de Fe, intersticiales con pequeños cristales de cuarzo y apatita, se presentan vetillas secundarias de carbonatos (calcita), asociado cuarzo policristalino que intrusionan a la mineralogía antes descrita, en piroxenos una epidotización incipiente.

3. MINERALOGÍA:

MINERALES	CARACTERÍSTICAS
<i>Minerales opacos</i>	Se encuentran diseminados en la matriz y en piroxenos en bordes principalmente con alteración por óxidos de Fe.
<i>Apatita</i>	Como fenocristales euhedrales, con coronas, bordes y fracturas con inclusiones de óxidos de Fe, en contacto con piroxenos y pequeños cristales de cuarzo, intrusionados por vetillas de calcita y cuarzo.
<i>Piroxeno (Hedenbergita-Diópsido)</i>	Fenocristales anhedrales a subhedrales, con crecimiento intersticial con pequeños cristales de cuarzo y apatita, con inclusiones de minerales opacos por reemplazamiento parcial de estos en fracturas y bordes, con una epidotización incipiente.
<i>Cuarzo</i>	Pequeños cristales anhedrales intersticiales o incluidos en fenocristales de piroxeno y apatita.
<i>Calcita (vetillas)</i>	Se encuentra en vetillas secundarias las cuales intrusionan al mosaico mineral, asociado cuarzo.
<i>Óxidos de Fe.</i>	Se encuentran diseminados en vetillas, en bordes y fracturas de piroxeno, apatita, cuarzo y minerales opacos.

4. CLASIFICACIÓN DE LA ROCA: Corresponde a una zona de Skarn, con mineralización de Fe.

5. Fotomicrografía.



Escala Gráfica: ———— 0.5 mm.

Fotomicrografía número 5: Campo de la muestra CMM – 21. Donde se observan bandas paralelas de minerales opacos, piroxenos fracturados y parcialmente reemplazados por minerales opacos y óxidos e hidróxidos de Fe, cuarzo policristalino asociado a minerales opacos, afectados por vetillas secundarias de calcita.

ESTUDIO PETROGRÁFICO

Clave de la Muestra: CMP - 41.

1. DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA:

Roca color pardo amarillento a ocre oxidada de textura masiva constituida por óxidos e hidróxidos de Fe con fenocristales de apatita y cuarzo anhedral.

2. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

Roca de textura masiva, la cual presenta un mosaico de mineral opaco con diseminados de escasos cristales de cuarzo, carbonatos(calcita) y apatitas, presentan alteración en sus bordes y fracturas por óxidos de Fe.

3. MINERALOGÍA:

MINERALES	CARACTERÍSTICAS
<i>Minerales opacos</i>	Se encuentran formando un mosaico en el cual diseminados se encuentran cristales de cuarzo, apatita y calcita.
<i>Cuarzo</i>	En pequeños cristales anhedrales diseminados con óxidos de Fe en bordes y fracturas.
<i>Apatita</i>	En cristales euhedrales diseminados en minerales opacos, con óxidos de Fe en fracturas y bordes.
<i>Calcita</i>	En cristales anhedrales diseminados en mineral opaco, con óxidos de Fe en bordes y fracturas.
<i>Óxidos de Fe.</i>	Se encuentran diseminados y en bordes de apatita, cuarzo, calcita y como alteración de los minerales opacos.

4. CLASIFICACIÓN DE LA ROCA: Corresponde a una zona de mineralización masiva de Fe.

ESTUDIO PETROGRÁFICO

Clave de la Muestra: CMMI – 2I.

1. DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA:

Roca color pardo amarillento a ocre oxidada de textura masiva constituida por óxidos e hidróxidos de Fe con cristales de apatita y cuarzo anhedral.

2. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

Roca de textura masiva, la cual presenta un mosaico intersticial de mineral opaco, piroxeno, cuarzo y carbonatos(calcita), presentan alteración en sus bordes y fracturas por óxidos de Fe.

3. MINERALOGÍA:

MINERALES	CARACTERÍSTICAS
<i>Minerales opacos</i>	Se encuentra como principal constituyente del mosaico mineral en forma de bandas, intercalado con cuarzo, piroxeno y afectado por vetillas de calcita, con alteración en bordes y fracturas por óxidos e hidróxidos de Fe.
<i>Piroxenos (Hedenbergita-Diópsido)</i>	En cristales anhedrales en forma de bandas intercalado con minerales opacos y cuarzo, con reemplazamiento parcial de minerales opacos y óxidos e hidróxidos de Fe, afectados por vetillas de calcita.
<i>Cuarzo</i>	Como agregados policristalinos anhedrales en bandas paralelas asociado a minerales opacos, intercalado con piroxenos y minerales opacos, afectado por vetillas de calcita.
<i>Calcita</i>	En vetillas secundarias afectando a los minerales presentes.
<i>Óxidos de Fe.</i>	Se encuentran diseminados, en fracturas y bordes de los minerales presentes y como alteración de los minerales opacos y piroxenos.

4. CLASIFICACIÓN DE LA ROCA: Corresponde a una zona masiva mineralizada en Fe.

ESTUDIO PETROGRÁFICO

Clave de la Muestra: CME - 3I.

1. DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA:

Roca de color rojo-rosa con manchones o motas rojo oscuras y blancas, compacta, de textura piroclástica, constituida por escasos cristales de feldespato, cuarzo y óxidos de Fe.

2. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

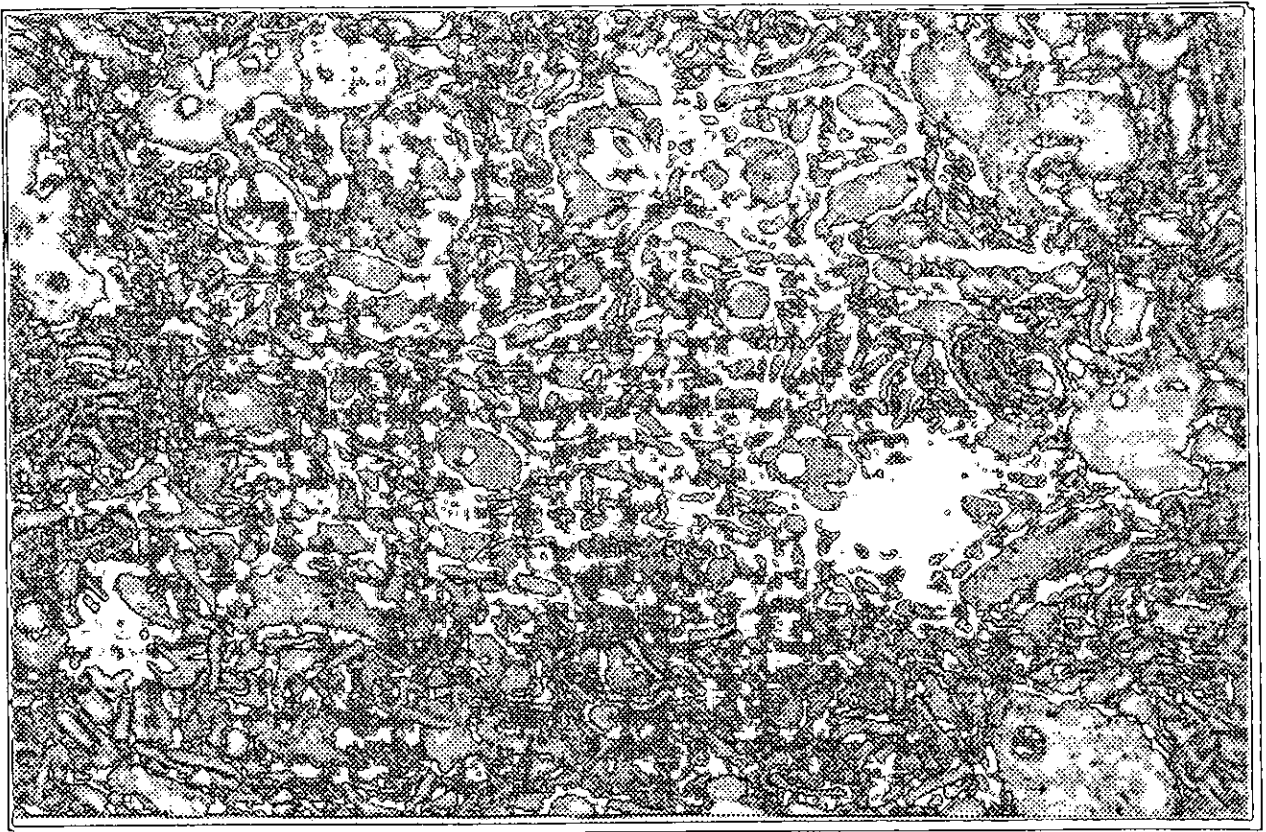
Roca de textura piroclástica, constituida por fragmentos de feldespato, plagioclasa, cuarzo, esquirlas de vidrio de composición ácida y escasa hornblenda, la mayoría de los fenocristales están fracturados y se encuentran diseminados en una matriz vítrea con vesículas y/o esferulitas de composición ácida (sobresaturada en sílice) parcialmente devitrificada, con gran contenido de agregados o manchones de óxidos de Fe y minerales opacos diseminados.

