

**UNIVERSIDAD DE SONORA**  
**DIVISIÓN DE CIENCIAS EXACTAS Y**  
**NATURALES**

Departamento de Geología

“ESTUDIO GEOLOGICO-MINERO DE LAS ZONAS  
MINERALIZADAS DEL MUNICIPIO DE  
SAN BERNARDO, DGO.

**TESIS**

Que para obtener el Título de:  
GEÓLOGO

Presentan:  
ROBERTO MARTÍNEZ CASTRO  
PASCUAL B. MARTÍNEZ RODRÍGUEZ

HERMOSILLO SONORA,

DICIEMBRE DE 2004

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



“El saber de mis hijos  
hará mi grandeza”



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess



EL SABER DE MIS HIJOS  
HARA MI GRANDEZA

UNIVERSIDAD DE SONORA  
DIVISIÓN DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

TEL. (662) 259 21 10  
FAX 259 21 11

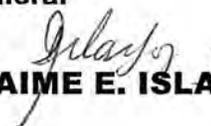
**NOMBRE DE LA TESIS:**

**“ESTUDIO GEOLÓGICO - MINERO DE LAS ZONAS  
MINERALIZADAS DEL MUNICIPIO DE  
SAN BERNARDO, DGO. ”**

**NOMBRE DE LOS SUSTENTANTES:**

**ROBERTO MARTINEZ CASTRO  
PASCUAL B. MARTINEZ RODRIGUEZ**

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuada, como requerimiento parcial para obtener el Título de Geólogo en la Universidad de Sonora.

  
**ING. JAIME E. ISLAS LOPEZ**

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuada, como requerimiento parcial para obtener el Título de Geólogo en la Universidad de Sonora.

  
**M.C. SAUL HERRERA URBINA**

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuada, como requerimiento parcial para obtener el Título de Geólogo en la Universidad de Sonora.

  
**M.C. RICARDO AMAYA AMRTINEZ**

**ATENTAMENTE  
"EL SABER DE MIS HIJOS HARA MI GRANDEZA"**

  
**M.C. FRANCISCO J. GRIJALVA NORIEGA**  
Jefe de Departamento.



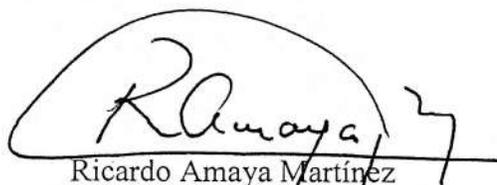
EL SABER DE MIS HIJOS  
HARA MI GRANDEZA  
DEPARTAMENTO  
DE GEOLOGIA

Hermosillo, Sonora, 26 de Octubre de 2004.

M.C. Francisco Javier Grijalva N.  
Jefe del Departamento de Geología  
Universidad de Sonora  
Presente.

Por este conducto me permito someter a su consideración, para su aprobación, el tema de tesis profesional titulada “ *Estudio geológico – minero de las zonas mineralizadas del Municipio de San Bernardo, Dgo.*”, misma que será desarrollada por los pasantes Roberto Martínez Castro y Pascual B. Martínez Rodríguez, con el objetivo de obtener su título profesional de la carrera de Geólogo.

Sin otro particular, me es grato manifestarle mis mejores consideraciones.

  
Ricardo Amaya Martínez  
Director de tesis

C.c.p. Interesados  
C.c.p. Archivo



## **DEDICATORIA**

A MIS PADRES: Roberto Martínez Vargas y Manuelita Castro Noriega por su grande amor y apoyo durante mi vida.

A MIS HERMANOS: Israel, Daniel, Rocio e Iran por su amor y compañerismo.

A MI ESPOSA: Karina Flores Mendoza por su invaluable amor, apoyo y comprensión.

A MIS SUEGROS: Jaime y Lupita por su paciencia a lo largo de mis estudios en la universidad

## **AGRADECIMIENTOS**

A LA EMPRESA SERVICIOS GEOLÓGICOS Y CARTOGRÁFICOS DEL NOROESTE: Por el apoyo en la realización de esta tesis.

A LA UNIVERSIDAD DE SONORA

A MIS MAESTROS DE LA UNIVERSIDAD: Muy especialmente al M.C Ricardo Amaya Martínez, al Dr. Efrén Perez Segura y M.C Alejandra Montijo.

A MIS COMPAÑEROS DE TRABAJO: Braulio Rivera, Julio Cesar Esquer y Pascual Martínez.

A MIS SINODALES: M.C Saul Herrera, Ing. Jaime Islas y M.C Ricardo Amaya Martínez.

A MIS COMPAÑEROS DE ESTUDIO: Muy en especial a mi compañero de tesis Pascual.

