

20



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESTUDIO GEOLÓGICO-MINERO DEL  
YACIMIENTO FERRÍFERO "EL ENCINO",  
MUNICIPIO DE PIHUAMO, JALISCO.**

**TESIS PROFESIONAL**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
**INGENIERO GEÓLOGO**  
P R E S E N T A  
**MIGUEL ANGEL IBARRA RANGEL**  
DIRECTOR DE TESIS: ING. ALFREDO VICTORIA MORALES.



MÉXICO, D.F.

DICIEMBRE 2002

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-I-1547

**SR. MIGUEL ANGEL IBARRA RANGEL**  
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:

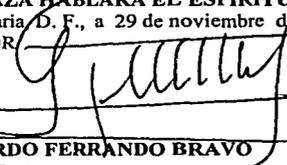
**ESTUDIO GEOLOGICO MINERO DEL YACIMIENTO FERRIFERO "EL ENCINO",  
MUNICIPIO DE PIHUAMO, JALISCO**

	<b>RESUMEN</b>
<b>I</b>	<b>INTRODUCCION</b>
<b>II</b>	<b>GENERALIDADES</b>
<b>III</b>	<b>MARCO GEOLOGICO REGIONAL</b>
<b>IV</b>	<b>GEOLOGIA DEL YACIMIENTO</b>
<b>V</b>	<b>GUIAS DE MINERALIZACION</b>
<b>VI</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b>

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 D. F., a 29 de noviembre de 2001  
EL DIRECTOR

  
ING. GERARDO FERRANDO BRAVO

GFB\*RLLR\*gtg



*NUNCA SE TE CONCEDE ALGO  
SIN CONCEDERTE TAMBIÉN LA  
POSIBILIDAD DE PODER LLEVARLO  
A CABO...*

*CARPE VITE.*

*Doy gracias a Dios, por haberme  
permitido concluir ésta etapa de  
mi vida, con mi Fé depositada en Él...*

*A mi Madre, le debo lo que soy.  
Por tu confianza, apoyo y por  
sobre todas las cosas de la vida ,  
por ese AMOR infinito que me has  
dado, éste trabajo te lo dedico a ti, por  
todo tu esfuerzo y sacrificio. GRACIAS...  
Ana Maria Rangel Morales.*

*A la memoria de mi padre José Luis Ibarra Navarro.*

*A mis hermanos Ale, Mario, Venancio, Chela, Juan, Luz y Pepe. Gracias por que, de cada uno de ustedes, he recibido lecciones que nada podrá borrar.*

*A mis sobrinos, que éste trabajo, sea superado por ustedes no como imposición o reto, si no por el gusto de aprender y compartir.*

*A la familia García Contreras, por que han formado parte de mi vida, como yo de la suya.  
Gracias...*

*Lucero:*

*Sé que fue mucho el tiempo que paso para culminar  
mis estudios y que se perdieron muchas momentos  
en los que tu y yo no pudimos estar juntos...*

*Contigo inicie éste proyecto y doy gracias a Dios  
por que lo terminé a tu lado.*

*Hoy, quiero decirte GRACIAS, por permanecer a mi  
lado, por brindarme lo mejor de ti y por tu gran amor.*

*Te Ama...*

*Tu Amans Amens...*

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México

A la Facultad de Ingeniería (U. N. A. M.)

Quiero agradecer a mis distinguidos maestros: Sr. Ing. Alfredo Victoria Morales, por su apoyo incondicional en la dirección del presente trabajo y sus acertadas observaciones durante el desarrollo de la misma.

Los Sres. Ing. Carlos Garnica Hernández, Ing. Alberto Arias Paz y Dr. Eduardo J. Aguayo Camargo, por sus valiosas observaciones y comentarios, así como por su apoyo durante la revisión de ésta tesis.

Al Sr. Ing. Miguel I. Vera Ocampo, quien me ha apoyado incondicionalmente, en momentos en los que se necesita una mano amiga.

A la Sra. Mireya Fernández Silva, por la confianza depositada y el apoyo brindado. Gracias.

A todos y cada uno de mis compañeros de trabajo, gracias por su apoyo incondicional y reconfortantes comentarios.

A mis compañeros de carrera.

A todos mis maestros, quienes de una u otra manera sembraron en mí el espíritu de superación académica y personal.

Al Sr. Adán Castro Flores, por su colaboración en la edición de las figuras.

A la Compañía Minera Las Encinas, por el apoyo otorgado durante la realización de las estancias profesionales.

Deseo expresar mi más sincero reconocimiento a los Señores:

Ing. Fernando Cabrera Candelaria e Ing. Héctor L. De la Campa Toledo.

Ustedes han depositado su apoyo, confianza y conocimientos, de manera incondicional, pero sobre todas las cosas, por brindarme su amistad, por lo cual les digo:

GRACIAS...

## Resumen

El área de estudio se localiza en la porción Suroriental del estado de Jalisco, dentro del municipio de Pihuamo, cerca de los límites con los estados de Colima y Michoacán. El yacimiento de hierro "El Encino", está constituido por varios cuerpos de mineral de hierro, de los cuales se realiza la extracción. Los cuerpos presentan características similares. La mena principal es de Magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), la cual viene acompañada de otros minerales como hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), especularita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), pirita ( $\text{FeS}_2$ ) y calcita ( $\text{CaCO}_3$ ).

La columna estratigráfica regional, se encuentra integrada por las descripciones realizadas por diferentes autores como Centeno-García et al., 1993 (Complejo metamórfico Tumbiscatio-Arteaga), Pimentel, 1980 (formación Alberca), Rodríguez, 1980 (formación Tecalitlán), Pimentel, 1980 (formación Tepalcatepec), Pantoja y Estrada, 1986 (formación Encino), Piñero, 1972 (formación Vallecitos), Pano, 1975 (formación Madrid), Parga, 1977 (formación Cerro La Vieja), Fries, 1960 (formación Morelos), así como cuerpos intrusivos de composición, granítica, granodiorítica y andesítica que abarcan desde el Paleozoico, hasta el Reciente. Geológicamente, la región presenta grandes contrastes geológicos que son propios de estudios más detallados.

Las rocas expuestas en el área de El Encino (conglomerados de composición riolítica, dacítica y andesítica, así como lentes de caliza y areniscas con intercalaciones de limonitas calcáreas), indican un ambiente de depósito volcano-clástico asociado al desarrollo de estructuras volcánicas marinas, cuya parte superior presenta un carácter arrecifal, mientras que en la porción inferior, pasa a depósitos de talud continental seguidos de facies marinas de mayor profundidad.

La mineralización en este yacimiento se encuentra estrechamente relacionada con los cuerpos intrusivos que afectaron el área, además de la intersección de dos sistemas de fallas principales con orientaciones NE-SW y NW-SE.

El cambio de procesos magmáticos a sedimentarios, marcado por el contacto entre los miembros Inferior y Superior de la formación Encino y la diferencia de composición

andesítica a félsica, entre esta formación y la sobreyacente Vallecitos, ofrece elementos para orientar la exploración de yacimientos de hierro con estas características.

## Índice

### Resumen

<b>I</b>	<b>Introducción</b>	<b>1</b>
I.I	Objetivo del trabajo	2
I.II	Antecedentes históricos	3
I.III	Método de trabajo	4
<b>VI.</b>	<b>Generalidades</b>	<b>5</b>
II.I	Localización	5
II.II	Vías de acceso	5
II.III	Población, cultura, economía	6
II.IV	Clima, Flora, Fauna	7
<b>VII.</b>	<b>Marco geológico regional</b>	<b>10</b>
III.I	Fisiografía	10
III.II	Hidrografía	11
III.III	Geomorfología	11
II.IV	Estratigrafía	13
III.V	Evolución geológica	24
<b>VIII.</b>	<b>Geología del yacimiento</b>	<b>27</b>
IV.I	Localización del yacimiento	27
IV.II	Estratigrafía local	28
IV.III	Cuerpos mineralizados	29
IV.IV	Geología Estructural	30
<b>IX.</b>	<b>Guías de la mineralización</b>	<b>33</b>
V.I	Guías mineralógicas	33
V.II	Guías litológicas	34
V.III	Guías estructurales	35
V.IV	Génesis	35
<b>VI.</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones</b>	<b>37</b>
VI.I	Conclusiones	37
VI.II	Recomendaciones	38

### Referencias bibliográficas

## I. Introducción

El hierro es uno de los elementos metálicos más abundantes en la tierra. Representa el 5.6 % de la corteza terrestre (Dott and Lyman, 1988). Si se considera a todo el globo, incluido el núcleo, conforma el 35 % en peso de toda la Tierra (Press and Siever, 1994).

Las antiguas civilizaciones, aprendieron sus propiedades y comenzaron a utilizarlo. Después del descubrimiento del acero (usando al hierro y el carbón como materia prima) realizado por Bessemer's en 1856, Inglaterra se erige como la cuna de la Revolución Industrial.

El grado de desarrollo en la infraestructura de una nación, desde la época industrial, determina el grado de avance tecnológico de la misma, así como la dependencia de otras naciones. El desarrollo industrial se basa en la fabricación de maquinaria, herramientas e instrumentos de todo tipo, para usos diversos que van desde artículos para el hogar hasta instrumentos de la más avanzada tecnología. En todo este proceso, el hierro ocupa un papel estratégico.

Los países que poseen las mayores reservas de minerales de hierro (Fe) son en orden de importancia: Comunidad de Estados Independientes (62 mil m. t.), Brasil (48 mil m. t.), Canadá (33 mil m. t.) y Australia (22 mil m. t.); todos estos países en conjunto poseen cerca del 80% de las reservas mundiales de mineral de hierro. (COREMI, 1997)

México cuenta con varios yacimientos importantes de este mineral, que de acuerdo a su edad y situación geográfica, pueden clasificarse en dos grupos principales: Los de edad terciaria asociados a rocas volcánicas félsicas localizadas al NE del país, como: La Perla, Chihuahua (Roy, 1978), Cerro del Mercado, Durango (Lyons, 1988) y el de Hércules, en el estado de Coahuila (Velasco-Hernández, 1964) y los de la porción sur-occidental de México, asociados a rocas graníticas que afectan a rocas volcano-sedimentarias (Corona *et al.*, 1972) ubicados en los estados de Jalisco (El Encino), Colima (Cerro Náhuatl y Peña Colorada), Michoacán (Las Truchas). (Corona,

2000). En lo que corresponde a la geología local, se utilizó la información de estudios técnicos realizados por personal de la empresa con las reservas respectivas dada la confidencialidad necesaria de los mismos y comentarios personales de los ingenieros Fernando Cabrera y Héctor de la Campa, que laboran en la compañía Las Encinas, S. A. de C. V.

### ***I.I Objetivo de trabajo***

El presente estudio, tiene como objetivo obtener información geológica de una zona mineralizada de hierro, que sirva como base para la posterior elaboración de un modelo de yacimiento, aplicable en su exploración.

### ***I.II Antecedentes históricos***

El área ha sido estudiada con anterioridad por diferentes autores. Muchos de estos trabajos estuvieron enfocados con fines mineros, paleontológicos, estratigráficos y paleomagnéticos. Ejemplo de ello, son los estudios realizados por Labarthe y Rodríguez (1959), Meave y Echegoyen (1961), Naciones Unidas (1969), Piñeiro (1972), Pantoja-Alor (1974), De la Garza (1979), Pantoja y Estrada Barraza (1986), Corona-Esquivel *et al.* (1991).

Existen además varios informes técnicos inéditos elaborados por los ingenieros de la compañía Las Encinas, S. A., los cuales permanecen en los archivos de dicha empresa, como los realizados por Labarthe, Juárez y Cabrera.

Las Encinas S. A. de C. V., es una empresa filial de HYL SAMEX. La actividad principal de la primera es la extracción de hierro de tres yacimientos propiedad de la empresa, estos son: El Encino, ubicado en el municipio de Pihuamo, Jalisco y objeto del presente trabajo; Cerro Náhuatl, ubicado en el municipio de Coquimatlán, Colima, además del de Aquila, localizado en el municipio del mismo nombre, en el estado de Michoacán. HYL SAMEX S. A., procesa el mineral en sus plantas de las ciudades de Puebla, Puebla y Monterrey, Nuevo León.

El Instituto Nacional para la Investigación de Recursos Minerales inició los trabajos de prospección y exploración a petición de la empresa Las Encinas, S. A., los cuales comenzaron en 1951, estando enfocados en la búsqueda de yacimientos de mineral de hierro que asegurara su explotación de forma económica, obteniendo resultados positivos en la región suroriental del Estado de Jalisco, en esa misma década.

Posteriormente, se construyó la planta peletizadora de Alzada, Col., la cual procesa el mineral de hierro, convirtiéndolo en pellets (taconita de hierro), para transportarlo en ferrocarril a las ciudades de Monterrey, Nuevo León y Puebla, Puebla; y su transformación consecuente.

Dicha planta se inauguró en 1970, se encuentra a una distancia aproximada de 22 km en línea recta de la mina, en la localidad de Alzada, Colima. La mina utiliza un teleférico con canastillas (con capacidad de 1.3 toneladas) para trasladar el mineral desde el yacimiento hacia la planta peletizadora la cual produce concentrados de hierro. Tiene una capacidad instalada de 2,500 t/d. (COREMI, 1989)

La mina "El Encino", comenzó su explotación por el método de cielo abierto, dadas las características de los cuerpos y por que resultaba más económico. Posteriormente se procedió al abatimiento en el ángulo de descapote, para poder extraer el mineral remanente que aun podía ser recuperado, sin que esto representara un costo elevado.