3. MINERALOGÍA:

MINERALES	CARACTERÍSTICAS
Plagioclasa zonada (oligoclasa-andesina)	Fenocristales fracturados en su mayoría de euhedrales a subhedrales, presentan textura zonada y maclada, con una alteración parcial a sericita; se encuentran diseminados en la matriz.
Sanidino	Escasos fenocristales euhedrales a subhedrales, fracturados, se encuentran diseminados en la matriz.
Matriz	Esta constituida de vidrio de composición ácida, con zonas en las cuales se agrupan óxidos de Fe.
Esquirlas de vidrio	Se aprecian abundantes, son de composición ácida y se encuentran diseminados en la matriz.
Fragmentos de roca ?	Estos son de la misma composición que la roca examinada, con la diferencia que se encuentran con una mayor alteración, algunos presentan textura de fluidez.
Cuarzo	Fragmentos subanguloso a redondeados diseminados en la matriz.
Esferulitas	Se presentan remplazando a la matriz vítrea siguiendo planos preferenciales, por asociación se supone tienen una composición de feldespato K y cristobalita (son muy abundantes).
Hornblenda	Se encuentran escasos fenocristales muy fracturados, diseminados en la matriz y alterados por óxidos de Fe.
Apatita	Son finos y pequeños cristales euhedrales tabulares con terminación piramidal que se encuentran incluidos en feldespato y biotita.
Minerales opacos	Se encuentran diseminados en la matriz, en algunos se aprecia el borde alterado por óxidos de Fe.
Óxidos de Fe.	Se encuentran diseminados en la muestra y forma zonas como manchones, alterando a minerales ferromagnesianos.

4. CLASIFICACIÓN DE LA ROCA: Toba vítrea de composición Riolítica parcialmente devitrificada.

5. Fotomicrografía.



Escala Gráfica: ————— 0.5 mm.

Fotomicrografía número 6: Campo de la muestra CME - 31. Donde se observa un mosaico formado por abundantes esquirlas de vidrio, minerales diseminados y agregados de óxidos de Fe, la matriz presenta una devitrificación parcial.

ESTUDIO PETROGRÁFICO

Clave de la Muestra: CMI - 1E.

1. DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA:

Roca color gris-blanco-rosado de textura porfídica constituida por fenocristales de cuarzo, feldespatos, piroxenos y óxidos e hidróxidos de Fe diseminados.

2. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

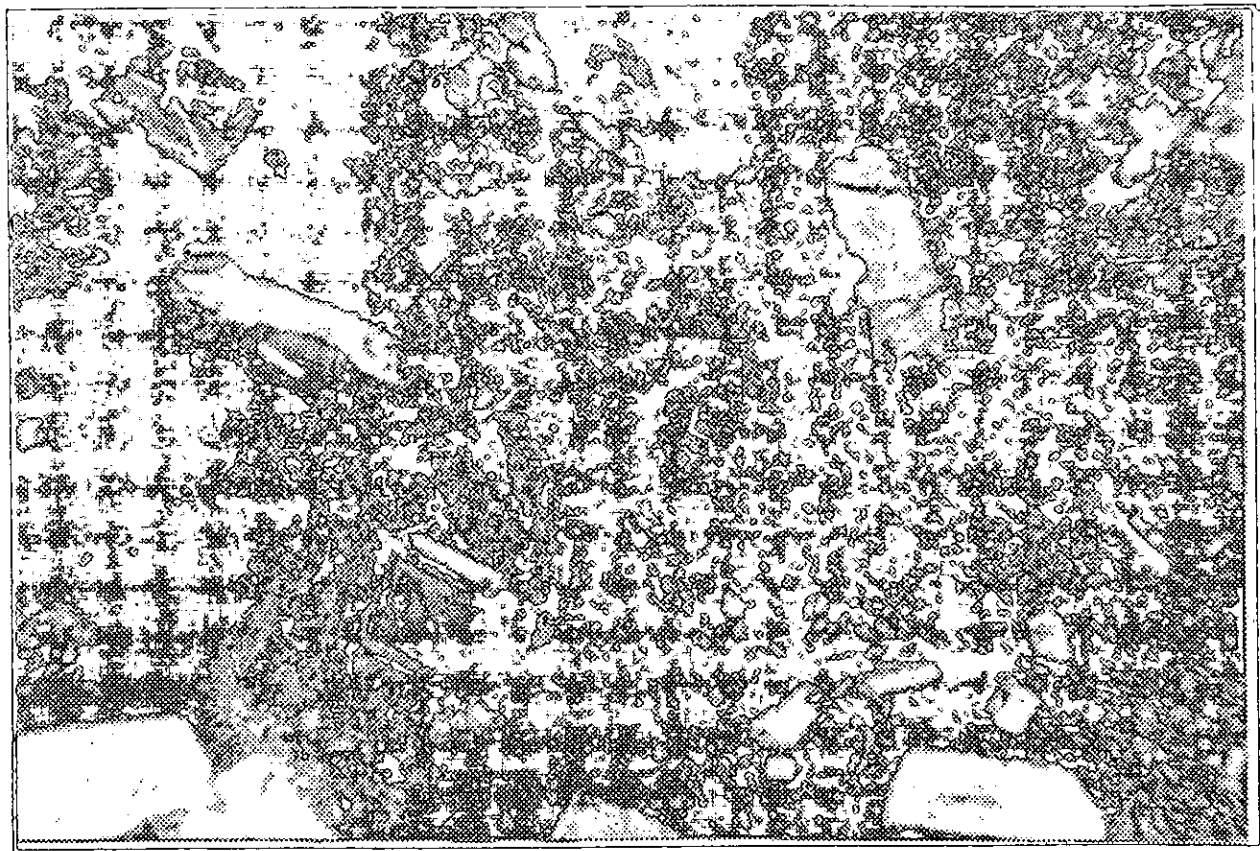
Roca de textura porfírica, constituida por fenocristales de plagioclasa, piroxenos, cuarzo, minerales opacos con texturas glomeroporfídica y intersectal, algunos de los fenocristales están fracturados y se encuentran diseminados en una matriz de sílice criptocristalino asociado a una devitrificación parcial, asociado a material arcillosos, con agregados o manchones de óxidos de Fe y minerales opacos diseminados, presenta una incipiente epidotización.