A LOS TRABAJADORES DEL DEPARTAMENTO: En especial a Francisco Burruel (Don Panchito).

**A TODOS MI MAS SINCERO AGRADECIMIENTO  
ATENTAMENTE  
ROBERTO MARTÍNEZ CASTRO (El Pescado)**

---

## **DEDICATORIA**

**A MIS PADRES**, Juana Rodríguez Vda. de Martínez y Carmelo Martínez Ramos por el amor, los valores y la fortaleza que me brindaron para hacerme crecer hasta llegar al lugar donde ahora me encuentro.

**A MIS HERMANOS**, Jesús Humberto, Juan Miguel y María del Carmen por su cariño, confianza y apoyo incondicional.

**A MI FAMILIA**, Martínez y Rodríguez por fortalecerme dentro del ambiente familiar.

## **AGRADECIMIENTOS**

**A LA EMPRESA SERVICIOS GEOLÓGICOS Y CARTOGRÁFICOS DEL NOROESTE**, por su apoyo en la elaboración del presente trabajo.

**A LA UNIVERSIDAD DE SONORA**, por cobijarme dentro de su plantel.

**A MIS MAESTROS**, por el esfuerzo realizado para mi formación como Geólogo, en especial a Ricardo Amaya Martínez, Efrén Pérez Segura, Mariano Morales Montaña, Alejandra Montijo, Ismael Mijares y Ricardo Vega Granillo.

**A MIS AMIGOS**, Karina Flores, Yadira H. Samaniego, Lourdes Marques, Katya Blanco, Fernanda Solís, Aime Orci, Héctor Quiroz, Roberto Martínez, Daniel Amaya, Arturo Fierro Saul Peña, Martín Pacheco, Iván Yáñez, José Robles, Miguel Dorame, Braulio Rivera, y Julio E. Mundo; por brindarme su invaluable amistad y enriquecer con historias muchas etapas de mi vida.

**A MIS SINODALES**, Ing. Jaime Islas, M. C. Saul Herrera y M. C. Ricardo Amaya Martínez.

**A TRABAJADORES DEL DEPARTAMENTO**, en especial a Francisco Burruel.

**RECIBAN USTEDES MIS MAS SINCEROS AGRADECIMIENTOS  
PASCUAL BENJAMÍN MARTÍNEZ RODRÍGUEZ.**

## CONTENIDO

### Resumen

<b>I.- INTRODUCCION</b> .....	<b>3</b>
I.1.- OBJETIVO DE ESTUDIO.....	3
I.2.- TRABAJOS PREVIOS .....	3
I.3.- MÉTODO DE TRABAJO.....	6
<b>II.- GEOGRAFÍA</b> .....	<b>6</b>
II.1.- LOCALIZACIÓN Y EXTENSIÓN DEL ÁREA.....	6
II.2.- ACCESO Y VÍAS DE COMUNICACIÓN .....	7
II.3.- FISIOGRAFÍA .....	8
<b>III.- GEOLOGÍA</b> .....	<b>10</b>
III.1.- MARCO GEOLÓGICO .....	10
III.2.- ESTRATIGRAFÍA .....	11
III.2.1.-Paleozoico .....	13
III.2.1.1.- Formación Gran Tesoro (Pc E).....	13
III.2.2.- Mesozoico.....	15
III.2.2.1.- Unidad Rancho Viejo (Trs MVs).....	15
III.2.2.2.- Unidad Potrerillos (Jo MAr-MLu).....	18
III.2.2.3.- Caliza Cerro Prieto (Ki Cz).....	20
III.2.3.- Terciario.....	22
III.2.3.1.-Complejo Volcánico inferior (Ti A-Da).....	22
III.2.3.2.- Conglomerado Ahuichila (Tm Cgp- Ar).....	23
III.2.3.3.- Unidad La Paz (Tm TA-Cz).....	24
III.2.3.4.- Serie Volcánica Superior (T TR-Ig).....	27
III.2.3.5.- Unidad Cabeza de Oso (To R).....	31
III.2.3.6.- Depósitos clásticos (Ts Cgp-Ar).....	33
III.2.4.- Cuaternario .....	35
III.2.4.1.- Aluvión (Qho al) .....	35
ROCAS IGNEAS INTRUSIVAS .....	36
III.2.5.- Jurásico Superior .....	36
III.2.5.1.- Granito El Cuarenta (Js MGr-MD).....	36
III.2.6.-Terciario .....	39
III.2.6.1.- Granito-Diorita (T Gr-D) .....	39
III.2.6.2.- Pórfido Riolítico (T PR) .....	41
III.2.6.3.- Diques .....	42
III.3.- GEOLOGÍA ESTRUCTURAL .....	43
III.3.1.- Interpretación del Modelo Digital del Terreno .....	43
III.3.3.- Descripción de estructuras.....	46
III.4.- TECTÓNICA.....	48
III.4.1.- Modelo de evolución geodinamica.....	49
<b>IV.- YACIMIENTOS MINERALES</b> .....	<b>52</b>
IV.1.- INTRODUCCIÓN.....	52
IV.2.- DISTRITOS Y ZONAS MINERAS.....	53
IV.2.1.- Zona mineralizada Sauces de Cardona.....	53
IV.2.2.- Zona mineralizada El Cuarenta.....	59
IV.2.3.- Zona mineralizada Murciélagos.....	69
IV.2.4.- Zona mineralizada La Verdosa.....	75
IV.2.5.- Zona mineralizada La Paz.....	78