Por último se procedió a elevar el ángulo de abatimiento del talud hasta 80° y 160 m de altura, sin vermas, para extraer todo el mineral posible. Durante este procedimiento se utilizó monitoreo por computadora para prevenir posibles derrumbes.

El Encino es una de las primeras minas subterráneas de hierro en México, la explotación subterránea comenzó con el método de cuartos y pilares en algunos de los cuerpos, en donde la roca no se encontraba muy alterada, en la actualidad se aplica el método Sublevel-Caving (hundimiento por sub-niveles), en las zonas con mucha alteración.

Este distrito genera gran parte de la producción de hierro del estado de Jalisco. En 1998 se alcanzó una producción de 164 675 toneladas, mientras que para 1999 alcanzó las 293 301 toneladas (COREMI, 1999).

### ***I.III Método de trabajo***

El método de trabajo consistió de cuatro etapas:

- A) Recopilación de la información regional y local en el Consejo de Recursos Minerales, artículos técnicos y científicos, informes técnicos inéditos, cartas y mapas geológicos , tesis, entre otros.
  
- B) Trabajo de campo, realizado en dos estancias profesionales, observación geológica superficial, realizando levantamientos geológicos con brújula y cinta (superficiales y de interior de la mina), descripción de las muestras de los núcleos colectados por barrenación (logueo), entre otras actividades.
  
- C) Trabajo de gabinete, donde se elaboraron columnas estratigráficas, secciones geológicas y perfiles esquemáticos.
  
- D) Con base en lo anterior, se analizaron los datos recopilados para interpretar las características geológicas del área de estudio y su relación con las zonas mineralizadas.

## II. Generalidades

### II.I Localización

El yacimiento "El Encino", se localiza en la porción Suroeste del estado de Jalisco, a 12 km al sur del poblado de Pihuamo, cerca de los límites con los estados de Colima y Michoacán.

El área de estudio queda comprendida dentro de las siguientes coordenadas geográficas:

19° 05" y 19° 10" de Latitud Norte

103° 20" y 103° 23" de Longitud Oeste.

Se encuentra directamente en línea recta a 40 km al noreste de la ciudad de Colima, Colima y a 160 Km. al sureste de la ciudad de Guadalajara, Jalisco; en lo que corresponde a la vertiente occidental de la sierra de "El Alo". (Fig.1)

### II.II Vías de acceso

Existen tres vías de acceso a "El Encino", que se encuentran en buen estado, siendo transitables en cualquier época del año.

- A) Partiendo de la ciudad de Colima, tomando la carretera No. 110, Jiquilpan-Manzanillo; a la altura del km 36 se llega al entronque con un camino de asfaltado (conocido como el Balastre) y tras un recorrido de 17 km aproximadamente, existe una brecha de 5 km, por la que se llega a la mina.
- B) Por el norte y partiendo de la ciudad de Guadalajara, Jalisco; se recorre la carretera No. 54, que conduce a Cd. Guzmán, Jalisco, continuando por la misma carretera hacia el municipio de Pihuamo, se llega al entronque el Balastre.



- C) La comunicación de la mina con el Estado de Michoacán es a través del Municipio de Coalcomán; este acceso es muy difícil, dado que el camino es de terracería y es poco transitable sobre todo en época de lluvias, la distancia es de aproximadamente 80 Km. (Fig. 2)

### **II.III Población, cultura, economía**

El Municipio de Pihuamo es cabecera municipal, cuenta aproximadamente con 16,300 habitantes. En las cercanías se localizan algunas rancherías como La Navidad, El Angostadero, El Fortín, El Galán, La Estrella, Naranjos y Puente de Fátima, entre otras.

Pihuamo cuenta con escuelas desde los niveles de jardín de niños y hasta secundaria. El grado de escolaridad es bajo, aun así, el 90 % de la población sabe leer y escribir, sólo el 10 % restante es analfabeta.

En lo relativo a la economía, se observan las siguientes actividades:

- A) Agricultura.- Esta actividad la desarrollan en sus dos modalidades, a saber, de riego y de temporal. La primera es factible aprovechando las corrientes perennes, mientras que la segunda sólo es favorable en época de lluvias.

El área es muy fértil, de tal suerte que casi no hay cultivo que no se dé en este lugar. Los más usuales en esta región son los cultivos de maíz, garbanzo, frijol, cebolla, cilantro, col, coliflor, chiles de distintas variedades, jitomate, lechuga, pepino, tomate, zanahorias y árboles frutales como aguacate, durazno, guanábana, guayaba, higuera, limón, mango, naranjo, papayo, plátano, etc.

- B) Ganadería.- Esta actividad la ejercen muy pocas personas las cuales crían ganado bovino y porcino, también es utilizada para la actividad comercial a baja escala. Algunas personas crían aves de corral para consumo particular y comercial.



- C) Comercio.- Existen suficientes comercios para satisfacer las necesidades mínimas de la población, entre las que destacan establecimientos con venta de muebles, calzado, vestido, abarrotes, carnicerías, etc.
- D) Minería.- Los habitantes de Pihuamo, así como de las rancherías aledañas, se han beneficiado con esta actividad, trabajando en un principio de la explotación del yacimiento "La Minita" en el municipio de Coalcomán, Michoacán, y posteriormente en la mina "El Encino". En Pihuamo se encuentra la colonia de los empleados y en Colima, se encuentran las oficinas generales de la compañía Las Encinas S. A. de C. V.

#### ***II.IV Clima, flora, fauna***

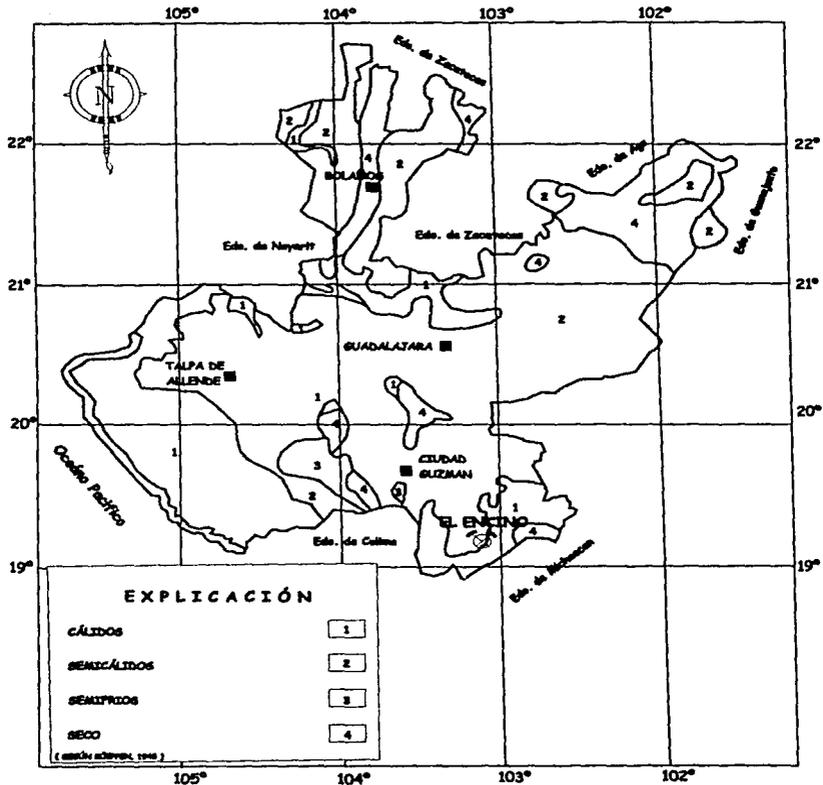
El clima predominante en la región es semi-cálido a sub-húmedo (Köppen, 1948), con lluvias en verano. La temperatura media anual oscila entre los 18°C y 28°C. Durante la primavera y el invierno, el clima es seco. (Fig. 3)

El periodo de lluvias está bien definido y comprende los meses de junio a octubre, la mayor incidencia ocurre en los meses de septiembre a octubre, donde la precipitación pluvial anual varía de los 1200 mm a los 1350 mm. Las precipitaciones son intensas y por lo general se presentan en las tardes.

Una de las zonas más lluviosas en la región, es precisamente el área donde se encuentra ubicado el yacimiento objeto del presente estudio. Esto se debe probablemente a la barrera natural que forma la Sierra "El Alo", la cual detiene los vientos húmedos que se desplazan hacia el noreste, procedentes de la llanura costera. Localmente la sierra "El Alo", tiene una orientación NNW.

La Sierra Madre del Sur, ha sido clasificada como una de las regiones florísticas más ricas del mundo, en la cual se manifiesta un alto endemismo, es decir una riqueza de especies exclusivas de la región.

# ESTADO DE JALISCO



ESCALA



U N A M  
FACULTAD DE INGENIERÍA

## CLIMAS

AUTOR: MIGUEL ANGEL IBARRA RANGEL

FIG. 3

TESIS PROFESIONAL

El tipo de vegetación pertenece a la llamada selva baja caducifolia y bosque de pino y encino, constituida por una vegetación secundaria (Fig. 4). Dentro de ésta destacan las siguientes especies, distribuidas de acuerdo a la topografía de la región:

**A) Lomeríos suaves con cañadas**

<b>Nombre común</b>	<b>Nombre científico</b>
Cueramo	<i>Cordia elaeagnoides</i>
Copal	<i>Bursera Sp.</i>
Changungo	<i>Byrsonima crassifolia</i>
Guazima	<i>Guazama vimifolia</i>
Panicua	<i>Cochlopermum vitifolium</i>
Palo de oído	<i>Plumería rubra</i>

**B) Sierra de cumbres y laderas tendidas**

<b>Nombre común</b>	<b>Nombre científico</b>
Trompillo	<i>Pinus oocarpa</i>
Encino	<i>Quercus Sp.</i>
Bonete	<i>Jacaratia mexicana</i>
Pochote	<i>Ceiba aesculifolia</i>
Tepame	<i>Acacia pennatula</i>
Tepeguaje	<i>Lysiloma acapulcencis</i>
Tepemezquite	<i>Lysiloma divaricata</i>
Rosa morada	<i>Tabebuia pentaphylla</i>

C) *Laderas abruptas*

<i>Nombre común</i>	<i>Nombre científico</i>
Cuajote	<i>Bursera Spp.</i>
Mojo	<i>Brosimum alicastrum</i>
Guayabillo	<i>Psidium sp.</i>

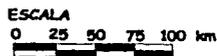
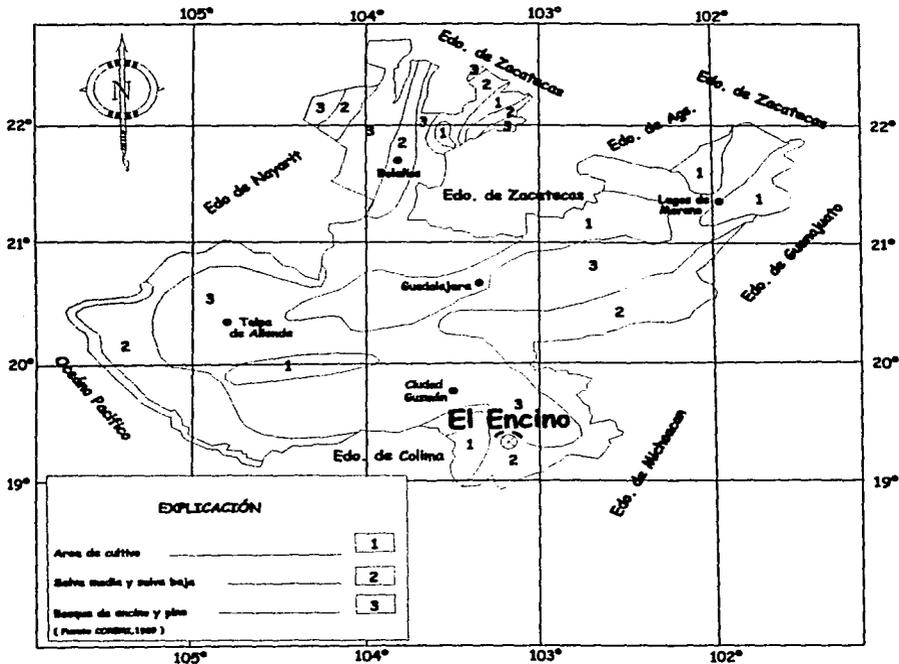
D) *Valles intermitentes*

<i>Nombre común</i>	<i>Nombre científico</i>
Parota	<i>Entero lobium</i>
Espino blanco	<i>Acacia pennatula</i>
Espino colorado	<i>Mimosa benthami</i>
Mulato	<i>Cacia pinglet</i>

En lo que se refiere a la fauna, también es muy rica en la región, de tal suerte que se encuentra la siguiente:

<b>MAMÍFEROS</b>	Conejos, tejón, venado, tlacuache, armadillo, ardilla, zorro, entre otras.
<b>OVÍPAROS</b>	Aguililla, calandria, carpintero, codorniz, colibrí, correcaminos, chachalaca, churio, gavián, golondrina, mirlo, paloma barranquera, perico, pija, ruiseñor, ticuz, urraquilla, zopilote, entre otras.
<b>ARÁCNIDOS Y REPTILES</b>	Araña venenosa y no venenosa, tarántula, alacrán, iguana, escorpiones, serpientes de cascabel, coralillo, alpacuate y chirrionera, entre otras.