3. MINERALOGÍA:

MINERALES	CARACTERÍSTICAS
<i>Plagioclasa seriadas (oligoclasa-andesina)</i>	Fenocristales fracturados en su mayoría de euhedrales a subhedrales, presentan textura zonada y maclada, con una alteración parcial a sericita, se encuentran diseminados en la matriz.
<i>Piroxenos (Hedenbergita-Diópsido)</i>	Fenocristales fracturados y muy alterados por minerales opacos, óxidos de Fe, incipiente epidotización y material arcillosos, diseminados en la matriz.
<i>Cuarzo</i>	Fenocristales amboides anhedrales diseminados en la matriz.
<i>Matriz</i>	Esta silicificada y carbonatada con abundancia de material arcillosos y minerales opacos, así como óxidos e hidróxidos de Fe, presenta una devitrificación parcial e incipiente epidotización.
<i>Apatita</i>	Son finos y pequeños cristales euhedrales tabulares con terminación piramidal que se encuentran incluidos en fenocristales de plagioclasa.
<i>Minerales opacos</i>	Se encuentran como reemplazamiento de piroxenos y diseminados en la matriz, en algunos se aprecia el borde alterado por óxidos de Fe.
<i>Óxidos de Fe.</i>	Se encuentran diseminados en la muestra y forma zonas como manchones, alterando a minerales ferromagnesianos y minerales opacos.

4. CLASIFICACIÓN DE LA ROCA: Corresponde a un cuerpo intrusivo (Latita y/o Cuarzolatita) afectado por una sericitización-carbonatación-incipiente epidotización, removilizando a minerales opacos y concluyendo con una devitrificación parcial.

5. Fotomicrografía.



Escala Gráfica: _____ 0.5 mm.

Fotomicrografía número 7: Campo de la muestra CMI - 1E. Donde se observan fenocristales de plagioclasa de textura seriada, zonados y maclados, algunos fracturados y piroxenos fracturados con alteración parcial por minerales opacos y óxidos de Fe, diseminados en una matriz silicificada-carbonatada con una devitificación parcial.

ESTUDIO PETROGRÁFICO

Clave de la Muestra: CMG - 41.

1. DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA:

Roca color ocre con lentes o bandas blancas de textura fluidal constituida por cristales de cuarzo, plagioclasa y óxidos e hidróxidos de Fe, diseminados y alternados.

2. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

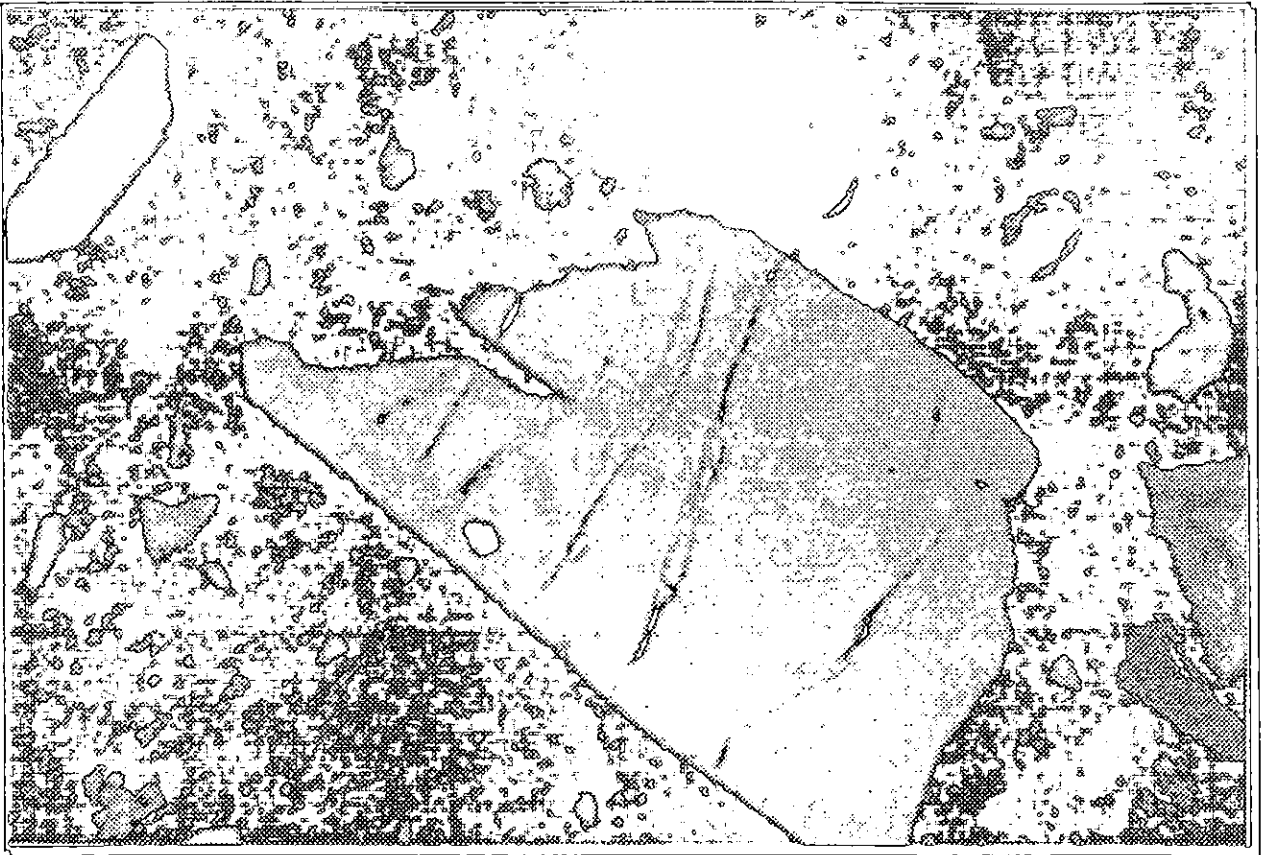
Roca de textura piroclástica, constituida por fenocristales de cuarzo, plagioclasa, minerales opacos y óxidos de Fe, diseminados en una matriz devitrificada rica en óxidos de Fe y sílice criptocristalino.

3. MINERALOGÍA:

MINERALES	CARACTERÍSTICAS
<i>Cuarzo</i>	En Fenocristales amiboides, algunos fracturados con terminaciones angulosas, presenta golfos y bordes difusos.
<i>Plagioclasas (oligoclasa-andesina)</i>	Fenocristales de subhedrales a anhedrales, son escasos y se encuentran diseminados en la matriz.
<i>Minerales opacos</i>	Se encuentran diseminados en la matriz.
<i>Óxidos e Hidróxidos de Fe.</i>	Son el producto de la alteración de minerales ferromagnesianos y minerales opacos.
<i>Matriz</i>	Es una composición de cuarzo criptocristalino con óxidos e hidróxidos de Fe y el producto de una devitrificación parcial.

4. CLASIFICACIÓN DE LA ROCA: Corresponde a una zona de silicificación con una posterior óxidación y devitrificación.

5. Fotomicrografía.



Escala Gráfica: _____ 0.5 mm.

Fotomicrografía número 8: Campo de la muestra CMG - 4I. Donde se aprecian fenocristales de cuarzo y plagioclasa diseminados en una matriz silicificada y con devitrificación parcial asociados óxidos e hidróxidos de Fe.

ESTUDIO PETROGRÁFICO

Clave de la Muestra: CMG - 10E.

1. DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA:

Roca color ocre con lentes o bandas blancas de textura fluidal constituida por cristales de yeso y óxidos e hidróxidos de Fe, diseminados y alternados.

2. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

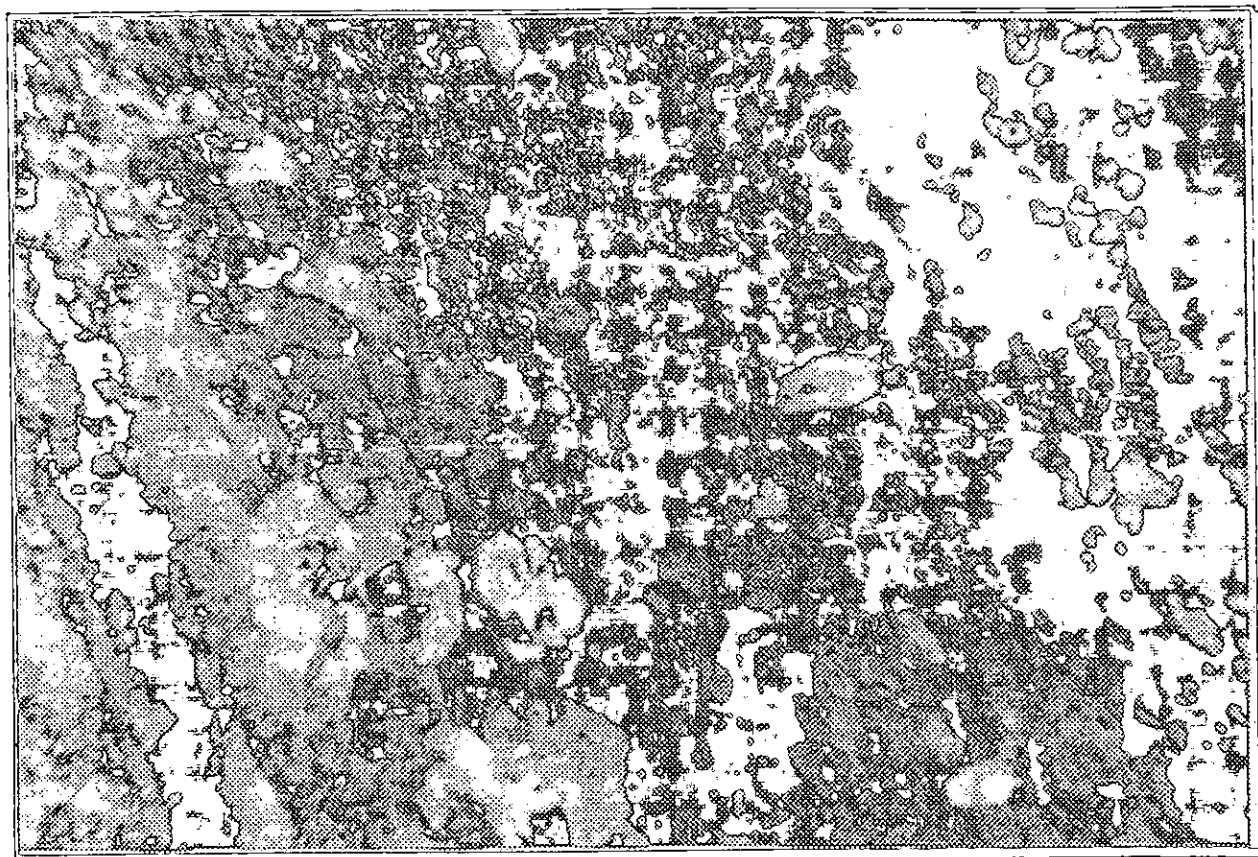
Roca de textura fluidal con presencia de cristales de yeso, cuarzo microcristalino, minerales opacos, minerales arcillosos y calcita, presentan un alineamiento y gran cantidad de óxidos e hidróxidos de Fe.

3. MINERALOGÍA:

MINERALES	CARACTERÍSTICAS
<i>Minerales opacos</i>	Se encuentra en agregados y formando bandas o zonas intercalado con los minerales presentes, en ocasiones diseminados en otras fases minerales, presentando alteración parcial por óxidos e hidróxidos de Fe.
<i>Yeso</i>	En cristales anhedrales con textura abigarrada, intersticiales con cuarzo calcita y minerales opacos, asociados minerales arcillosos y óxidos e hidróxidos de Fe.
<i>Cuarzo</i>	Como microcristales anhedrales intersticiales con yeso, calcita y minerales opacos, asociados minerales arcillosos y óxidos e hidróxidos de Fe.
<i>Calcita</i>	En cristales anhedrales intersticiales con yeso, cuarzo y minerales opacos, asociados minerales arcillosos y óxidos e hidróxidos de Fe.
<i>Óxidos de Fe.</i>	Se encuentran como alteración de los minerales opacos y como diseminados en el mosaico mineral.

4. CLASIFICACIÓN DE LA ROCA: Corresponde a una zona hidrotermal de baja temperatura la cual es producto de una removilización de Fe.

5. Fotomicrografía.



Escala Gráfica: ————0.5 mm.

Fotomicrografía número 9: Campo de la muestra CMG – 10E. Donde se observa una intercalación, bandeado o zonamiento de minerales opacos, yeso, cuarzo, calcita y asociados minerales arcillosos y óxidos e hidróxidos de Fe como alteración de los minerales opacos, se puede apreciar una orientación en los minerales o flujo mineral.

ESTUDIO PETROGRÁFICO

Clave de la Muestra: CMMC – 4I.

1. DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA:

Roca color pardo amarillento a ocre oxidada de textura masiva constituida por óxidos e hidróxidos de Fe con fenocristales de apatita y cuarzo anhedral.

2. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

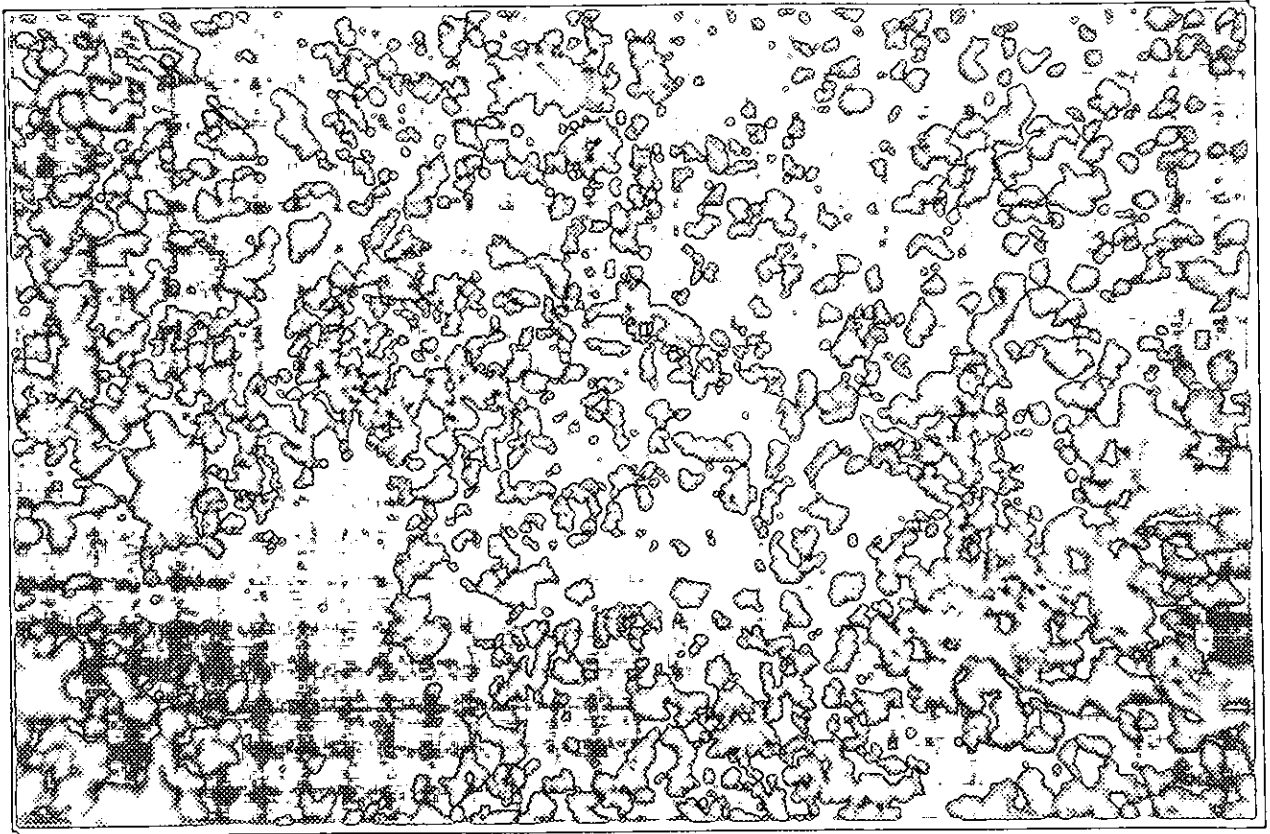
Roca de textura masiva, la cual presenta un mosaico intersticial de mineral opaco, carbonatos (calcita) y apatitas (en múltiples drusas), presentan alteración en sus bordes y fracturas por óxidos de Fe.