V.-	MODELO DE YACIMIENTOS .....	82
VI.-	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	85
	BIBLIOGRAFÍA .....	86

## RESUMEN

El área de estudio se localiza en la parte noroeste del Estado de Durango, entre las coordenadas 26° 00' a 26° 15' de Latitud Norte y 105° 20' a 105° 40' de Longitud Oeste comprende parte de los municipios de San Bernardo, Santa María del Oro, Indé y Villa Ocampo, se ubica aproximadamente a 250 km en línea recta al noroeste de la ciudad de Durango.

Las rocas más antiguas que afloran en el área corresponden con un paquete de esquistos (Pc E) con abundante mica. Esta unidad fue definida como Formación Gran Tesoro (Russell, 1924, Araujo et. al 1981).

Posteriormente se encuentra una secuencia metavolcanosedimentaria (unidad Rancho Viejo) compuesta por metaarenisca de grano fino a medio de color rojizo con niveles calcáreos, así como metaandesita y conglomerado. Esta unidad se considera del Triásico Superior y es correlacionable con la formación Nazas. En contacto discordante se encuentra una secuencia de metaarenisca y metalutita del Jurásico Superior (unidad Potrerillos) que presenta fauna fósil de amonites y braquiópodos, esta fauna fue identificada por Jim Haggart (2004) como la especie *Perisphinctes cf. lagunitasensis* Burckhardt de edad Oxfordiano tardío.

Sobreyaciendo a las unidades anteriores, se tiene a la unidad Cerro Prieto que consta de un paquete de caliza de color gris con niveles fosilíferos del Cretácico Inferior. En la localidad de Potrerillos se observa un plano de corrimiento (cabalgadura?) de esta unidad sobre la unidad de metaarenisca y metalutita (Jo MAR-MLu).

Descansando en discordancia sobre las unidades antes descritas se depositaron rocas volcánicas de composición andesítica –dacítica del Eoceno-Oligoceno (Ti A-Da), que se les considera como parte del Complejo Volcánico Inferior de la Sierra Madre Occidental (McDowell y Clabaugh, 1979) y sobreyaciendo discordantemente se tiene el Conglomerado con matriz de tonalidad rojiza que se conoce regionalmente como Conglomerado Ahuichila del Terciario medio (Rogers, 1961).

En discordancia sobre el Conglomerado Ahuichila se depositó una secuencia de toba riolítica con niveles de arenisca de color gris verdoso (Unidad La Paz), presentando en algunas localidades niveles de caliza lacustre de color gris. Se le considera contemporánea al inicio de la actividad ignimbrítica del Oligoceno.

En el Oligoceno-Mioceno se presentan rocas de composición riolítica e ignimbrítica, principalmente toba arenosa, vitreas, cristalovitreas y cristalolíticas (T TR-Ig), en algunas partes se acompañan por brecha volcánica, se les considera parte del Serie Volcánica Superior de la Sierra Madre Occidental (McDowell y Clabaugh, 1979).

Posterior a este volcanismo riolítico se depositó durante el Mioceno-Plioceno de un nivel de conglomerado polimíctico mal clasificado y areniscas semiconsolidadas (Depósitos clásticos) con un grado de consolidación variable, en forma de relleno de semifosas tectónicas a lo largo de la cuenca del río Sextín.

Después en el Holoceno ocurre la depositación de grava, arena y limo sobre los lechos de los ríos y arroyos más importantes.

Las rocas ígneas intrusivas que afloran en el área, corresponden a un metagranito y metadiorita del Jurásico Superior (Granito El Cuarenta). Consiste de un intrusivo de composición granítica principalmente el cual se encuentra muy deformado, en ocasiones presenta zonas de esquistosidad.

En el Terciario se emplazó una serie de cuerpos subvolcánicos de composición riolítica (Unidad Cabeza de Oso) que afloran en el cerro del mismo nombre y en el cerro El Depósito.