ESTADO DE JALISCO



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

U N A M  
FACULTAD DE INGENIERÍA

VEGETACIÓN

AUTOR: MIGUEL ANGEL IBARRA RANGEL

FIG. 4

TESIS PROFESIONAL

### III. Marco geológico regional

#### III.1 Fisiografía

Fisiográficamente el yacimiento se localiza dentro de la provincia de la Sierra Madre del Sur (Raisz, 1964), la cual se ubica en la porción occidental y austral del estado de Jalisco; que se caracteriza por las cordilleras costeras del sur, la planicie costera, y la discontinuidad fisiográfica de la depresión de Tepalcatepec. El yacimiento "El Encino", se encuentra dentro de la subprovincia costera del sur.

Como Sierra Madre del Sur, se define al rasgo fisiográfico-geomorfológico que se extiende en la porción sur de los estados de Jalisco y Colima, así como en la porción noroeste del estado de Michoacán. Conforman el parte aguas de la vertiente del Golfo y Pacífico. Esta expresión geológica se encuentra constituida por rocas volcánicas predominantemente, metamórficas y en menor grado, ígneas plutónicas y sedimentarias (Humphrey, 1956). (Fig. 5)

Considerada esta, como una de las más complejas y menos conocidas del país, debe muchos de sus rasgos a la estrecha relación que guarda con la Placa Tectónica del Pacífico Mexicano. El distrito está limitado al norte, por el Eje Neovolcánico, cuyo rasgo característico en esta región, es el volcán de Fuego con una altitud de 3930 m.s.n.m. y el Nevado de Colima, que se eleva a 4350 m.s.n.m.; al Sur limita con la Vertiente del Sur; al occidente con el Océano Pacífico y al Este con la Cuenca Balsas-Mexcalapa.

Geológicamente el área se ubica en la provincia del Complejo Orogénico de Guerrero-Colima y Chatina (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1992), que consiste esencialmente en un conjunto de formaciones volcanosedimentarias déformadas, de edad Triásico tardío-Cretácico.



### **III.II Hidrografía**

La región se encuentra dentro de la cuenca del río Coahuayana, el cual drena hacia el sur y desemboca en el Océano Pacífico. Numerosos ríos disectan el área de estudio destacando entre otros, el río Barreras afluente del Coahuayana y más cercano a la mina, este río toma diferentes nombres de acuerdo a las regiones que atraviesa (Mapa topográfico Tepames, esc. 1:50000 )(Fig. 6).

El drenaje se encuentra bien integrado, sus cauces están controlados por el comportamiento diferencial de las rocas que afloran en el área, así como por las numerosas fallas y fracturas que afectan al distrito.

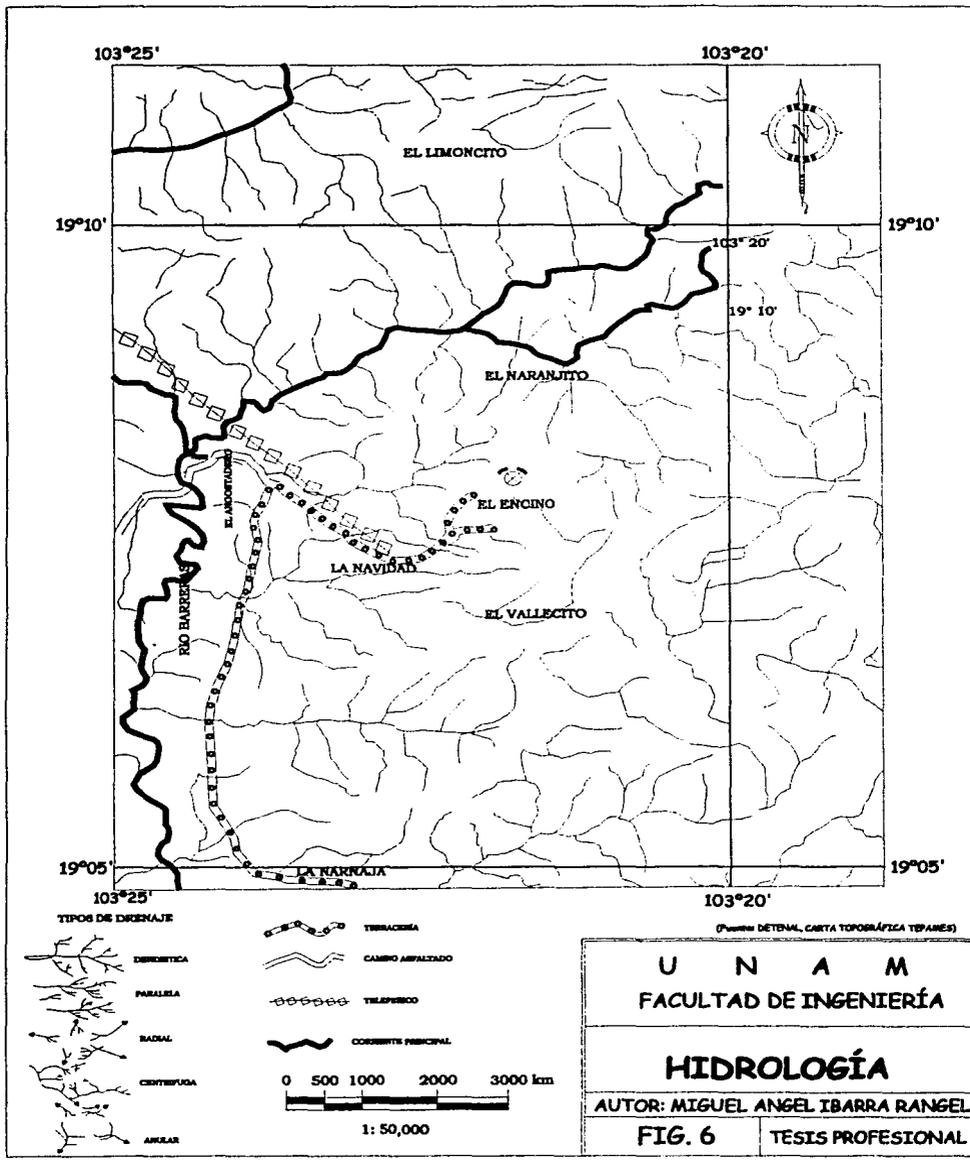
Entre los tipos de drenaje que se han reconocido, se encuentran los siguientes: Dendrítico, Paralelo, Radial, Centrifugo y Anular. Los arroyos son pequeños y torrenciales con fuertes pendientes.

### **III.III Geomorfología**

La geomorfología predominante en el distrito, está determinada por la erosión diferencial de las unidades litológicas presentes; así pues, se tienen lomeríos y pendientes suaves en lugares donde afloran lutitas; lomeríos con escarpes, topografía cárstica y abrupta donde afloran calizas y cerros redondos con elevaciones de importancia, en lugares en los que se encuentran rocas volcánicas.

Las elevaciones en el área oscilan entre los 700 y 2500 m.s.n.m. destacando en las primeras, pendientes suaves y en las segundas, pendientes muy escarpadas. Como ya se menciono, la región es drenada por numerosos arroyos y ríos, lo cual provoca una acentuación de los rasgos geomorfológicos de esta región, la cual se encuentra en una etapa de madurez.

Se han determinado cuatro grupos de estructuras geomorfológicas tomando en cuenta las manifestaciones topográficas, así como la composición de las rocas, ya que



de esto último, depende en gran parte la alteración de las mismas (Meave *et al.*1961). Estas estructuras se describen a continuación:

**Primer grupo.-** Se caracteriza por una topografía bastante accidentada, formando acantilados y profundos barrancos con saltos de hasta 1000 m, generados probablemente por los fuertes movimientos producidos por las intrusiones a que fueron sometidas las rocas sedimentarias que constituyen esta región.

Esta topografía se puede observar en la parte alta de la sierra del Alo y en menor escala en los cerros El Naranjo y la Cofradía. Ocasionalmente, en el valle de Pihuamo se aprecian pequeños lomerios cuyas elevaciones varían entre 100 y 200 m, respecto al mismo valle, tiene una elevación respecto al n.m.m. de 700 m.

**Segundo grupo.-** Este tipo de configuración está representado por rocas ígneas, las cuales han dado origen a una topografía accidentada aunque en menor escala que la primera descrita. Los fenómenos de erosión han causado, por alteración de las mismas rocas, el redondamiento de los cerros con pendientes relativamente suaves. Esta configuración puede observarse en general, en las primeras estribaciones de la sierra "El Alo" y en las proximidades del valle de Pihuamo.

**Tercer grupo.-** Dentro de esta unidad se ha considerado a la zona volcánica que se localiza al poniente del área estudiada. Está representada por dos prominencias montañosas, denominadas Volcán de Fuego y Nevado de Colima; el primero tiene una elevación de 3930 m.s.n.m., mientras que el segundo tiene una elevación de 4350 m.s.n.m., sus características son típicas de volcanes jóvenes, conos bien definidos, rodeados por llanuras de suaves pendientes debidas a la acumulación de los diferentes materiales que han sido arrojados por dichas estructuras.

**Cuarto grupo.-** La topografía comprendida dentro de esta unidad, está referida principalmente al valle de Pihuamo, el cual se formó con los productos de erosión de las diferentes unidades que se han mencionado, constituido por aluviones.

### **III.IV Estratigrafía**

El basamento regional está representado por rocas metamórficas del Paleozoico, expuestas en áreas reducidas y aisladas, constituidas por gneisses, esquistos y anfibolitas? expuestos en ventanas estructurales, cubiertas por rocas volcánicas, sedimentarias marinas y sedimentos continentales que llegan hasta el Reciente. (Tabla 1).

#### ***P A L E O Z O I C O***

López Ramos, 1979 (en Corona, 2000), describe como basamento, "una secuencia de esquistos, gneisses y anfibolitas que afloran al noreste de la ciudad de Manzanillo a una distancia de 25 km aproximadamente. Los esquistos se encuentran constituidos por muscovita, en facies de esquistos verdes. Los gneisses se componen de biotita y muscovita en facies de albita-epidota, intrusionados por migmatitas. Las anfibolitas descritas por dicho autor se encuentran constituidas principalmente por hornblenda."

"Los afloramientos de estas rocas son reducidos y se encuentran muy aislados a manera de ventanas estructurales, dentro de una franja interrumpida y angosta, con orientación al NNW."

#### ***M E S O Z O I C O***

El Mesozoico comprende rocas ígneas intrusivas, volcánicas y sedimentarias marinas, sedimentos continentales y rocas metamórficas (COREMI, 1997).

#### ***T R I Á S I C O***

##### ***Complejo Metamórfico Tumbiscatio-Arteaga***

"El complejo Tumbiscatio-Arteaga (Centeno-García *et al.*, 1993), consiste en una alternancia de lutitas, areniscas de grano fino, grauvacas y algunos paquetes delgados de pedernal; la secuencia estratigráfica contiene basaltos almohadillados, pedernales de

SIMBOLOGÍA	ERA	PERIODO					LITOESTRATIGRÁFICA	YACIMIENTOS MINERALES METÁLICOS
		Quaternario	Terciario	Cretácico	Jurásico	Triásico		
	CENOZOICO	Quaternario	Qa	Depósitos recientes.	Depósitos de placer Estaníferos.			
		Terciario Superior	Tsc	TERCIARIO SUPERIOR CONTINENTAL: Consiste de aluvión, depósitos de talud, basaltos, cenizas, tobas y lapilli.				
			Tsv	TERCIARIO SUPERIOR VOLCÁNICO: Esta constituida por tobas dacíticas, aglomerados y brechas volcánicas. En algunas localidades existen lohares.	Vetas de Estaño.			
		Terciario Inferior	Tiv	TERCIARIO INFERIOR VOLCÁNICO: Consiste de brechas andesíticas, derrames basálticos y algunos horizontes de areniscas y limonitas.	Mantos de manganeso asociados a diques estratos pórfidos diabásicos. Vetas Auroargentíferas.			
			Tip	TERCIARIO INFERIOR PLUTÓNICO: Constituida por granitos, granodioritas, tonalitas y adamellitas EJ.: Batolitos de Tomatlán, Pihuame y Aquila.	Vetas Hidrotermales Polimetálicas.			
	MESOZOICO	CRETÁCICO	Superior	Ks	FORMACIÓN MORELOS: Consiste en calizas y dolomías masivas, así como yesos y anhídrida.  FORMACIÓN CERRO LA VIEJA: Está constituida por conglomerados con fragmentos calcáreos intercalados con limonitas, areniscas y margas.  FORMACIÓN MADRID: Consiste de calizas arcillosas, lutitas carbonosas y yesos.  FORMACIÓN VALLECITOS: Paquete volcanosedimentario de tobas ignimbriticas, flujos de lava, brechas y calizas, los cuales se presentan hacia la cima.	Depósitos cupríferos con oro y plata en vetas.		
				Inferior	KI	FORMACIÓN TECATLÁN: Compuesta por tobas así como intercalaciones de areniscas con limonitas y andesitas.	Depósitos de Hierro.	
						FORMACIÓN TEPALCATEPEC: Compuesta por calizas, calizas arcillosas, lutitas, limonitas, tobas y derrames andesíticos.		
					FORMACIÓN ENXIDO: Serie volcanocéntrica marítima compuesta por conglomerados, tobas porfíricas, areniscas, limonitas y calizas lenticulares.			
					FORMACIÓN ALBERCA: Consiste de lutitas de color negro, calizas arcillosas, areniscas e intercalaciones de tobas y derrames andesíticos.  INTRUSIVOS: Constituida por recas graníticas, granodioríticas, dioríticas, sieníticas, monzoníticas y cuarzomonzonitas.	Depósitos tipo sulfuros masivos.		
PALEOZOICO	JURÁSICO		MIEMBRO VOLCANOSSEDIMENTARIO: Consiste en una alternancia de filitas, pizarras, calizas, lavas, aglomerados y tobas de composición andesítica.  MIEMBRO MARINO: Está compuesto por lutitas, areniscas y conglomerados, además de lavas, tobas y lentes de pedernal.					
		TRIÁSICO	COMPLEJO TUMBISCATIO - ARTEAGA: Compuesto por lutitas, areniscas de grano fina, grauwacas y pedernal, además de calizas y lavas almohadilladas. Esta secuencia se encuentra intrusada por varios cuerpos graníticos. La unidad se encuentra intensamente deformada.					
PALEOZOICO	TRIÁSICO		ENXIDOS: Compuesta por biotita y muscovita en facies de albita-epidota intrusados por migmatitas.  ESQUISTOS: Constituido por muscovita en facies de esquistos verdes.  ANFIBOLITAS: Constituida por hornblenda.					

color verde claro, capas delgadas de calizas alternadas con tobas y "sills" graníticos y dioríticos foliados. Toda la unidad se encuentra intensamente deformada y en algunas partes presenta metamorfismo en facies de esquisto verde. La localidad tipo se localiza entre las poblaciones de Arteaga y Tumbiscatio en el estado de Michoacán. La unidad estratigráfica tiene un espesor de más de 1200 m e incluye a las formaciones Varales, Jaltomate, Charapo y la Diorita Las Juntas".