3. MINERALOGÍA:

MINERALES	CARACTERÍSTICAS
<i>Minerales opacos</i>	Se encuentra como principal constituyente del mosaico intersticial con calcita y apatita, con bordes alterados por óxidos e hidróxidos de Fe.
<i>Calcita</i>	En cristales anhedrales intersticiales con mineral opaco, como cementante.
<i>Apatita</i>	En cristales euhedrales en forma de drusas (muy abundantes), apartir de minerales opacos, denotando zonas como manchones ricos en óxidos e hidróxidos de Fe.
<i>Óxidos de Fe.</i>	Se encuentran diseminados, en bordes de apatita, calcita y como alteración de los minerales opacos.

4. CLASIFICACIÓN DE LA ROCA: Corresponde a una zona masiva mineralizada en Fe.

5. Fotomicrografía.



Escala Gráfica: _____ 0.5 mm.

Fotomicrografía número 10: Campo de la muestra CMMC - 4I. Donde se observa un mosaico intersticial de mineral opaco con carbonatos (calcita) y drusas de apatito, en zonas o agregados de óxidos e hidróxidos de Fe.

ESTUDIO PETROGRÁFICO

Clave de la Muestra: CMSO- 2E.

1. DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA:

Roca color gris-blanco con motas verdes de textura porfídica constituida por fenocristales de piroxenos, cuarzo, carbonatos, con óxidos de Fe diseminados.

2. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

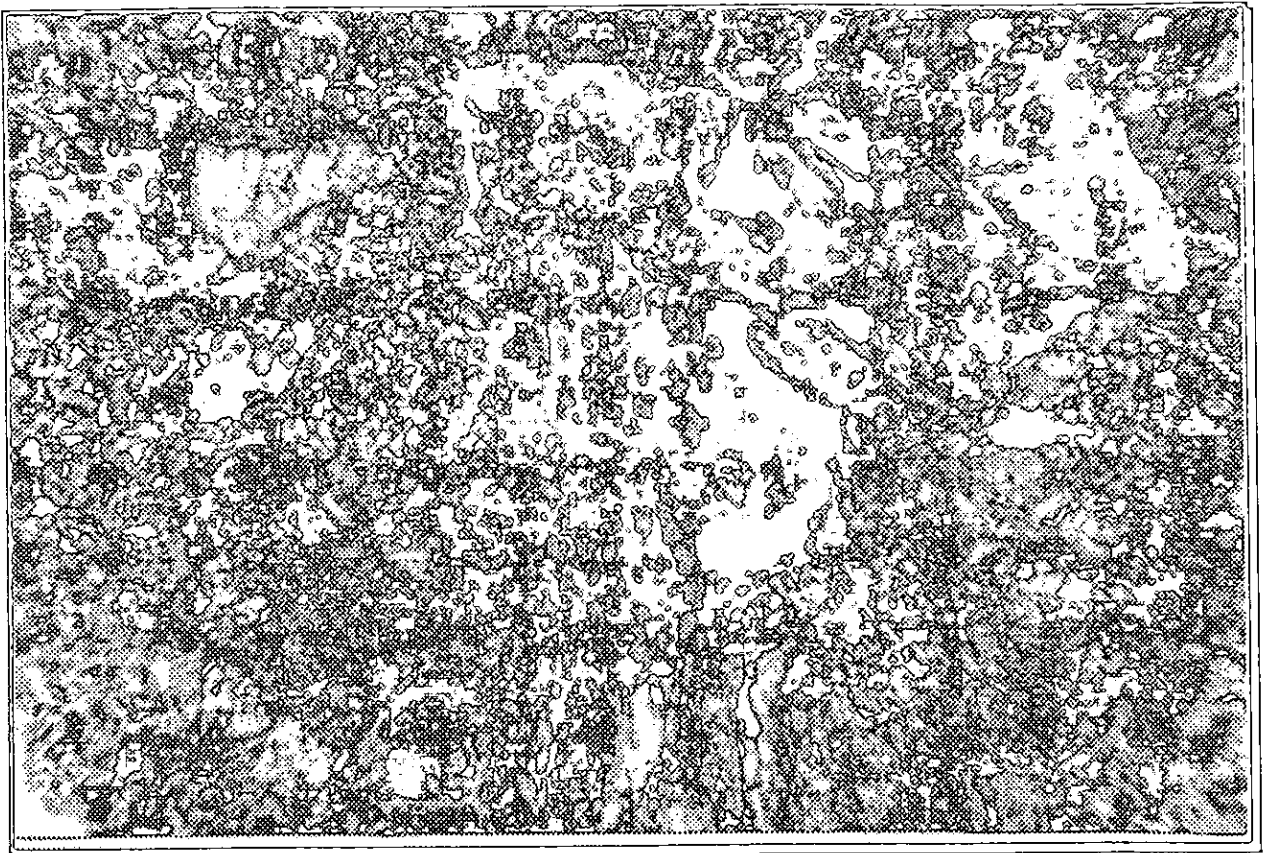
Roca de textura porfídica, constituida por fenocristales de piroxenos (epidotizados y cloritizados?) Intersticiales con pequeños cristales de cuarzo y algunos minerales opacos, se presentan segregaciones de carbonatos (calcita) asociados a sílice con una devitrificación parcial evidenciada por esferulitas, presentes inclusiones de minerales opacos.