En las cercanías de la zona mineralizada El Cuarenta aflora la Unidad de Pórfido Riolítico (T PR), donde se observa una serie de vetas emplazadas sobre fracturas en el contacto con la Unidad Granito El Cuarenta y al este de Sauces de Cardona afloran intrusivos graníticos y dioríticos (T Gr-D) que se observan cortando al Conglomerado Ahuichila y se emplazan en zonas de debilidad producto de fallamiento regional NW-SE.

Los afloramientos de rocas más antiguas que el Jurásico están limitados por fallas regionales NW –SE formando frente de deformación y cabalgaduras; estas conforman al mismo tiempo los márgenes de la semifosa tectónica del río Sextin. En las unidades más antiguas que el Triásico encontramos foliación orientada en dirección general al NW con vergencia al NE. Debido al fallamiento se produjo un intenso fracturamiento en las diferentes unidades dentro de la carta, este fracturamiento presenta tres direcciones preferenciales todas con tendencia NW variando en un solo caso su vergencia de NE hacia el SW.

La tectónica se presenta en cierto grado compleja; las rocas del basamento que pertenecen al Terreno Tahue (Ortega y Sedlock, 1997), fueron afectadas por los procesos orogénicos Antlerianos (Cordova y Silva, 1990), dando lugar a la unidad de esquistos con desarrollo de pliegues orientados generalmente E-W; un segundo proceso de deformación está asociado a la orogenia Larámide, la cual provoca un nuevo plegamiento cuyos ejes se encuentran orientados NW-SE con vergencia hacia el NE, desarrollando estructuras cabalgantes en una franja NW en todo lo largo de la carta. La etapa de volcanismo asociada a la subducción, crea el emplazamiento de estructuras dómicas donde se emplazan rocas hipabisales de composición riolítica que generan alteración y mineralización en las rocas preexistentes y finalmente la etapa de relajación y extensión, creando las fosas tectónicas orientadas NW-SE conocida como Sierras y Valles Paralelos.

Tomando en cuenta las condiciones estructurales y de mineralización, se agruparon los prospectos y zonas de alteración existentes en el área de estudio en cinco zonas mineralizadas: Sauces de Cardona, El Cuarenta, Murciélagos, La Verdosa y La Paz. Estas zonas mineralizadas se generaron por la acción de procesos hidrotermales provocando alteraciones de silicificación, sericitización y oxidación en la mayoría de las unidades presentes en la carta Cinco de Julio (G13 A88).

## I.- INTRODUCCIÓN

### I.1.- OBJETIVO DEL ESTUDIO

El principal objetivo de este trabajo, es el generar información mediante el estudio a semidetalle de las características geológicas existentes dentro del área comprendida en la carta Cinco de Julio (G13-A88), con la finalidad de contribuir al conocimiento sobre la geología presente en esta región del Estado de Durango; dejando plasmado en este trabajo tanto en forma de plano como de documento los resultados obtenidos de esta investigación, esperando que en un futuro sea de utilidad para quienes se interesen en la información de esta región.

### I.2.- TRABAJOS PREVIOS

En la carta Cinco de Julio (G13-A88) se han realizado varios estudios relacionados con diversos aspectos de la geología. Estos trabajos varían desde una cartografía regional para prospección minera, hasta investigaciones muy especializadas y de detalle; cuyos objetivos han sido enfocados a la determinación de las características estratigráficas, estructurales o económicas presentes en las diferentes unidades litológicas que afloran en esta área.

**Consejo de Recursos Minerales, 2000;** cartografía de la carta Hidalgo del Parral, escala 1:250,000. En el área de estudio se encuentran rocas con edades desde el Precámbrico al Reciente. En el Precámbrico se caracteriza por una serie de esquistos de muscovita, el cual fue fechado en 360 Ma.; en contacto tectónico con la Formación Gran Tesoro aflora la Formación Nazas del Triásico-Jurásico la cual está constituida de andesita y metalutita y se tienen rocas sedimentarias del Cretácico Inferior, cubriendo a estas rocas se tienen derrames andesíticos, brechas andesíticas y basaltos de edad Eoceno. De esta misma edad se presenta un importante plutonismo de composición granodiorítica y un pórfido monzonítico (Pórfido Parral) el cual fue fechado en 44 Ma. Hacia finales del Eoceno principios del Oligoceno ocurre una fase de erosión que originó al conglomerado polimíctico Ahuichila, apareciendo en una gran porción del área.

Posteriormente ocurre un volcanismo piroclástico ácido durante el Oligoceno y está compuesto de toba riolítica e ignimbrita que forman parte de lo que se conoce como Grupo Volcánico Superior. Rellenando fosas tectónicas durante el Mioceno se depositó un conglomerado

polimíctico, el cual a su vez se encuentra sobreyacido en forma concordante por basalto del Mioceno superior. El Cuaternario está representado por sedimentos en los cauces de los principales arroyos de la carta.