### *JURÁSICO*

Se encuentra representado por dos miembros, uno volcanosedimentario metamorfoseado y otro marino. Campa, et al. (1981), Herrera y Sánchez-Zavala (1992) en Corona (2000), definen al primer miembro como una alternancia de filitas, pizarras, calizas, lavas, aglomerados, tobas de composición andesítica y cuerpos lenticulares de meta-riolita. Esta secuencia aflora entre Tzitzio y El Limón de Papatzingán, al Este del estado de Michoacán, y conforman el núcleo de la megaestructura anticlinal Tzitzio-Huetamo. Se le asigna una edad del Jurásico Superior.

El miembro marino, de acuerdo a Pantoja, 1959 (en Meave, 1961), "comprende una serie de clastos de origen marino, consistentes en lutitas, areniscas y conglomerados de color amarillo, verde, rojo y pardo; interestratificados con lavas, tobas y esporádicos lentes de pedernal; subyacen en discordancia angular a la secuencia asignada al Cretácico Inferior. A esta unidad se le conoce como Formación Angao y se han medido espesores de hasta 200 m".

### *CRETÁCICO INFERIOR*

El Cretácico inferior está constituido por sedimentos volcánicos del Berriasiano a Hauteriviano, así como por calizas arcillosas y lutitas del Barremiano; además de productos volcánicos andesíticos y riolíticos del Barremiano-Aptiano.

### **Formación Alberca**

Esta formación es propia de la cuenca de Colima. Su descripción fue hecha en trabajos internos de Petr6leos Mexicanos por Pimentel (1981), para referirse a una secuencia de lutitas negras, calizas arcillosas con intercalaciones de andesitas y de tobas de color claro, as3 como areniscas color pardo de grano fino, con abundante macrofauna. Su espesor var3a de 900 a 1800 m. Su contacto inferior no est3 expuesto; en tanto que el superior es concordante con la base de la Formaci3n Tecalitl3n. La edad Berriasiense-Hauteriviense, es apoyada por el contenido faun3stico de *Subthurmania sp.*, *Turmaniceras sp.*, *Neocomites sp.*, *Mexicanoceras sp.* y *Berriassella sp.*

La formaci3n aflora en la rancher3a La Alberca, a 20 km al norte de Contla, Jalisco, y al noreste de Tepames, Jalisco. Pimentel (op. cit.) dividi3 a la formaci3n en miembro inferior y superior; el primero, constituido por lutitas, calizas arcillosas, tobas y areniscas, con abundante macrofauna; mientras que el segundo miembro, est3 constituido por calizas y lutitas negras silicificadas, abundantes tobas, y algunos derrames andes3ticos y areniscas de grano fino a medio.

Berm6dez-Santana (1994), menciona que la base de la Formaci3n Alberca en la secci3n Cahuinga-Estanzuela, al poniente de Tepalcatepec, se encuentra constituida por una unidad volcanosedimentaria con estratos pel3ticos, que localmente contienen amonitas y restos mal preservados de plantas interestratificadas con derrames de composici3n andes3tica, brechas y conglomerados volc3nicos. Asimismo considera que la base de la Formaci3n Alberca, se encuentra afectada por el Batolito Tomatl3n.

En esta misma secci3n Berm6dez-Santana (op. cit.), colect3 amonitas que fueron identificadas como *Neocomites sp.* del Valanginiano superior-Hauteriviano inferior y *Acanthodiscus*, que se3ala una edad probable del Hauteriviano temprano. Dicho autor midi3 un espesor de 1290 m. En la secci3n Cahuinga-Estanzuela subyace concordantemente a la Formaci3n Tecalitl3n y correlaciona con la Formaci3n San Lucas de la cuenca de Michoac3n. El ambiente de dep3sito de esta formaci3n es el correspondiente a facies marinas asociadas a un arco magm3tico.

### **Formación Tecalitlán**

La Formación Tecalitlán es característica de la cuenca de Colima. Su descripción fue propuesta en trabajos internos de Petróleos Mexicanos, por Rodríguez, 1980 (en Bermúdez-Santana, 1994), que propuso informalmente el nombre de Formación Tecalitlán, para designar a una secuencia de piroclastos constituidos por tobas, areniscas volcánicas, conglomerados volcánicos, tobas líticas, derrames andesíticos e intercalaciones aisladas de limolitas de probable edad Barremiense-Aptiense.

Considera como localidad tipo a los afloramientos situados en la carretera federal 110 Jiquilpan-Manzanillo, entre las poblaciones de Tecalitlán y la ranchería de Carrizalillo, en el estado de Jalisco.

Pantoja, *et. al.* (1986), extendieron y nombraron formalmente a la Formación Tecalitlán, incluyendo a las rocas volcánicas que afloran al poniente de la mina El Encino, cuya posición estratigráfica y composición es similar a las rocas expuestas en los alrededores de Tecalitlán, Jalisco.

La formación se encuentra ampliamente distribuida al occidente y Sureste de Tecalitlán, al Oeste de Tepalcatepec, en los alrededores de la mina El Encino y en el cerro de las Fundiciones, al oriente del yacimiento La Minita. Su espesor varía de 1200 a más de 2000 metros. Se encuentra sobreyaciendo concordantemente a la Formación Alberca y subyace en aparente concordancia a la Formación Tepalcatepec. Estas relaciones estratigráficas sitúan a la Formación Tecalitlán entre el Hauteriviano y el Aptiano.

En el área de la mina El Encino, la secuencia consiste en emisiones de composición riolítica a dacítica con intercalaciones de tobas. La cima de la formación en la parte alta del cerro de Jilotlancillo se encuentra constituida por una roca ígnea de grano fino probablemente basáltica, con vesículas rellenas de calcita (Pantoja, *et. al.*, 1986).

En la sección Cahuinga-Estanzuela, Bermúdez-Santana (*op. cit.*), menciona que el espesor de la Formación Tecalitlán es de 870 m, se caracteriza por carecer de estratos pelíticos y por la ausencia de micro y macrofauna por tener un carácter eminentemente volcánico. Dicho autor obtuvo una edad por K-Ar de  $118.5 \pm 2.5$  m. a., a partir de un concentrado de hornblenda de una andesita porfídica colectada en la parte superior de la Formación Tecalitlán. Esta edad radiométrica corresponde al Aptiano temprano y es congruente con la edad por posición estratigráfica obtenida para la Tecalitlán. En el Pozo Colima - 1, localizado en el anticlinal de Jala al Sur de Coquimatlán, Colima; se cortó un espesor de 177 m de espesor de esta formación. En el mismo pozo esta unidad subyace en discordancia a la Formación Madrid. Las formaciones paelozoicas y las aquí descritas, afloran en el área de estudio.

### ***Formación Tepalcatepec***

La Formación Tepalcatepec, que se encuentra distribuida en la cuenca de Colima, al igual que las formaciones Alberca y Tecalitlán, han sido propuestas informalmente en trabajos internos de Petróleos Mexicanos. Pimentel (1980) definió informalmente a la formación en el área de Tepalcatepec, estado de Michoacán. Consiste en una secuencia volcanosedimentaria de capas gruesas a masivas de calizas, calizas arcillosas, lutitas, calizas areno-arcillosas de color oscuro; areniscas, limonitas rojizas, tobas, además de tobas y derrames andesíticos. Su edad Albiense-Cenomaniense se basa en su contenido de rudistas.

Esta formación se encuentra distribuida ampliamente. El espesor medido en superficie es de 2,500 a 3,000 m y ha sido dividida en facies de bancos y facies volcanosedimentaria. Ambas facies inician con una alternancia de areniscas, conglomerados, lutitas y limolitas.

Las facies de bancos están constituidas por capas gruesas a masivas de calizas de plataforma. Incluye también potentes espesores de conglomerados gruesos de matriz calcárea. La facies volcanosedimentaria la conforman las brechas de composición andesítica a latítica con intercalaciones de estratos calcáreos delgados.

La formación Tepalcatepec, sobreyace en concordancia a la Formación Tecalitlán, se interdigita con la formaciones Madrid y Cerro La Vieja. El contacto superior está erosionado y es discordante bajo conglomerados continentales con fragmentos calcáreos probablemente de la Formación Colima.

Por ser de la misma edad, se le considera como un cambio de facies de la Formación Encino y Tecalitlán. En la Formación Tepalcatepec, las rocas volcánicas predominan sobre las clásticas y calcáreas.

La edad de esta formación está bien definida con base en la siguiente asociación faunística: *Defladrella veracruzania*, *Carbinolina sp.*, *Palorbuolina lenticularis*, *Peruvilla dolium*, *Dictyoconus sp.*, *Coalcomana ramosa*, *Coalcomana sp.*, *Actaeonella sp.*, *Favusella sp.*, *Dicyclina sp.* y *Dicyclina schlumbergeri*.

El ambiente de depósito de esta formación, es el propio de facies de plataforma con aporte de terrígenos, desarrollada en la zona de influencia del arco magmático de acuerdo con Pimentel *op. cit.*

El espesor máximo registrado para la Formación Tepalcatepec es de 3750 m, en la sección Puerto las Cruces-Pinolapa, y de 2660 m en la sección Cahuinga-Estanzuela (Bermúdez-Santana, 1994).

La Formación Tepalcatepec, aflora en el anticlinal de Tepames, estado de Jalisco, cerca de la población del mismo nombre y al Norte de Estampilla, municipio de Colima.

### **Formación Encino**

Fue descrita por Pantoja, *et. al.* (1986), como un conjunto de rocas volcanoclásticas marinas que consisten en conglomerados, tobas piroclásticas e intercalaciones lenticulares de caliza, que sobreyacen en discordancia a la Formación Tecalitlán y subyacen en discordancia angular a rocas volcanoclásticas, derrames subaéreos y calizas de la Formación Vallecitos. La localidad tipo se sitúa en la barranca

del arroyo de la Navidad, localizada dentro de los fundos de la Compañía Minera Las Encinas, S. A.; en los terrenos del antiguo rancho El Encino.

La Formación Encino se divide en dos miembros, Miembro inferior y superior. El Miembro inferior se encuentra constituido por lavas y brechas espilitizadas, con presencia de hialoclastitas y alteración propilitica, así como un paquete de tobas de grano fino de color verde olivo con estratificación delgada, así como lentes de caliza. En este miembro Pantoja y Estrada (1986), reportaron la presencia de *Cassiope* sp. , *Nerinea* sp. , *Radolites* sp. y *Orbitolina* sp.

El Miembro superior, se encuentra constituido por una secuencia de limonitas, areniscas y margas, de estratificación delgada. Presenta tobas bandeadas de composición andesítica con abundante propilitización.

El contenido faunístico de la formación, indica una edad Aptiense tardío-Albiense temprano (Pantoja *et. al.*, *op. cit.*).

### ***Formación Vallecitos***

Piñeiro (1972) en Pantoja y Estrada (1986), realiza la primera descripción de estas rocas. Pantoja y Estrada la nombraron formación Vallecitos, para referirse a una secuencia de más de 350 m de derrames andesíticos y emisiones piroclásticas, calizas arrecifales y rocas volcanoclásticas de ambiente marino del Albiano Temprano, que afloran en el área de la mina El Encino y en los alrededores de la rancharía Vallecitos en el estado de Jalisco, también aflora en el área de la mina Peña Colorada, municipio de Minatitlán, Colima.

Esta formación comprende dos miembros, Inferior y Superior. El Miembro Inferior se encuentra constituido por un paquete de tobas ignimbríticas, lavas, brechas piroclásticas y tobas líticas. Este miembro tobáceo se encuentra bien expuesto en el cerro Rincón del Diablo (cerro de la Antena) en la carretera Armería-Manzanillo. Así mismo, cubre con marcada discordancia angular a la Formación Encino Superior.