3. MINERALOGÍA:

MINERALES	CARACTERÍSTICAS
<i>Piroxeno (Hedenbergita-Diópsido)</i>	Fenocristales anhedrales a subhedrales (epidotizados y cloritizados?), Con crecimiento intersticial con otros piroxenos y con pequeños cristales de cuarzo, con inclusiones de minerales opacos por reemplazamiento parcial de estos en fracturas y bordes, en contacto con matriz silicea (calcedonia con minerales arcillosos y óxidos de Fe).
<i>Cuarzo</i>	Pequeños cristales anhedrales o policristalinos, intersticiales en fenocristales de piroxenos y como matriz o cementante en bandas, con textura coloforme (calcedonia).
<i>Matriz</i>	Esta constituida de segregaciones de carbonato (calcita), calcedonia y vidrio por devitrificación parcial presenta textura bandeada, coloforme y esferulítica, se encuentra en contacto con piroxenos (epidotizados y cloritizados?), Asociado a óxidos de Fe y minerales arcillosos.
<i>Minerales opacos</i>	Se encuentran diseminados en la matriz y en piroxenos en bordes principalmente con alteración por óxidos de Fe.
<i>Calcita</i>	Como escasas segregaciones o fragmentos, formando parte de la matriz.
<i>Zircon (Trazas)</i>	Microcristal euhedral, como inclusión en fenocristal de piroxeno.
<i>Óxidos de Fe.</i>	Se encuentran diseminados en la muestra y forma zonas como manchones, alterando a minerales ferromagnesianos y minerales opacos.

4. CLASIFICACIÓN DE LA ROCA: Corresponde a una zona de (skarn), zona de silicificación-epidotización-carbonatación-cloritización?

5. Fotomicrografía.



Escala Gráfica: _____ 0.5 mm.

Fotomicrografía número 11: Campo de la muestra CMSO - 2E. Donde se observa un mosaico de cristales de piroxeno, cuarzo, fracturados y alterados por óxidos de Fe y una silicificación parcial con un enriquecimiento supergénico, con abundantes minerales arcillosos y óxidos de Fe.

ESTUDIO PETROGRÁFICO

Clave de la Muestra: CHU - 2I.

1. DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA:

Roca de color rojo-rosa con manchones o motas rojo oscuras y blancas, compacta, de textura piroclástica, constituida por escasos cristales de feldespato, cuarzo y óxidos de Fe.

2. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:

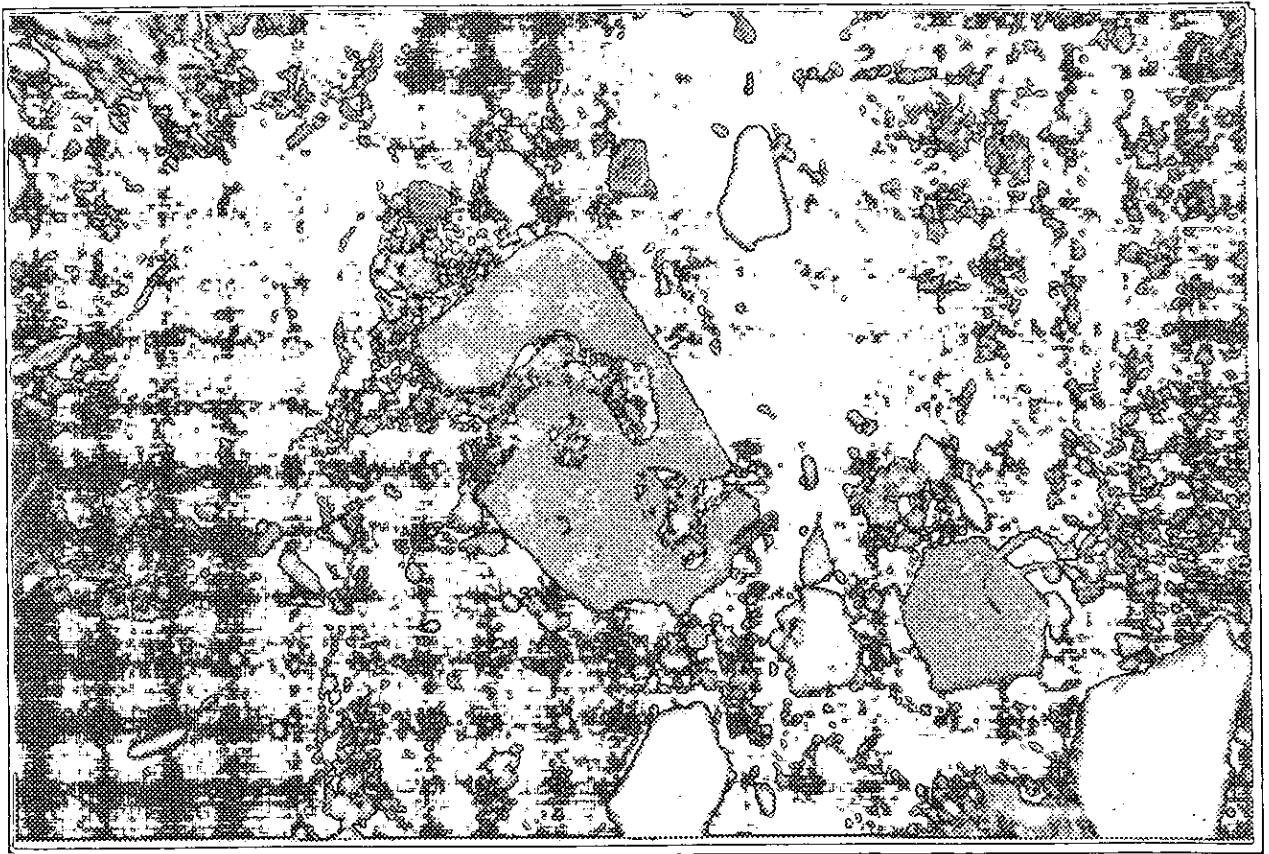
Roca de textura porfirica, constituida por fenocristales de cuarzo, feldespato, minerales opacos, algunos de los fenocristales están fracturados y se encuentran diseminados en una matriz de sílice criptocristalino asociado a una devitrificación parcial, evidenciado por abundantes esferulitas de composición ácida (sobresaturada en sílice) parcialmente devitrificada, con gran contenido de agregados o manchones de óxidos de Fe y minerales opacos diseminados.

3. MINERALOGÍA:

MINERALES	CARACTERÍSTICAS
Cuarzo	Fenocristales amiboides anhedrales y escasos euhedrales, presentan golfos rellenos por matriz.
Sanidino	Fenocristales de subhedrales a anhedrales, presentan golfos rellenos por matriz.
Plagioclasa zonada (oligoclasa-andesina)	Fenocristales fracturados en su mayoría de euhedrales a subhedrales, presentan textura zonada y maclada, con una alteración parcial a sericita; se encuentran diseminados en la matriz.
Matriz	Esta constituida de cuarzo criptocristalino con una devitrificación parcial con abundantes esferulitas de composición ácida, con gran contenido de óxidos de Fe.
Esferulitas	Se presentan remplazando a la matriz vítrea siguiendo planos preferenciales, por asociación se supone tienen una composición de feldespato K y cristobalita.
Apatita	Son finos y pequeños cristales euhedrales tabulares con terminación piramidal que se encuentran incluidos en feldespato y biotita.
Minerales opacos	Se encuentran diseminados en la matriz, en algunos se aprecia el borde alterado por óxidos de Fe.
Vetillas Secundarias	Son de sílice microcristalino, afectan y cortan al mosaico mineral.
Óxidos de Fe.	Se encuentran diseminados en la muestra y forma zonas como manchones, alterando a minerales ferromagnesianos.

4. CLASIFICACIÓN DE LA ROCA: Toba vítrea de composición Riolítica parcialmente devitrificada.

5. Fotomicrografía.



Escala Gráfica: ———— 0.5 mm.

Fotomicrografía número 12: Campo de la muestra CHU - 21. Donde se observan fenocristales de cuarzo, feldespatos con golfos rellenos por la matriz y pequeños cristales de plagioclasa diseminados en una matriz silicificada con gran contenido de óxidos e hidróxidos de Fe, en la parte superior izquierda un fenocristal (piroxeno ?), completamente reemplazado por óxidos de Fe y algunas vetillas secundarias.