Se tienen rocas intrusivas del Jurásico Superior, que corresponde a un granito-granodiorita que aflora en los alrededores de El Cuarenta.

**INEGI, 1992.**- cartografía de la carta Hidalgo del Parral Esc. 1:250,000. El área de estudio se encuentra dentro de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Occidental y en la subprovincia de Llanuras Altas.

La geología corresponde con esquisto del Paleozoico, arenisca del Triásico- Jurásico y caliza del Cretácico Inferior; existen además intrusivos del Jurásico y Terciario con variación de granito a diorita, las rocas anteriores tienen cobertura generalizada de tobas, riolitas, andesitas, y conglomerados del Terciario

Se reporta mineralización asociada con los intrusivos, afectando principalmente a las rocas sedimentarias del Paleozoico al Cretácico en forma de vetas de cuarzo con oro, plata, plomo y zinc.

**INEGI, 1972;** geología de la carta Cinco de Julio, escala 1:50,000. El área de estudio se encuentra dentro de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Occidental y en la subprovincia de Llanuras Altas.

En esta carta geológica se reportan rocas sedimentarias y metamórficas del Cretácico al Terciario inferior como pizarras, calizas, areniscas y conglomerados, bajo una cobertura de rocas volcánicas, principalmente riolitas-tobas riolíticas y conglomerados del Terciario. También fueron cartografiados intrusivos del Cretácico superior y Terciario medio.

**Consejo de Recursos Minerales en 1988;** estudio geológico-minero en la asignación Murciélagos, en donde afloran caliza, pizarra y cuarcita intrusionadas por un stock granítico-diorítico del Jurásico, diques dacíticos y cuarzolíticos, estas unidades están cubiertas por un conglomerado del Paleoceno-Eoceno, a su vez cubierto por andesitas del Eoceno e ignimbritas- tobas riolíticas del Oligoceno-Mioceno.

Las vetas de cuarzo-barita-calcita tienen un rumbo de NW65°-70°SE con echados que varían desde 32°-88°NE y vetas NE10°-53°SW con galena argentífera, esfalerita y pirita en cuarzo. Entre los prospectos estudiados están La Sirena, La Parrita, Tres Amigos, Veta 1 y Veta 2.

**Consejo de Recursos Minerales en 1986;** visita de reconocimiento al fundo minero Tres Hermanos dentro del programa de apoyo a la pequeña minería, se visitó la concesión minera a nombre de Isidro Aguirre Monarrez.

Con la visita al lugar se identificó un intrusivo cuarzodiorítico con variaciones a granito del Jurásico Superior, las cuales están cubiertas discordantemente por conglomerados del Paleoceno-Eoceno y son sobreyacidos por tobas riolíticas e ignimbritas del Oligoceno-Mioceno. La mineralización se asocia a vetillas de cuarzo de 5 a 15 cm de ancho, son vetas auríferas, se observa pirita diseminada. El Intrusivo presenta una fuerte silicificación.

**Consejo de Recursos Minerales en 1993;** en este trabajo del distrito minero Magistral del Oro se describe como uno de los distritos mineros más antiguos de México, conocido desde 1620 y explotado hasta 1810.

Las rocas más antiguas son esquistos de muscovita y anfíbol del Paleozoico (Damon, 1981); otras rocas del Paleozoico son pizarras y calizas del Carbonífero tardío, también rocas del Triásico, Jurásico y conglomerados terciarios. Existen intrusiones granodioríticas-dioríticas, también diques NW-SE con echados al NE y SW de composición dacítica, andesítica y cuarzolítica. Los diques andesíticos se fecharon por K-Ar dando una edad de 80 Ma (Cretácico Tardío). Estas rocas están formando un horst NW-SE siendo la parte W la más mineralizada. Afloran también secuencias de toba riolítica, riolita e ignimbrita de edad Oligoceno que cubren todas las unidades.

La mineralización es oro libre con ganga de cuarzo, pirita, calcedonia, óxidos de hierro, manganeso y calcita. La roca encajonante es una granodiorita y diques de composición andesítica. Las vetas tienen espesores de 0.70 a 3.30 m con bolsadas de hasta 16 m; los valores de oro son de 2.3 hasta 11.6 gr/ton, estas vetas profundizan hasta 300 metros con más de 1 Km. de longitud. Actualmente se tienen 2.5 millones de toneladas de jales con 2 gr/ton de oro.