El Miembro Superior de la formación Vallecitos, se encuentra constituido por calizas de estratificación mediana, con abundante fauna hacia su cima. Su edad es Albiense temprano y se basa en la presencia de *Coalcomana ramosa* (Bohem), *Chondrodonta* sp. y otros géneros (Pantoja, *et. al., op. cit.*).

### **Formación Madrid**

Pano-Arciniega (1975), propuso el nombre de Formación Madrid, para designar a las rocas constituidas por calizas arcillosas y lutitas carbonosas que cambian lateralmente a yesos.

La constituyen dos miembros bien definidos: el Miembro Inferior, formado por paquetes de 20 a 30 cm de espesor de calizas arcillosas (mudstone), de color pardo oscuro a negro, interestratificadas con paquetes de 5 a 10 cm de espesor de lutitas carbonosas con gran abundancia de plantas y amonitas.

El Miembro Superior está constituido por yesos en estratos de espesor medio (30 a 40 cm) de color gris claro. Razo-Rojas, 1986 (en Bustamante-Bermejo, 1994) identificó *Colomiella recta*, *Favusella hiltermani* e *Histeróceras* sp., que sitúa la edad de la formación en el Aptiense superior-Albiense.

La formación aflora en áreas muy restringidas al Norte y occidente de Coquimatlán y al SE de Ixtlahuacán, en el estado de Colima; al SE de Pihuamo, Jalisco y en el área de paso de arrieros, en el estado de Michoacán. El espesor de la formación Madrid se estima de 800 a 1000 m (Pano, *op. cit.*). Sobreyace en aparente concordancia a la Formación Tecalitlán. Este autor considera que la formación es producto de facies lagunares marginales, que culminan en evaporitas, dada su litología y contenido faunístico.

### **Formación Cerro La Vieja**

Parga-Macias (1977), la definió informalmente en el cerro de La Vieja a 7 km al SW de Coquimatlán, Colima. Esta formación se halla expuesta en la porción occidental de la cuenca de Colima y consiste en una serie de cuerpos de conglomerados con fragmentos calcáreos, pobremente clasificados, así como algunas intercalaciones de limolita, areniscas y margas, en general de color rojizo.

En el estudio realizado por Corona-Esquivel (2000), se reveló que la Formación Madrid y la Formación Cerro La Vieja, son parte del mismo Anticlinal orientado NNW-SSE, que fue afectado por emplazamientos intrusivos, como el del cerro Náhuatl. En las muestras con palinomorfos colectadas por el Dr. Enrique Martínez del Instituto de Geología de la U. N. A. M., se encontraron *Retimonocolpites* sp. y *Tricolpites* sp., así como una gran abundancia de fitoclastos (*traquidas* y *fusinita*). Estos granos de polen, representan las primeras angiospermas del Cretácico temprano de edad Albiense-Aptiense. La obtención de estos datos permitió concluir a dicho autor, que la formación Cerro La Vieja es en realidad del Albiano y corresponde a la parte superior de la formación Madrid. La presencia de abundantes fitoclastos indican un ambiente fluvial-deltáico, con oxidación de materia vegetal, proveniente de una región continental cercana, expuesta a la erosión durante el Cretácico temprano Corona *et al*, (1996) (en Corona,2000).

### **Formación Morelos**

Fries (1960), describe una secuencia de calizas tipo mudstone y wackestone de pellets y miliólidos de color gris claro a oscuro, con abundantes bancos de rudistas, relacionados con depósitos de plataforma, e intercalaciones de dolomías de color gris oscuro. El espesor de los estratos varía de 20 a 100 cm.

En la base de esta formación se identificaron facies de plataforma con presencia de yesos y dolomías, las cuales son más evidentes en la porción oriental de la cuenca de Guerrero. El espesor de esta formación varía de 370 a 1430 metros. En la región de estudio sobreyace a la Formación Madrid.

Con base a su posición estratigráfica, corresponde al Albiano-Cenomaniano, pero de acuerdo al contenido faunístico tiene un alcance hasta el Turoniano.

En el área de estudio consiste de dos miembros, uno inferior y otro superior. El primero consiste en cuerpos de yesos y anhidrita, mientras que el último está constituido por calizas y dolomías masivas, arrecifales, en estratos gruesos.

La localidad tipo de la formación Morelos se ubica en el estado de Morelos, por sus afinidades faunísticas, PEMEX ha considerado que esta unidad se depositó en un ambiente de plataforma somera con desarrollo de cuerpos arrecifales.

### **ROCAS ÍGNEAS INTRUSIVAS**

La posición estratigráfica de las rocas plutónicas ha sido bastante discutida, algunos autores diferencian cuando menos cuatro actividades magmáticas en épocas distintas. En el presente trabajo sólo se mencionan las Cretácicas y del Terciario.

### **ROCAS INTRUSIVAS CRETÁCICAS**

Las rocas ígneas del Cretácico se encuentran ampliamente distribuidas en el territorio nacional, particularmente en la porción occidental y media del país, identificadas en superficie y en el subsuelo de las provincias geológicas de las Cuencas de Colima y Guerrero.

Álvarez, 1962 (en COREMI, 1997), "ubica al Batolito Costero o del Pacífico, en el Cenomaniano, mencionando intrusiones Turonienses, las cuales abarcan hasta fines del Mesozoico, ya que parecen afectar a la secuencia sedimentaria marina de esa edad. Los diversos eventos plutónicos dieron lugar a cuerpos de granitos, granodioritas, dioritas, sienitas, monzonitas y cuarzomonzonitas".

---

## **CENOZOICO**

### **TERCIARIO INFERIOR PLUTÓNICO**

Se encuentra constituido por granitos, granodioritas, tonalitas y adamelitas, con facies ocasionales de diorita. Se encuentra aflorando en dos regiones: la primera es la región costera, desde Puerto Vallarta y San Felipe de Hajar, en el occidente del Estado de Jalisco, hasta las inmediaciones de Manatlán, en el centro del mismo. La segunda, corresponde a la porción Sureste del Estado de Jalisco, hacia sus límites con los estados de Colima y Michoacán (COREMI, 1997).

Se identifican tres cuerpos intrusivos:

Primero: El batolito de Tomatlán (Grajales, *et. al.*, 1984), aflora en varias áreas desde el Sur del estado de Nayarit, hasta el estado de Colima.

Segundo: El batolito o tronco cuarzo-monzonítico de Pihuamo con edad de  $65 \pm 3$  ma; (K/Ar en roca entera) según Pantoja, 1983 (en Corona, 2000), aflora en los alrededores de la mina El Encino y se encuentra estrechamente relacionado a la mineralización del mismo yacimiento (Pantoja, *et. al.*, 1986).

Tercero: El batolito de Aquila de composición granítica en el estado de Michoacán, fue fechado también por el método K/Ar, analizando minerales de hornblenda, dando como resultado una edad de  $63 \pm 1$  ma y por biotita, se determinó la edad de  $61 \pm 1$  m. a., edades que corresponden al Mesozoico tardío y Terciario Temprano (Pantoja, *et. al.*, 1986).

### **TERCIARIO INFERIOR VOLCÁNICO**

Se encuentra constituido por brechas andesíticas, derrames basálticos y horizontes delgados de areniscas y limolitas, Mauvois, 1977 (en COREMI, 1997). Se encuentra representado por rocas clásticas continentales y por rocas volcánicas asociadas a la actividad del Eje Neovolcánico.

### **TERCIARIO SUPERIOR**

El Terciario Superior se encuentra representado por rocas dacíticas, brechas volcánicas y localmente por lahares (COREMI, 1997). Además de piroclastos provenientes del Volcán de Colima, constituidos por areniscas, cenizas y derrames de basalto (COREMI, 1997).

### **CUATERNARIO**

Estos depósitos son de origen fluvio-aluvial y lacustres, se derivan en su mayoría de la erosión de las rocas volcánicas. Consisten en sedimentos lacustres, depositados en los taludes y valles intermitentes (COREMI, 1997).

### **III.III Evolución geológica**

El Estado de Jalisco ha sido tectónicamente activo desde fines del Paleozoico y hasta el Reciente, dando como resultado un sistema de fosas y pilares con tendencia a levantarse en la actual costa del Pacífico y a profundizarse al oriente del continente.

El más antiguo de los eventos orogénicos se inicia a principios del Mesozoico con el metamorfismo de la secuencia sedimentaria del Triásico, por efectos de la Orogenia Jaliscoconiana, correspondiente en realidad a la Orogenia Laramide Klark, 1973 (en Damon, *op. cit.*).

En la parte occidental de México se generó una actividad magmática y metamórfica que constituye el basamento de la Provincia Tectónica de Colima, Guerrero, Jalisco y Michoacán. De acuerdo con los datos aportados por geofísica (Grajales, *op. cit.*), este basamento tiende a profundizarse hacia el Noreste y está sepultado por una secuencia vulcanosedimentaria, constituida por derrames andesíticos, tobas, aglomerados e interstratificaciones de calizas y lutitas, con cambios de facies laterales como consecuencia del continuo hundimiento de las fosas Colima-Jalisco, a partir del Mesozoico y hasta el Reciente, y en continua colisión en un principio, con la Placa

Farallón y posteriormente con la placa de Cocos, en el Océano Pacífico (Damon P., 1981).

Durante el Jurásico Superior – Cretácico Inferior, se inicia la gran trasgresión marina del Tethisiano, en la parte occidental de México. El nivel del mar era somero a intermedio, con circulación restringida. La placa Farallón continuó en subducción debido a que la dirección de movimiento es transversal a la margen continental, y en la cual se depositan los sedimentos durante este periodo, constituidos por arenas conglomeráticas, arcillas y calizas arcillosas intercaladas con andesitas. Posteriormente, la profundidad del mar fue en aumento, al mismo tiempo en el que se incrementó la actividad magmática - volcánica, manifestada por un complejo ígneo y otro evento posterior metamórfico. El ambiente sedimentario se localizó entre la zona litoral y la marina somera, lo anterior se refuerza con la presencia de rudistas y gasterópodos; estos bancos calcáreos se encuentran intercalados con tobas y derrames andesíticos. Coney *et al.*, 1961 (en Campa, 1981)

A finales del Cretácico Inferior se presenta una ligera subsidencia en el área, manifestada en la secuencia estratigráfica del Neocomiano, la cual tiende a ser continental-litoral y de plataforma marina somera, en la parte central de Colima. Durante el Barremiano-Aptiano, el ambiente de depósito fue marino hacia el occidente de Michoacán y límites de Colima, en el cual se desarrollaron bancos calcáreos con facies litorales (Formación Alberca?). Esta subsidencia persiste durante el Albiano-Cenomaniano, y es causada por los esfuerzos de tensión que actúan en la región, lo cual se refleja en la secuencia sedimentaria que tiende a ser más calcárea que las subyacentes; no obstante persisten los cambios laterales a facies más terrígenas (Formación Tecalitlán?) (Damon *op. cit.*).

La actividad ígnea aparentemente era mayor hacia el Norte y disminuía hacia el Sur, aquí las calizas contienen algunos horizontes tobáceos (Formación Encino?). Lo anterior sugiere la presencia de un arco magmático durante el Cretácico temprano cuyo límite superior posiblemente alcanzó el inicio del Cretácico tardío; el eje magmático de mayor actividad se localizó hacia el oriente entre los 100 y 150 km de la actual línea de costa, lo que hoy constituye el núcleo de la Sierra Madre del Sur. (Damon P., *op. cit.*).

A partir del Cretácico tardío y durante el Terciario temprano, el área estuvo sujeta a un proceso de emersión continua debido a que la margen occidental de la Placa Norteamericana comenzó a cabalgar sobre la dorsal del Pacífico Oriental, por lo que, la Placa Farallón fue consumida casi totalmente y sólo una parte de ésta (en México), continuó en subducción. Como consecuencia de este proceso tectónico los estratos se plegaron y fallaron (Damon P., *op. cit.*).

Después del hiatus del Cretácico, se inició un continuo y amplio evento plutónico acompañado de vulcanismo que duró más de 36 m. a., y cuyas evidencias más antiguas corresponden a los batolitos de Pihuamo, Jalisco y Aquila, Michoacán entre otros, cuya edad es del Paleoceno (Grajales, et. al., 1984).

Durante el Terciario continuó la subducción de la placa Farallón, produciendo esfuerzos de compresión, los cuales provocaron fallamiento y fracturamiento de rocas cretácicas y la emisión de lavas y piroclastos de composición andesítica. Posteriormente hubo intrusiones granodioríticas y dioríticas que produjeron fracturas y fallas con dirección preferencial, Noroeste-Sureste. Así mismo, se desarrollaron manifestaciones ignimbríticas que cubren los relieves preexistentes. Hacia fines del Terciario, se manifiesta una intensa actividad volcánica de rocas basálticas que sobreyace a las ignimbritas. La corteza sufre basculamiento que da origen a fallas post-minerales, formando bloques escalonados y fosas con orientación Norte- Sur y Noreste-Sureste (Damon P., *op. cit.*).

La mena de hierro, se encuentra asociada al emplazamiento del cuerpo batolítico de Pihuamo,, que como ya se menciona corresponde al Paleoceno y tiene una edad de  $65 \pm 3$  m. A. Este intrusivo, se encuentra emplazado en las formaciones volcano-sedimentarias del Cretácico y es en la formación Encino, donde se encuentra la mineralización.