APÉNDICE C: DATOS DE UBICACIÓN,
NOMENCLATURA PARA LAS
MUESTRAS, DENSIDAD Y
SUCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA.

UBICACIÓN DE SITIOS

LA UBICACIÓN SE EFECTUÓ CON UN GPS (GARMIN)

CERRO DE MERCADO DURANGO, MÉXICO.

NUMERO	CLAVE	LATITUD NORTE	LONGITUD OESTE	ALTITUD(m)
1.	CMG	24° 03.271'	104° 46. 274'	1082 ± 91
2.	CMSR	24° 01.57'	104° 44. 19'	2161 ± 61
3.	CME	23° 59.38'	104° 42. 37'	2132 ± 85
4.	CMI	24° 03.339'	104° 40. 228'	2124 ± 61
5.	CMM	*	*	*
6.	CMB	24° 03.334'	104° 40. 231'	2124 ± 55
7.	CMF	24° 02.788'	104° 40. 490'	1985 ± 177
8.	CMBC	24° 03.843'	104° 40. 554'	2023 ± 88
9.	CMP	24° 03.378'	104° 40. 015'	2017 ± 70
10.	CMSC	24° 03.271'	104° 40. 463'	1999 ± 69
11.	CMMC	*	*	*
12.	CMSO	*	*	*
13.	CMBO	24° 03.323'	104° 40. 183'	2129 ± 105
14.	CHU	24° 07.069'	104° 43. 080'	2013 ± 68

NOTA: LAS CELDAS QUE CONTIENEN *, ES POR ENCONTRARSE ASOCIADOS A OTRA MUESTRA (EN CONTACTO).

NUMERO	CLAVE	LOCALIDAD DE LOS SITIOS DE MUESTREO
1.	CMG	o CERRO MERCADO GARABITOS.
2.	CMSR	o CERRO MERCADO SANTA RITA.
3.	CME	o CERRO MERCADO EXTRUSIVO.
4.	CMI	o CERRO MERCADO INTRUSIVO.
5.	CMM	o CERRO MERCADO MINERAL.
6.	CMB	o CERRO MERCADO BRECHA.
7.	CMF	o CERRO MERCADO FIERRO.
8.	CMBC	o CERRO MERCADO BRECHA CONEJOS.
9.	CMP	o CERRO MERCADO PIRUL.
10.	CMSC	o CERRO MERCADO SKARN CONEJOS.
11.	CMMC	o CERRO MERCADO MINERAL CONEJOS.
12.	CMSO	o CERRO MERCADO SKARN ORIENTE.
13.	CMBO	o CERRO MERCADO BRECHA ORIENTE.
14.	CHU	o CHUPADEROS.

DENSIDAD CORRESPONDIENTE A LOS NÚCLEOS DE
CERRO DE MERCADO, DGO.

FORMULA: $\rho = M / V$, $V = 9.048$, [gr / cm³].

CLAVE	PESO EN GRAMOS	DENSIDAD: ρ
CMI-1Z	24.44	$\rho = 2.701$
CMI-2Z	24.47	$\rho = 2.704$
CMI-3Z	23.99	$\rho = 2.651$
CMI-4Z	26.02	$\rho = 2.876$

CLAVE	PESO EN GRAMOS	DENSIDAD: ρ
CMP-1Z	41.91	$\rho = 4.632$
CMP-2Z	47.75	$\rho = 5.277$
CMP-3Z	30.56	$\rho = 3.378$
CMP-4Z	43.05	$\rho = 4.758$
CMP-5Z	41.31	$\rho = 4.566$
CLAVE	PESO EN GRAMOS	DENSIDAD: ρ
CHU-1Z	22.97	$\rho = 2.539$
CHU-1Y	23.10	$\rho = 2.553$
CHU-2Z	25.32	$\rho = 2.798$
CHU-3Z	25.37	$\rho = 2.804$
CHU-4Z	21.78	$\rho = 2.407$
CHU-5Z	25.92	$\rho = 2.865$
CHU-6Z	24.45	$\rho = 2.702$
CHU-7Z	21.40	$\rho = 2.365$
CLAVE	PESO EN GRAMOS	DENSIDAD: ρ
CMB-1Z	27.08	$\rho = 2.993$
CMB-2Z	27.31	$\rho = 3.018$
CMB-3Z	26.46	$\rho = 2.924$
CMB-4Z	24.24	$\rho = 2.679$
CMB-4Y	26.78	$\rho = 2.960$
CMB-5Z	23.67	$\rho = 2.616$
CMB-6Z	22.48	$\rho = 2.485$
CMB-6Y	23.22	$\rho = 2.566$
CLAVE	PESO EN GRAMOS	DENSIDAD: ρ
CMF-1Z	43.97	$\rho = 4.860$
CMF-1Y	34.56	$\rho = 3.820$
CMF-2Z	43.25	$\rho = 4.860$
CMF-2Y	43.80	$\rho = 4.841$
CMF-3Z	44.94	$\rho = 4.967$
CMF-4Z	46.69	$\rho = 5.160$
CMF-5Z	42.65	$\rho = 4.714$
CLAVE	PESO EN GRAMOS	DENSIDAD: ρ
CMM-1Z	37.24	$\rho = 4.116$
CMM-2Z	39.36	$\rho = 4.350$
CMM-3Z	39.51	$\rho = 4.367$
CMM-4Z	38.62	$\rho = 4.155$
CMM-5Z	38.55	$\rho = 4.261$
CLAVE	PESO EN GRAMOS	DENSIDAD: ρ
CMG-1Z	19.55	$\rho = 2.161$
CMG-2Z	19.85	$\rho = 2.194$
CMG-3Z	18.28	$\rho = 2.020$
CMG-4Z	23.55	$\rho = 2.603$
CMG-5Z	24.99	$\rho = 2.762$
CMG-6Z	22.63	$\rho = 2.501$
CMG-6Y	23.27	$\rho = 2.572$
CMG-7Z	23.17	$\rho = 2.561$
CMG-8Z	24.11	$\rho = 2.665$

CMG-9Z	22.88	$\rho = 2.539$
CMG-10Z	23.75	$\rho = 2.625$
CMG-10Y	23.72	$\rho = 2.622$
CMG-11Z	22.19	$\rho = 2.453$
CMG-11Y	23.12	$\rho = 2.555$
CMG-11I	21.69	$\rho = 2.397$
CLAVE	PESO EN GRAMOS	DENSIDAD: ρ
CME-1Z	17.35	$\rho = 1.917$
CME-2Z	17.29	$\rho = 1.911$
CME-3Z	16.36	$\rho = 1.808$
CME-3Y	16.95	$\rho = 1.873$
CME-4Z	16.47	$\rho = 1.873$
CME-4Y	16.48	$\rho = 1.820$
CME-5Z	16.23	$\rho = 1.794$
CME-5Y	16.36	$\rho = 1.808$
CME-6Z	15.84	$\rho = 1.751$
CME-6Y	16.75	$\rho = 1.851$
CME-7Z	15.69	$\rho = 1.734$
CME-7Y	16.75	$\rho = 1.851$
CME-8Z	14.62	$\rho = 1.616$
CME-8Y	16.32	$\rho = 1.804$
CME-9Z	17.82	$\rho = 1.969$
CME-10Z	16.25	$\rho = 1.796$
CME-10Y	17.27	$\rho = 1.909$
CME-11Z	17.54	$\rho = 1.939$
CME-11Y	17.07	$\rho = 1.887$
CME-11I	16.87	$\rho = 1.864$
CME-12Z	15.80	$\rho = 1.746$
CME-12Y	16.44	$\rho = 1.817$
CME-12X	17.34	$\rho = 1.916$
CLAVE	PESO EN GRAMOS	DENSIDAD: ρ
CMMC-1Z	39.66	$\rho = 4.383$
CMMC-2Z	42.28	$\rho = 4.673$
CMMC-3Z	37.77	$\rho = 4.174$
CMMC-3Y	33.04	$\rho = 3.652$
CMMC-4Z	35.91	$\rho = 3.969$
CMMC-4Y	35.97	$\rho = 3.976$
CMMC-5Z	31.87	$\rho = 3.522$
CMMC-5Y	28.28	$\rho = 3.126$
CMMC-6Z	32.25	$\rho = 3.564$
CMMC-6Y	30.28	$\rho = 3.347$
CLAVE	PESO EN GRAMOS	DENSIDAD: ρ
CMSC-1Z	43.70	$\rho = 4.830$
CMSC-2Z	38.31	$\rho = 4.234$
CMSC-3Z	38.24	$\rho = 4.226$
CMSC-3I	37.53	$\rho = 4.148$
CMSC-4Z	27.68	$\rho = 3.059$
CMSC-4Y	38.76	$\rho = 4.284$