### **I.3.- MÉTODO DE TRABAJO**

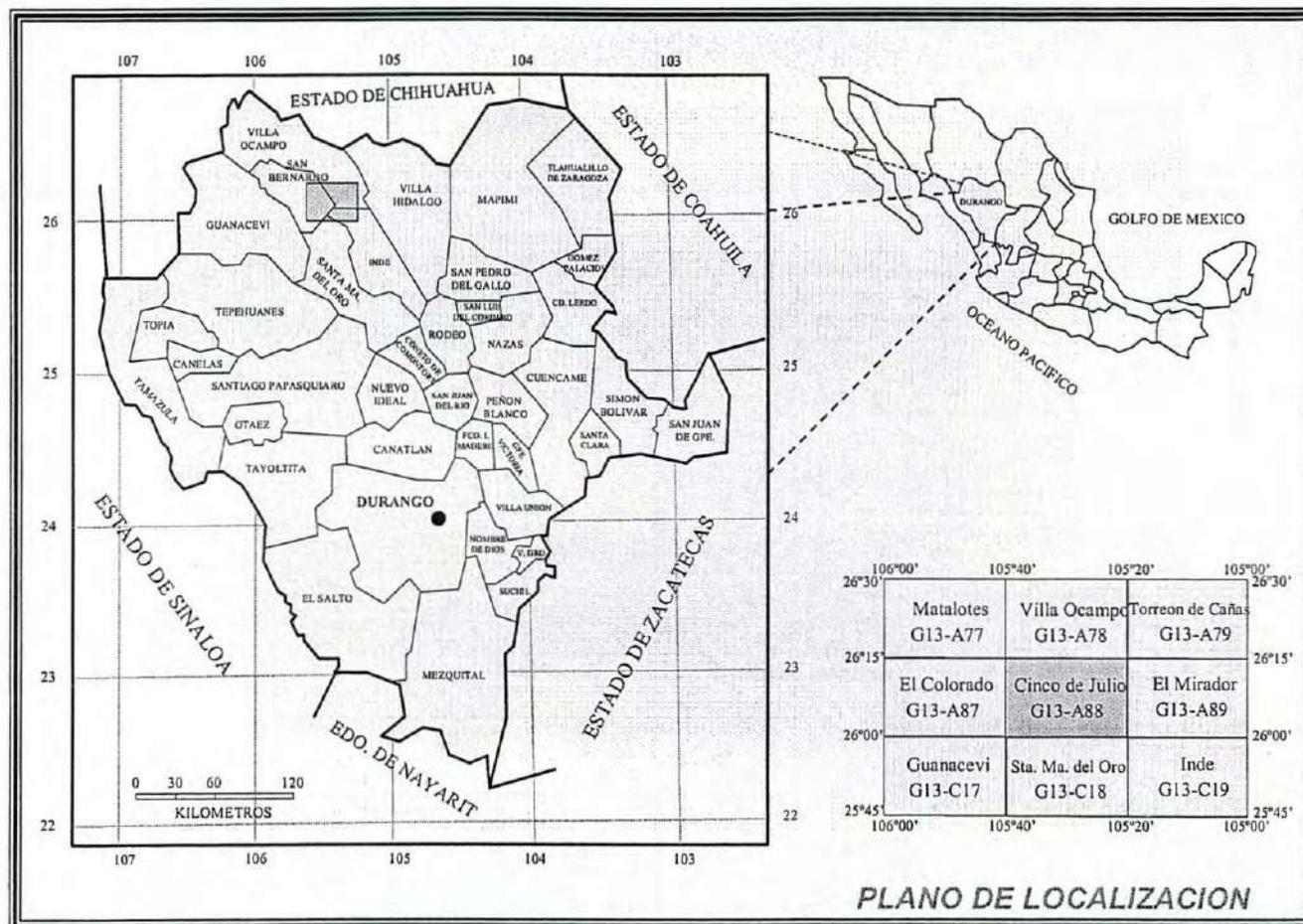
La metodología establecida para la realización de este trabajo, consistió en varias fases que a continuación mencionaremos:

Recopilación y análisis de la información de trabajos realizados dentro del área y localidades relacionadas, las cuales fueron generadas por diferentes instituciones y empresas particulares; posteriormente se realizó una interpretación de imágenes de satélite Landsat TM combinación 7-4-1, fotografías aéreas blanco y negro, escala 1: 75,000; interpretación del modelo digital de elevación y carta magnética de campo total; para después realizar un levantamiento de datos (geológicos y estructurales) en campo, visita a prospectos mineros, zonas anómalas y afloramientos de interés dentro del área; así como el caminamiento de diferentes secciones para separar y medir las diferentes unidades. Posteriormente y una vez conjuntado todos los datos obtenidos en las fases anteriores, se procedió a efectuar una nueva interpretación de la información geológica y estructural de campo, complementada con la de imágenes de satélite y del plano hipsométrico. Para finalizar con la elaboración de un texto con figuras, fotos representativas y un plano geológico del área.