## IV. Geología del yacimiento

### IV.I Localización del yacimiento.

El yacimiento de hierro El Encino se localiza en la porción Suroriental del estado de Jalisco, dentro del municipio de Pihuamo y a 12.5 km en línea recta al Sur de la población con el mismo nombre, contenido en la franja mineralizada de yacimientos de hierro del Sur de México, la cual corre de Noroeste a Sureste, paralela a la costa del Pacífico, formando parte de la Provincia del Complejo Orogénico Guerrero-Colima y Chatina. (Ortega, *op. cit.*). (Fig. 7).

### IV.II Estratigrafía local

La estratigrafía de la zona de estudio fue descrita de manera detallada por Pantoja *et. al.*, (1986), esta representada por la formación Encino, que es la base de la columna estratigráfica local y es correlacionable con la formación Tecalitlán, así también la formación vallecitos que sobreyace a la formación Encino. (Tabla 2)

#### Formación Encino

La formación Encino ha sido dividida informalmente por los geólogos de la compañía en dos miembros, en base a sus características litológicas. Esta a su vez, se subdividen en otros dos sub-miembros, esto es Encino inferior 1 (Ei<sub>1</sub>) y Encino inferior 2 (Ei<sub>2</sub>), Encino superior 1 (Es<sub>1</sub>) y Encino superior 2 (Es<sub>2</sub>).

El miembro Encino inferior 1 (Ei<sub>1</sub>), se encuentra constituido por una secuencia de efusiones lávicas (ocasionalmente pillowlavas,) y piroclastos (brechas) de composición andesítica-basáltica depositadas en un ambiente submarino.

El miembro Encino inferior 2 (Ei<sub>2</sub>), está compuesto por tobas de grano fino, color verde olivo. Las capas son de espesor variable (1 a 100 cm). Contiene lentes calcáreos con rudistas y miliólidos. La mineralización se encuentra ubicada en este nivel estratigráfico.



El miembro Encino superior 1 ( $Es_1$ ), está representado por una secuencia de limolitas, margas y areniscas estratificadas en capas delgadas de 20 a 100 cm de espesor. Presenta abundantes estructuras primarias (corte y relleno, gradación, ichnofósiles y fragmentos maderáceos).

El miembro Encino superior 2 ( $Es_2$ ), consiste en una secuencia de limolitas y tobas de estratificación gruesa (7 m), con fragmentos líticos predominantemente andesíticos.

### **Formación Vallecitos**

Sobreyaciendo a la formación Encino se encuentra la formación Vallecitos, en una marcada discordancia y subdividida a su vez en dos miembros, uno inferior volcánico denominado Vv, otro miembro superior calcáreo llamado Vc. (Fig. 8)

El Miembro inferior volcánico (Vv) de la formación Vallecitos, se encuentra constituido por un paquete volcánico de brechas explosivas e ignimbritas de composición latítica a andesítica, de textura vítrea, eutaxítica, con abundantes líticos, plagioclasas y esquilras de vidrio, orientados con la dirección de flujo.

El Miembro superior calcáreo (Vc) de la formación Vallecitos, se encuentra constituido por calizas dolomitizadas con estratificación mediana y abundantes rudistas.

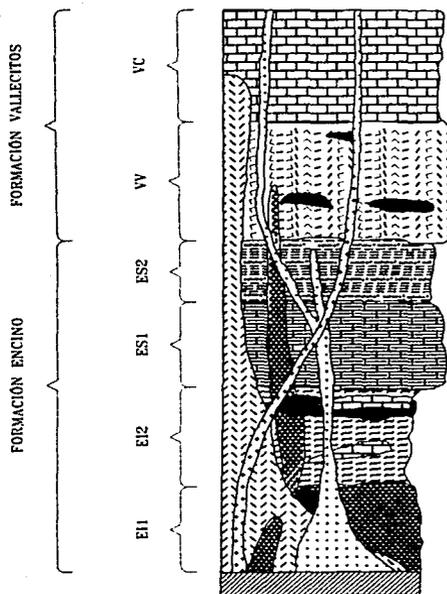
Las formaciones Alberca y Madrid que constituyen parte de la columna estratigráfica no se describen aquí por considerar que no influyen en la columna estratigráfica local.

### **Rocas intrusivas**

Intrusionan a esta secuencia, tres cuerpos ígneos de diferente composición: a) Un gabro de color gris oscuro, de textura fanerítica con abundantes cristales de plagioclasa y piroxenos, con magnetita diseminada, b) Una granodiorita de color rosa, de textura porfídica, con fenocristales de ortoclasa y cuarzo, contenidos en una matriz fanerítica de grano medio, ésta roca se presenta en forma de diques y c) algunos diques de andesita

## ESTRATIGRAFÍA DEL ENCINO

TABLA 2



Calizas dolomíticas de estratificación mediana con abundantes rudistas.

Paquete volcánico de brechas explosivas e ignimbritas de composición latítica a andesítica, textura vitroclástica, eutaxítica, con abundantes líticos, plagioclasas y esquirlas de vidrio orientados con la dirección del flujo

Limolitas y tobas con estratificación gruesa (7m), los líticos son predominantemente andesíticos

Secuencia de limolitas areniscas y margas, estratificado en capas delgadas de 20 a 100 cm de espesor, presentan abundantes estructuras primarias (corte y relleno, gradación, ichnofósiles y fragmentos de madera).

Paquete de tobas de grano fino, color verde olivo, con capas de espesor variable (1 a 100 cm). Estas unidades engloban a lentes calcáreas que contienen fauna de rudistas y miliólidos, encajona en la mineralización de hierro.

Secuencia de efusiones lávicas (pillowlavas, ocasionalmente) y piroclásticas (breccias) de composición andesítica y basáltica depositadas en un ambiente submarino.

### E X P L I C A C I Ó N

AD	ANDESITA	IVV	PÓRFIDO DACÍTICO
Fem	FIERRO	ES2	ENCINO SUPERIOR TOBÁCEO
GR	GRANODIORITA	ES1	ENCINO SUPERIOR CALCÁREO
G	GABRO	E12	ENCINO INFERIOR TOBÁCEO-CALCÁREO
VC	VALLECITOS CALCÁREO	E11	ENCINO INFERIOR VOLCÁNICO
VV	VALLECITOS VOLCÁNICO		

TOMADO DE LAS ENCINAS, S. A. DE C. V.

incluidos en una matriz fanerítica de grano medio con fenocristales de plagioclasa calcoalcalina de textura porfídica.

#### **IV.III Cuerpos mineralizados.**

##### **a) Forma y dimensiones.**

Las formas y dimensiones de los cuerpos minerales, se encuentran estrechamente relacionadas a los cambios litológicos y la afectación estructural producida por fallas con orientaciones NE-SW y NW-SE.

En el yacimiento existen varios cuerpos masivos de mineral de hierro, emplazados en la formación Encino, de los cuales se realiza la extracción. Algunos de estos cuerpos son: El Cuerpo Número Uno (ya explotado), Cuerpo San Ramón (ya explotado) y Cuerpo San Pascual (en explotación) (Fig. 8), los cuales presentan características similares. Las dimensiones máximas de algunos cuerpos son de 280 m de longitud, 80 m de ancho y 40 m de espesor. (Fig. 9).

Las rocas que afloran en el yacimiento son, en cuanto a su origen sedimentarias e ígneas, asociadas a un arco volcánico. La edad de estas rocas varía desde el Cretácico inferior al Reciente. Las rocas más antiguas en el distrito conforman una secuencia vulcano-sedimentaria, con intercalaciones de flujos piroclásticos submarinos de andesita y basaltos piritizados, así como lentes de caliza arrecifal (biohermas?) (Ei<sub>1</sub>); en superficies aisladas, que pasan gradualmente a grauvacas y margas; así como brechas y tobas, cuya composición varía de latitas y cuarzo latitas a riolitas (Ei<sub>2</sub>), se le asigna una edad del Cretácico Inferior en su parte más alta. (Figs. 10, 11 y 12)

##### **b) Mineralogía y texturas**

La mena principal es la magnetita. Presenta un halo de alteración de hematita, el cual desaparece en las zonas menos alteradas y profundas de los cuerpos mineralizados; mientras que el contenido de magnetita se incrementa. Las características que presenta



- Alluvión
- Vallcitos colodáreo
- Vallcitos volcánico
- Encina superior

- Encina inferior
- Estructuras**
- Contacto litológico



U N A M

FACULTAD DE INGENIERÍA

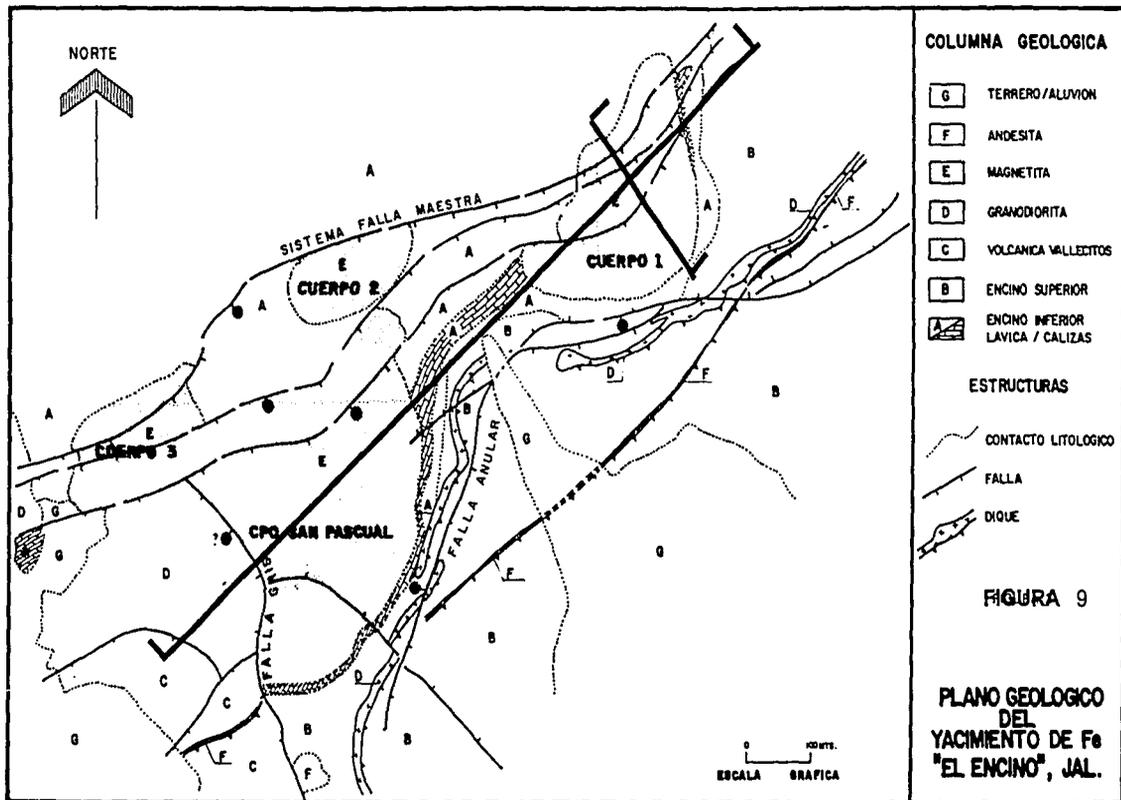
**MAPA GEOLÓGICO**

TOMADO DE LAS ENCINAS S.A. DE C.V.

MODIFICADO POR ABELARDO JIMÉNEZ, JUAN CARLOS BARRERA

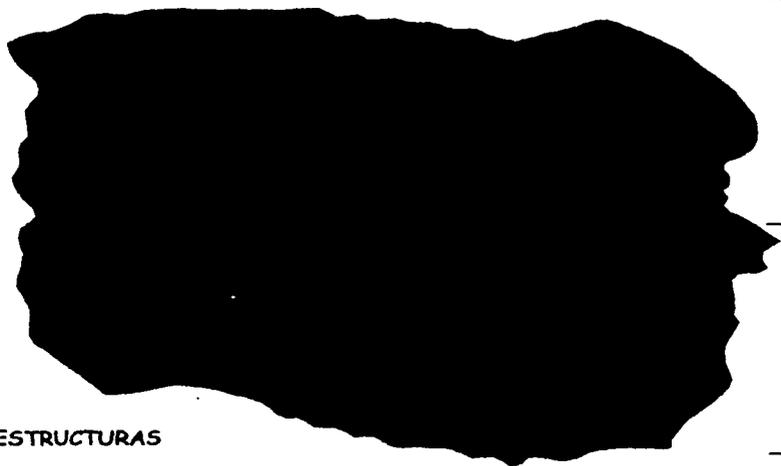
**FIG. 8**

TESIS PROFESIONAL



Fuente: Society of Economic Geologists, 1990.