CMSC-5Z	45.49	$\rho = 5.028$
CMSC-6Z	40.16	$\rho = 4.439$
CLAVE	PESO EN GRAMOS	DENSIDAD: ρ
CMBC-1Z	39.24	$\rho = 4.337$
CMBC-2Z	42.21	$\rho = 4.665$
CMBC-3Z	28.79	$\rho = 3.182$
CMBC-4Z	29.13	$\rho = 3.220$
CMBC-5Z	28.48	$\rho = 3.148$
CMBC-6Z	39.05	$\rho = 4.316$
CMBC-7Z	28.58	$\rho = 3.159$
CLAVE	PESO EN GRAMOS	DENSIDAD: ρ
CMSO-1Z	26.12	$\rho = 2.887$
CMSO-2Z	25.92	$\rho = 2.865$
CMSO-3Z	23.73	$\rho = 2.623$
CMSO-4Z	22.29	$\rho = 2.464$
CMSO-4Y	23.62	$\rho = 2.611$
CMSO-5Z	23.28	$\rho = 2.573$
CMSO-6Z	21.53	$\rho = 2.380$
CLAVE	PESO EN GRAMOS	DENSIDAD: ρ
CMBO-1Z	41.77	$\rho = 4.617$
CMBO-2Z	28.83	$\rho = 3.186$
CMBO-3Z	24.07	$\rho = 2.660$
CMBO-3Y	29.51	$\rho = 3.262$
CMBO-4Z	28.97	$\rho = 3.202$
CMBO-4I	27.81	$\rho = 3.074$
CMBO-5Z	24.82	$\rho = 2.743$
CMBO-6Z	25.68	$\rho = 2.838$
CMBO-6I	23.30	$\rho = 2.575$

SUCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA

TOMADA CON UN BARTINGTON MODELO "MS2".

EN SISTEMA INTERNACIONAL "SI", CON BATT: 1.0

CLAVE	ALTA FRECUENCIA	BAJA FRECUENCIA
CMI-1Z	103	104
CMI-2Z	83	84
CMI-3Z	70	69
CMI-4Z	198	199
CLAVE	ALTA FRECUENCIA	BAJA FRECUENCIA
CMP-1Z	2715	2982
CMP-2Z	1722	1637
CMP-3Z	7965	8338
CMP-4Z	6714	1356
CMP-5Z	3783	4438
CLAVE	ALTA FRECUENCIA	BAJA FRECUENCIA
CHU-1Z	302	312
CHU-1Y	299	309

CHU-2Z	422	432
CHU-3Z	506	522
CHU-4Z	417	427
CHU-5Z	435	446
CHU-6Z	384	400
CHU-7Z	374	377
CLAVE	ALTA FRECUENCIA	BAJA FRECUENCIA
CMB-1Z	1028	1029
CMB-2Z	1585	1600
CMB-3Z	1050	1061
CMB-4Z	420	426
CMB-4Y	1965	2007
CMB-5Z	118	121
CMB-6Z	174	179
CMB-6Y	121	124
CLAVE	ALTA FRECUENCIA	BAJA FRECUENCIA
CMF-1Z	3885	6445
CMF-1Y	2833	8031
CMF-2Z	5249	6437
CMF-2Y	2637	3283
CMF-3Z	1200	1567
CMF-4Z	5604	1083
CMF-5Z	7013	7129
CLAVE	ALTA FRECUENCIA	BAJA FRECUENCIA
CMM-1Z	710	1049
CMM-2Z	8314	8800
CMM-3Z	7994	8078
CMM-4Z	3371	3872
CMM-5Z	3171	3636
CLAVE	ALTA FRECUENCIA	BAJA FRECUENCIA
CMG-1Z	34	35
CMG-2Z	39	40
CMG-3Z	36	36
CMG-4Z	368	374
CMG-5Z	301	305
CMG-6Z	09	09
CMG-6Y	09	09
CMG-7Z	10	10
CMG-8Z	11	10
CMG-9Z	16	16
CMG-10Z	12	13
CMG-10Y	11	10
CMG-11Z	08	08
CMG-11Y	08	08
CMG-11I	09	09
CLAVE	ALTA FRECUENCIA	BAJA FRECUENCIA
CME-1Z	193	196
CME-2Z	202	211
CME-3Z	160	165
CME-3Y	158	164

CME-4Z	194	202
CME-4Y	194	196
CME-5Z	185	188
CME-5Y	187	191
CME-6Z	167	169
CME-6Y	172	174
CME-7Z	208	213
CME-7Y	213	220
CME-8Z	224	228
CME-8Y	243	250
CME-9Z	145	153
CME-10Z	155	161
CME-10Y	169	173
CME-11Z	201	205
CME-11Y	190	197
CME-11I	193	200
CME-12Z	208	211
CME-12Y	211	214
CME-12X	207	213
CLAVE	ALTA FRECUENCIA	BAJA FRECUENCIA
CMMC-1Z	5701	5745
CMMC-2Z	918	915
CMMC-3Z	1737	1749
CMMC-3Y	1626	1644
CMMC-4Z	4959	5051
CMMC-4Y	5352	5397
CMMC-5Z	4180	4196
CMMC-5Y	3132	3149
CMMC-6Z	1698	1729
CMMC-6Y	1363	1409
CLAVE	ALTA FRECUENCIA	BAJA FRECUENCIA
CMSC-1Z	8613	8590
CMSC-2Z	3436	3768
CMSC-3Z	2218	2393
CMSC-3I	1006	997
CMSC-4Z	3794	3702
CMSC-4Y	8364	8453
CMSC-5Z	1614	1591
CMSC-6Z	8681	8852
CLAVE	ALTA FRECUENCIA	BAJA FRECUENCIA
CMBC-1Z	7416	7501
CMBC-2Z	7243	7356
CMBC-3Z	70	71
CMBC-4Z	88	88
CMBC-5Z	103	103
CMBC-6Z	312	488
CMBC-7Z	603	649
CLAVE	ALTA FRECUENCIA	BAJA FRECUENCIA
CMSO-1Z	154	160
CMSO-2Z	175	180

CMSO-3Z	150	154
CMSO-4Z	116	119
CMSO-4Y	130	131
CMSO-5Z	523	529
CMSO-6Z	192	198
CLAVE	ALTA FRECUENCIA	BAJA FRECUENCIA
CMBO-1Z	4893	5248
CMBO-2Z	1223	1259
CMBO-3Z	1422	1425
CMBO-3Y	114	222
CMBO-4Z	6572	6959
CMBO-4I	6519	6896
CMBO-5Z	745	728
CMBO-6Z	167	169
CMBO-6I	146	148