## **II.- GEOGRAFÍA**

### **II.1.- LOCALIZACIÓN Y EXTENSIÓN DEL ÁREA**

El área se localiza en la parte noroeste del Estado de Durango; específicamente en la intersección del Municipio de San Bernardo, Santa María del Oro, Inde y Villa Ocampo. Se ubica aproximadamente a 250 km en línea recta al noroeste de la ciudad de Durango, cercana con los límites con el Estado de Chihuahua; estando delimitada por los paralelos 26° 00' a 26° 15' de Latitud Norte y los meridianos 105° 20' a 105° 40' de Longitud Oeste, en estas coordenadas se encuentra delimitada la carta topográfica Cinco de Julio (G13 A88) elaborada por INEGI a escala 1 :50,000 la cual comprende una superficie de 924 km<sup>2</sup> (Figura 1).



**FIGURA 1**

**II.2.- ACCESO Y VIAS DE COMUNICACIÓN**

El acceso principal al área de estudio se efectúa por la carretera federal No. 45, por la que se recorren 300 km hasta la comunidad Ejido Revolución, posteriormente se toma hacia el poniente la carretera estatal que comunica las poblaciones de Santa María del Oro y San Bernardo con un recorrido de 70 km, de esta última población se encuentran caminos de terracería en buenas condiciones que comunican a rancherías que se encuentran dentro del área de estudio, como son Sardinias, Sauces de Cardona, La Parrita, Sauces y la zona minera El Cuarenta (Figura 2).

Otra forma de acceso al área se puede realizar por la carretera federal No. 45 hasta la población de Jose Gpe. Aguilera, de aquí se continua por la carretera federal No. 39, pasando por Ciudad Canatlán, Santiago Papasquiari, Tepehuanes y antes de llegar a Guanacevi se

desvía una carretera pavimentada rumbo al noreste a la población de Santa María del Oro y posteriormente llegar a la población de San Bernardo.