Modificado por: Miguel Angel Ibarra Rangel



### ESTRUCTURAS



FALLA

CONTACTO LITOLÓGICO

ESCALA

### COLUMNA ESTRATIGRÁFICA



ENCINO SUPERIOR 1 (LIMOLITAS Y MARGAS)



CUERPOS MINERALIZADOS (MAGNETITA)



ENCINO INFERIOR 2 (CALIZAS)



ENCINO INFERIOR 1 (PIROCLASTOS)

U N A M  
FACULTAD DE INGENIERÍA

SECCIÓN ESQUEMÁTICA DEL CPO. SAN RAMÓN  
VIENDO AL NW

Tomado de Las Encinas, S. A. de C. V.  
MODIFICADO POR: MIGUEL ÁNGEL IBARRA RANGEL

FIG. 10

TESIS PROFESIONAL

SECCION GEOLOGICA ESQUEMATICA TRANSVERSAL  
AL CUERPO 1 DEL YACIMIENTO DE FO EL ENCINO, JAL.

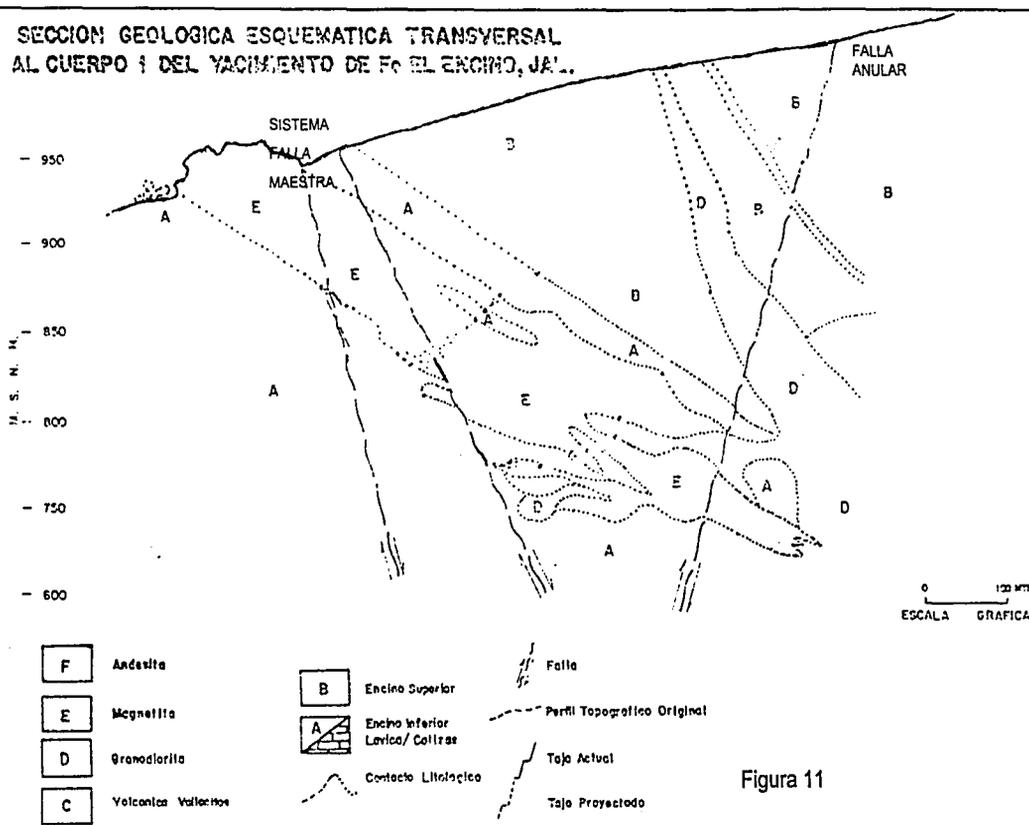


Figura 11

Fuente: Society of Economic Geologists, 1990.

Modificado por: Miguel Angel Ibarra Rangel

SECCION GEOLOGICA ESQUEMATICA LONGITUDINAL DEL YACIMIENTO DE Fe EL ENCINO, JAL.

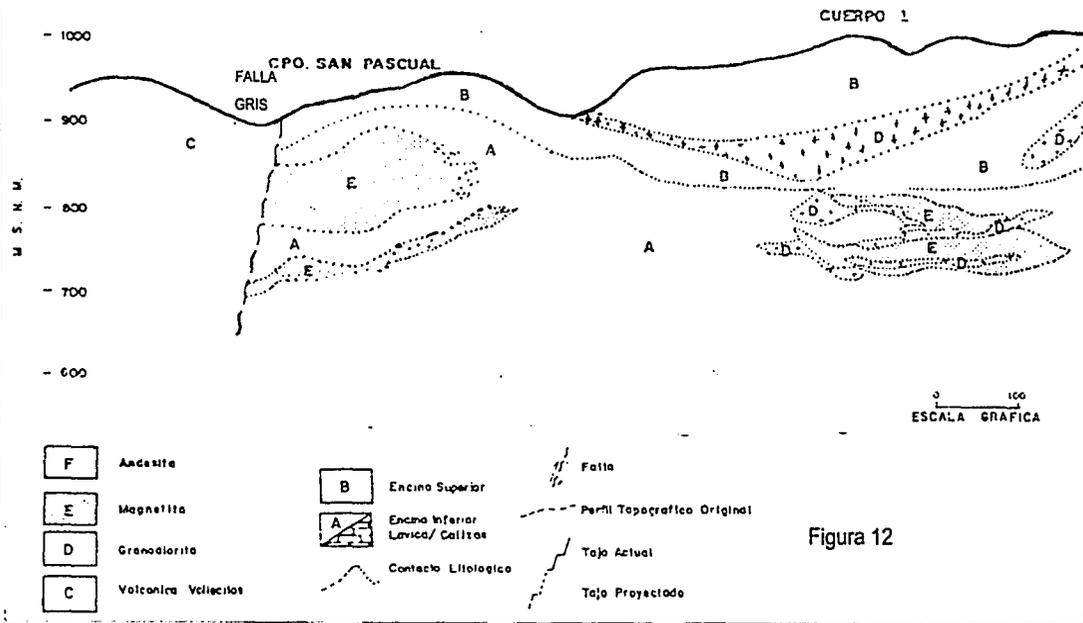


Figura 12

Fuente: Society of Economic Geologists, 1990.

Modificado por: Miguel Angel Ibarra Rangel

megascópicamente el mineral de hierro son: color negro a pardo, cuya estructura se presentan en tres formas distintas y bien definidas:

La primera que es la más importante, está representada por cuerpos de mineral masivo de dimensiones considerables.

El segundo tipo de concentración, se encuentra representado por áreas compuestas de mineral de hierro bandeado, contenido en posibles zonas de flujo, de las soluciones mineralizadas. Estas zonas se encuentran bien identificadas en el interior de la mina, ya que, generalmente están acompañadas de pequeñas proporciones de apatita.

La última forma de concentración está representada por el mineral de hierro diseminado, que es de muy mala calidad, ya que generalmente se encuentra muy alterado debido al intemperismo.

Para la explotación subterránea de los cuerpos se diseñó el método de minado "Sublevel-Caving" (hundimiento por sub-niveles).

En el siguiente cuadro se muestran los diferentes tipos de minerales que se encuentran en El Encino:

	<i>Singénéticos</i>	<i>Hipogénéticos</i>	<i>Supergénicos</i>
<b>Mena (Fe)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Magnetita</li> <li>Hematita Terrosa</li> <li>Hematita (Especlarita)</li> <li>Pirita?, Siderita</li> <li>Biotita, Apatita</li> <li>Feldespatos</li> <li>Anfiboles, Ilmenita</li> <li>Cuarzo?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pirita</li> <li>Esfalerita</li> <li>Calcopirita</li> <li>Marmatita</li> <li>Bornita</li> <li>Epidota</li> <li>Calcita</li> <li>Clorita</li> <li>Cuarzo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Goethita- Limonita</li> <li>Sericita</li> <li>Melanterita</li> <li>Clorita</li> </ul>

Las características principales de los minerales son:

*Magnetita y Hematita.*- El mineral predominante es la magnetita, se presenta en forma masiva principalmente. La hematita ocurre en menor cantidad y se presenta en los bordes del cuerpo como producto de alteración de la magnetita.

Se observó hierro especular (especularita) en las zonas de contacto, tanto del lado del intrusivo como en la caliza. Probablemente este mineral es producto de las últimas emanaciones de las soluciones mineralizadas que fluyeron hacia la periferia de los afloramientos. Como producto de alteración de la magnetita, también se observaron hidróxidos (Limonita y Goethita). Estos minerales no representan ninguna reserva ya, que son producto de alteración y no responden al proceso de concentración.

*Pirita y Calcopirita.*- Estos minerales se encuentra en forma de vetillas con rumbos diferentes o bien siguiendo las zonas de fluidez del mineral de hierro. Parte de la pirita probablemente se depositó con la magnetita o bien reemplazó a este mineral. No forma parte de la mineralización económica, es un mineral de ganga importante por su alto contenido de azufre.

*Calcita.*- Este mineral se encuentra ampliamente distribuido en todo el yacimiento, ya sea en forma de vetillas o rellenando cavidades en las rocas o en los cuerpos mineralizados de hierro, se presentan cristales bien definidos, estos probablemente se formaron por procesos hidrotermales, posteriores a la mineralización; por tanto se les considera de origen secundario, posterior al mineral de hierro.

*Cuarzo y Feldespato.*- Estos minerales se encuentran en zonas dentro de la masa mineral de hierro, y en las proximidades del contacto con el intrusivo. El cuarzo se observó rellenando cavidades dentro del mineral de hierro, poco abundante, se le atribuye un origen secundario.

*Apatita.*- Este mineral se encuentra, distribuido de manera irregular, siendo más abundante en el mineral de hierro de menor calidad (diseminado).

Epidota.- Este mineral es muy importante como guía mineralógica, puesto que indica la cercanía con los cuerpos mineralizados con hierro, los cuales se encuentran a una distancia no mayor de 20 del mineral.

Limonita y Goethita.- Se observan como producto de alteración de magnetita a hematita.

#### ***IV.IV Geología estructural***

De acuerdo a la información obtenida por los levantamientos geológicos, en el área de "El Encino", existen dos sistemas de fallas y fracturas principales. Las orientaciones principales de éstas son de Noreste a Suroeste y Noroeste a Sureste. La existencia de una falla normal que limita a los cuerpos minerales con dirección Noreste a Suroeste (Falla Maestra) y la conjugación de ésta, con otras con orientación NW-SE (Falla Gris) definen un horts.

Existen otros sistemas de fallas a las antes mencionadas. Las direcciones principales de estas son las siguientes:

N 80° E,	35° NW	N 20°-30° W, Vertical
N 85° E,	10° NW	N 20° W, 86° SW
N 65° E,	Vertical	S 55° W, Vertical

## V. GUIAS DE LA MINERALIZACIÓN

Para investigar los controles del emplazamiento de los yacimientos minerales de interés económico, se toman en cuenta estructuras geológicas relacionadas con el mineral, así como su ubicación estratigráfica, física y química, entre otras características; que determinen la localización de los yacimientos minerales.

### *V. 1 Guías Mineralógicas*

Los minerales que están presentes y de su abundancia relativa, sirven de guía práctica en la búsqueda de la mena. Los minerales oxidados en la superficie sirven como indicación de lo que existe en el subsuelo. Casi todos los yacimientos de hierro cercanos a la superficie presentan, debido a la fácil alteración del hierro, una oxidación conocida como "gossans" o sombreros de oxidación; lo cual también indica posibles concentraciones de mineral en el área.

En El Encino se presenta un halo de alteración debido a la oxidación de la magnetita, este halo es de hematita, por lo que sus límites exteriores definen la presencia de la zona mineralizada.

En torno a los cuerpos de hierro de El Encino, en lo que corresponde a la parte superior del yacimiento y lateralmente, a una distancia no mayor de 200 m se observa alteración propilítica, la cual hacia el techo de la mineralización alcanza de 20-30 m de espesor.

Uno de los minerales guías que indican la cercanía de los cuerpos de hierro, es la presencia de epidota, la cual se encuentra a una distancia no mayor a los 20 m del mineral.

Las vetillas y diseminación de pirita, se encuentran, tanto en el mineral de hierro como en la roca encajonante.

La abundancia de calcita en el mineral de hierro se debe a varias causas; recristalización de la caliza y la disolución y precipitación secundaria de  $\text{CaCO}_3$ , durante la etapa intrusiva y de mineralización hidrotermal.

La roca encajonante y en contacto con el mineral de hierro, presenta un grado de cloritización considerable. Esta alteración pudo haber tenido su origen en procesos hidrotermales posteriores a la mineralización.

### ***V. II Guías litológicas***

Los cuerpos masivos de hierro de El Encino, se encuentran en lo que se llama localmente la interfase ( $\text{Ei}_2$ ). Esta zona se caracteriza por un cambio entre una zona de vulcanismo submarino constituida por brechas explosivas y lavas almohadilladas hacia otra zona que consiste en calizas arrecifales.

Es en las calizas en donde se alojan los cuerpos de mineral. Una característica principal de estas calizas es que son lenticulares y lateralmente se interdigitan con depósitos de tobas y margas. Esta zona es más calcárea en su base y hacia la zona superior, es más terrígena, conteniendo areniscas y tobas andesíticas.

Las rocas intrusivas de composición monzonítica o granodiorítica se encuentran hacia las orillas de lo que es el cuerpo intrusivo o "stock", a una distancia no mayor de 300 m. Algunos de los cuerpos minerales se encuentran en contacto con el intrusivo. Los cuerpos masivos de mineral se presentan debajo de los diques que se desprenden del mismo stock.

En El Encino se presenta un dique "anular" de composición dacítica, se considera post-mineral, dado que no presenta mineralización ni alteración, tiene una orientación NE-SW y esta asociado a la falla anular cuya característica es que atravesándolo, se localiza a la formación Encino, en su miembro  $\text{Ei}_2$  que es donde se encuentra la mineralización, por lo que en las cercanías de los cuerpos minerales, se localizan zonas de calizas y calcilitas, encontrando los mayores volúmenes de mineral adyacentes al intrusivo.

### V. III Guías estructurales

Los cuerpos mineralizados de El Encino, se encuentran limitados por la intersección de dos sistemas de fallas, cuyas características son las siguientes:

- a) Falla Maestra, tiene una orientación NE-SW, constituye el límite norte de todos los cuerpos minerales.
- b) Falla Anular, corresponde al mismo sistema con orientación al NE-SW, constituida por un dique "anular" de composición félsica, no mineralizado ni alterado con pliegues de arrastre.
- c) Falla Gris, también conocida como Falla de la Nariz , pertenece a un sistema de fallas paralelas con orientación NW-SE. Esta falla es muy importante ya que marca el límite poniente de los cuerpos minerales.

### V. IV Génesis

A continuación se exponen algunas observaciones que hacen pensar en un posible origen volcano-sedimentario.

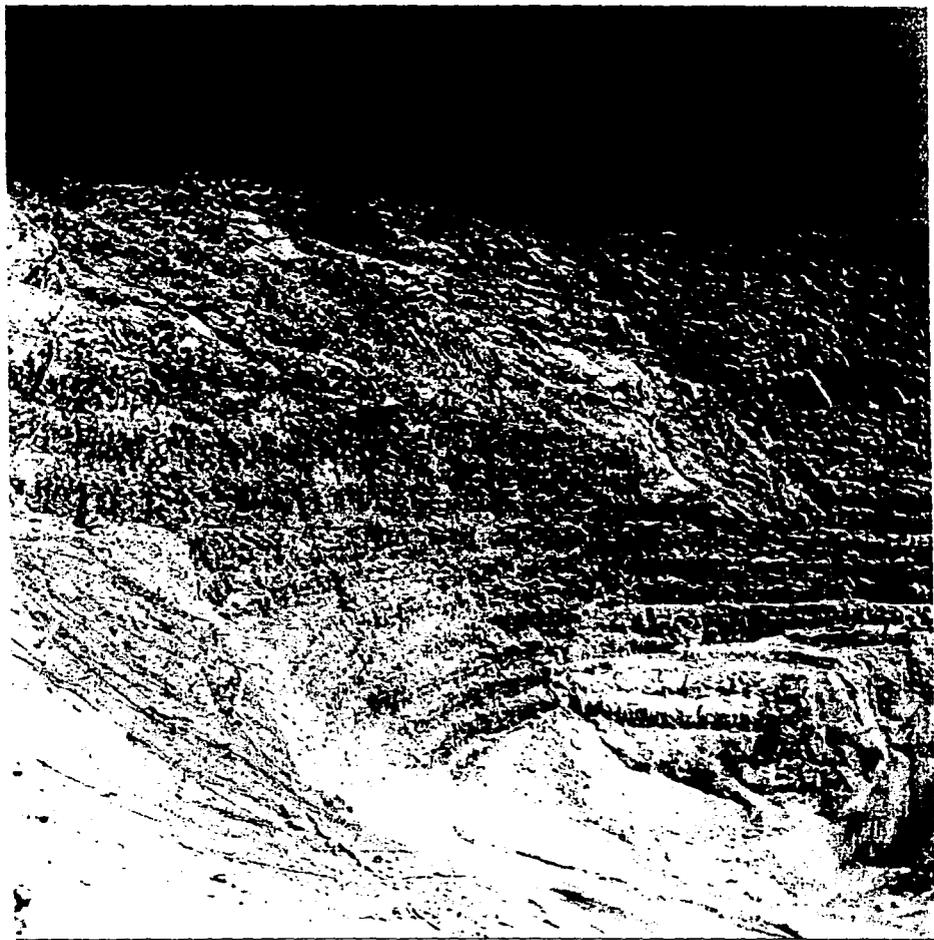
Los cuerpos mineralizados son irregulares o burdamente tabulares, pero muestra rasgos de pseudo-estratificación y hacia sus extremos, ramificaciones completamente irregulares, debidas a fracturas, fisuras y a planos de estratificación pre-existentes.

En El Encino es difícil observar cuerpos de skarn, y aunque a detalle, si se aprecian granates de tamaños pequeños, la casi ausencia de estos, cuestiona la posibilidad de que este yacimiento tuviera un origen pirometasomático como se creía.

Por otro lado estos cuerpos de calco-silicatos están asociados a la granodiorita que corta a los sub-miembros  $E_1$  y  $E_2$ .

Se han observado vetillas de mineral de hierro (magnetita) alterado a hematita, relleno de fracturas hasta la secuencia estratigráfica de la formación Vallecitos, la mineralización se encuentra muy cerca de los cuerpos intrusivos y a diferentes niveles estratigráficos relleno de fracturas.

Por la forma lenticular de los cuerpos y texturas pseudo-estratificadas observadas en los cuerpos de mineral de hierro, se considera que estos, forman parte de la secuencia volcánico-sedimentaria que constituye a la región, la cual fue afectada por procesos hidrotermales correspondientes a eventos magmáticos posteriores.



Esta fotografía muestra el talud de 80° sin vermas que funcionó durante las operaciones de minado a cielo abierto.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### VI.1 CONCLUSIONES

1. El yacimiento de El Encino, se encuentra dentro de la franja mineralizada de hierro orientada al NW, paralelos a la franja costera del Pacífico y coincidentes con otros yacimientos de hierro importantes como Las Truchas, en el estado de Michoacán y Peña Colorada, en el estado de Colima .
2. Las rocas presentes en el área de estudio son, en cuanto a su origen ígneas y sedimentarias, las cuales constituyen una secuencia volcánoclastica marina de arco de arco marginal continental.
3. El yacimiento de El Encino, se encuentra constituido por varios cuerpos de formas lenticulares de mineral de hierro, emplazados en la interfase de la formación Encino en su sub-miembro  $Ei_2$ , el cual se caracteriza por un cambio gradual de litología entre rocas de origen volcánicas y rocas sedimentarias de la misma formación.
4. La mena del yacimiento está constituida por magnetita y en menor grado hematita. La pirita y los otros sulfuros representan, minerales de ganga de interés económico dado su alto contenido en azufre. La apatita también corresponde a un mineral de ganga importante por su contenido en fósforo.
5. Existen dos sistemas de fallas principales que inciden directamente en la localización de la mineralización cuyas direcciones principales son: NW-SE (Fallas Maestra y Anular) y NE-SW (Falla Gris).
6. Por la forma del emplazamiento, relación con la roca encajonante y texturas presentes, se considera que el yacimiento es de tipo volcánico-sedimentario.

**VI.II Recomendaciones.**

1. Para la incorporación de materia prima en El Encino es necesario continuar con trabajos de geología a detalle, considerando la zona de interface de la formación Encino.
2. En las zonas donde existan intersecciones de estructuras de fallas con rumbos NW-SE y NE-SW.
3. Se considera conveniente realizar estudios petrográficos y minerográficos, así como dataciones radiométricas al gabro que intrusión a la secuencia, para determinar la relación que guarda con los cuerpos mineralizados y comprobar que forma parte de la secuencia volcano-sedimentaria como fuente de la mineralización.
4. Así también es importante proyectar las estructuras geológicas que afectan al yacimiento, para buscar cuerpos mineralizados a mayor profundidad.

**REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

**AGUAYO-CAMARGO, J.** 1983: "Integración y Análisis de Información Geológica y Geofísica de la Cuenca de Colima-Jalisco", Instituto Mexicano del Petróleo. Proyecto C-1144. (Informe técnico inédito)

**BERMÚDEZ-SANTANA, J.** 1994: "Estratigrafía de una secuencia volcanosedimentaria del Cretácico Inferior de la región de Tepalcatepec-Coalcomán, Michoacán: integrado por métodos bioestratigráficos y radiométricos", México D. F., I. P. N., ESIA, tesis de maestría, 103 p.

**BURKE, R.** 1978: " Evolution of Continental Rift Sistem in the Ligth of Plate Tectonics, In Tectonics and Geophysics of Continental Rifts. Edited by I. B. Romberg and E. R. Newmann. Ed. A. Rerdel Publishing Company.

**CAMPA, MARÍA F. et. al.,** 1981: "La secuencia volcánico sedimentaria metamorfozada del Triásico (Ladiniano-Cárnico) de la región de Tumbiscatio, Michoacán. Sociedad Geológica Mexicana. VI Convención Nacional. Resumen p.48.

**CAMPA, MARÍA F. et. al.** 1983: "Tectonic Stratigraphic Terranes and Mineral Resource Distributions in Mexico." Canadian Journal of Earth Sciencies. Vol. 20 No. 4-6. Canada.

**CENTENO-GARCÍA, E.** 1993: "Nd isotopes and petrology of the Arteaga Complex: Evidence for oceanic and continental influence in the Guerrero Terrane of México, Geology, v. 21, No. 5, p. 419-422

**CONSEJO DE RECURSOS MINERALES,** 1994, Monografía geológico minera del estado de Colima, 90 p.

**CONSEJO DE RECURSOS MINERALES,** 1997, Monografía geológico minera del estado de Jalisco, 90 p.

**CONSEJO DE RECURSOS MINERALES**, 1994, Monografía geológico minera del estado de Michoacán, 90 p.

**CONSEJO DE RECURSOS MINERALES**, 1999, Anuario estadístico de la minería Mexicana. 409 p.

**CORONA-ESQUIVEL, R.**, 1991: "Mineralogía del yacimiento de hierro Peña Colorada, estado de Colima. Convención sobre la evolución geológica de México, primer congreso de mineralogía, Pachuca, Hidalgo. P. 37-39

**CORONA-ESQUIVEL, R.**, 2000: "Yacimientos de hierro, SW de México", Facultad de Ciencias, UNAM, Tesis Doctoral.

**DAMON-E., PAUL** 1981: " Evolución de los Arcos Magmáticos en México y su Relación con la Metalogénesis." Instituto de Geología, U.N.A.M., Vol. 5, No. 2.

**DE LA GARZA, N.**,1979: " Integración geológica-geoquímica y geofísica del distrito Vulcano, informe interno de la Compañía Minera Capela, S. A. De C. V. Unidad "La Minita".

**FRIES, CARL**, 1960 : "Nuevas aportaciones Geocronológicas", Inst. de Geología UNAM. bol. 64, núm.6, parte 6, México.

**GASTIL, G., MORGAN, J.** 1981: " The Tectonic History of Peninsular California And Adyacent Mexico, In The Geotectonic Development of California. Edited By W. G. Ernest. Ed. Prentice Hall.

**GRAJALES-N. M.** E1984: " Nuevos Datos de K-Ar y Petrografía de las Rocas Ígneas y Metamórficas de la Región Suroccidental del Estado de Michoacán, Resúmenes VII Convención Sociedad Geológica Mexicana.

**INEGI** carta topográfica Tepames E-14-B 43

**KÖEPPEN-W., V.** 1948: "Climatología: Estudio de los climas de la Tierra". Fondo de Cultura Económica, 478 p.

**LOPEZ-RAMOS. E.** 1974: " Geología General de México". Tomos I, II, III. SEP Tercera Edición. México.

**MACERA-ROSAS, A.** 1982: " Estudio Geológico-Minero del Yacimiento Vulcano (Cuerpo La Minita), Guadalupe del Cobre, Michoacán, I. P. N. , Tesis Profesional.

**MEAVE, E. Y ECHEGOYEN, J.** 1961: " Estudio geológico Económico sobre algunos yacimientos de mineral de hierro en los municipios de Pihuamo y Tecalitlán, Jalisco". CRNNR, Bol. 53, 88 p.

**MORAN-CENTENO, D.** 1984: " Geología de la República Mexicana", Facultad de Ingeniería, UNAM.

**MOTA, S.** 1985: " Estudio Geológico Minero del Yacimiento de Fierro de los Pozos, mpio. de Arteaga, Michoacán". Tesis Profesional, Facultad de Ingeniería, UNAM.

**PANO, A. A.,** 1975: " Prospecto Pihuamo", IGPR-124 PEMEX inédito.

**PANTOJA-ALOR, J. et. al.,** 1986: " Estratigrafía de los Alrededores de la mina de fierro de El Encino, Jalisco", Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Tomo XLVII, núm.1, p. 1-16.

**PARGA, M. J.,** 1977: " Prospecto Manzanillo, IGPR-153. PEMEX (inédito).

**PEMEX,** Subdirección de Producción Primaria. Estratigrafía de la República Mexicana, Precámbrico y Paleozoico, coord. ejecutiva de exploración. 1991.

**PEMEX**, Subdirección de Producción Primaria. Estratigrafía de la República Mexicana, Formaciones del Mesozoico, coord. ejecutiva de exploración. 1991.

**PIMENTEL, R. A.**, 1980: Prospecto Soyatlán de Adentro, IGPR-191. PEMEX (Informe técnico inédito).

**SALAS-P., GUILLERMO** 1980: " Carta y Provincias Metalogenéticas de la República Mexicana", Consejo de Recursos Minerales. México.

**TERRONES-A., J.** 1984: " Franjas Metalogenéticas de la Sierra Madre del Sur de la República Mexicana". VII Convención de la Sociedad Geológica Mexicana.