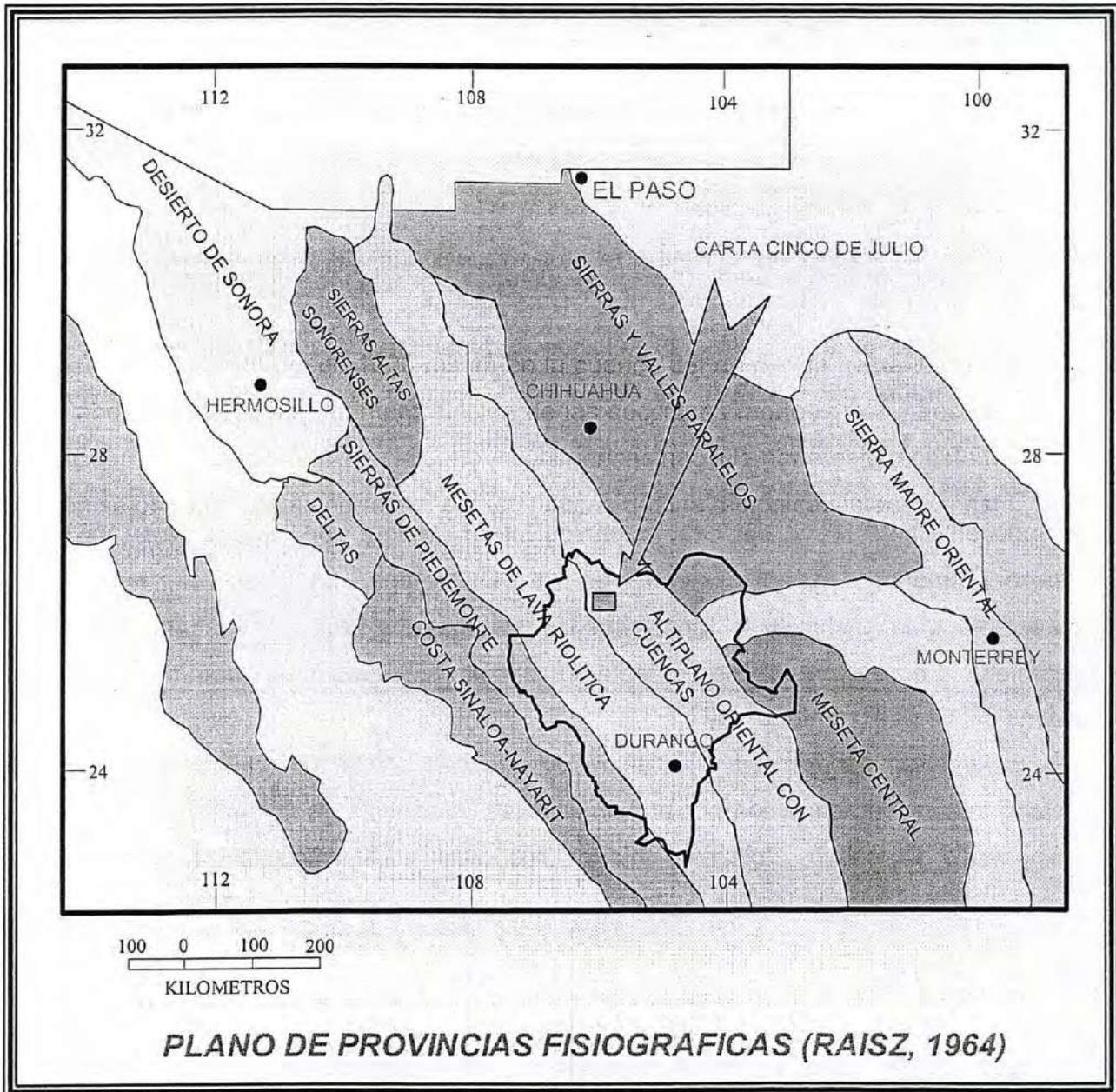
**FIGURA 2**

### II.3.- FISIOGRAFÍA

La superficie que abarca esta carta queda ubicada en la provincia fisiográfica Sierra Madre Occidental, específicamente en la subprovincia Altiplano Oriental con Cuencas como se muestra en la fig. 3 de Raisz (1964).

Los rasgos morfológicos más sobresalientes en el área corresponden a la cuenca del río Sextin, el cual fluye en dirección N-S y el arroyo El Encino en la esquina noreste de la carta; también sobresalen las formaciones rocosas mesa La Cieneguita, cerro El Cuarenta, cerro La Mojonera, cerro El Carnero, Cerro Prieto, cerro Cabeza de Oso y mesa Los Pilares con

elevaciones que varían desde 1600 msnm en la cuenca del río Sextin hasta los 2400 msnm en cerro Cabeza de Oso. Con la interpretación de las secciones morfoestructurales se muestra la existencia de pilares al centro de la carta y subcuencas hacia la parte este y oeste de la carta. También se observan fallas normales características de una tectónica distensiva, estas fallas se presentan como escalonadas tanto al oeste como al este.



**FIGURA 3**

### **III.- GEOLOGIA**

#### **III.1.- MARCO GEOLÓGICO REGIONAL**

Se encuentra regionalmente comprendida dentro de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Occidental y localmente dentro de la subprovincia Altiplano Oriental con Cuencas (Raisz, 1964). Dentro del área de estudio se presentan rocas ígneas volcánicas, metamórficas, sedimentarias e ígneas intrusivas que varían en edad del Paleozoico hasta el Cuaternario.

El contexto tectónico del área, se caracteriza por presentar rocas metamórficas y metasedimentarias plegadas que corresponden con el basamento de la región, la cual es una característica común en la Sierra Madre Occidental (López, 1980).

En el Paleozoico, específicamente en el Carbonífero se tienen rocas metamórficas y se les conoce como Formación Gran Tesoro, estas rocas corresponden con esquistos de muscovita y cuarzo de color blanco-amarillento. Durante el Triásico Superior se encuentra discordantemente una secuencia metavolcanosedimentaria caracterizada por tener a la base un conglomerado con clastos de esquistos y cuarzo metamórfico, cubriendo a este conglomerado se observa una alternancia compuesta principalmente por intercalaciones de arenisca, lutita y metaandesita, correlacionable con la Formación Nazas que se encuentra aflorando en Santa María del Oro y definida informalmente por Pantoja Alor (1963). En el Jurásico Superior, específicamente en el Oxfordiano se presenta una secuencia metasedimentaria compuesta principalmente por metaarenisca y metalutita con un fuerte plegamiento y posteriormente se presenta en contacto tectónico un paquete de calizas oolíticas masivas del Cretácico Inferior.

Sobreyaciendo en discordancia a las unidades anteriores se encuentra una secuencia de edad Terciario inferior caracterizada por presentar rocas volcánicas de composición intermedia que pertenecen al Complejo Volcánico Inferior (McDowell y Clabaugh 1981), estas rocas están intrusionadas por troncos ígneos, así como por diques de composición variable.

El Terciario medio está representado por una secuencia continental conocida como Formación Ahuichila (Roger 1961), se encuentra compuesto por conglomerado y brecha de color rojizo. A la base de la serie volcánica superior se tiene una secuencia epiclástica compuesta principalmente por toba arenosa y niveles delgados de arenisca calcarea – caliza arenosa de ambiente lacustre, seguido por potentes paquetes de rocas volcánicas ácidas, pertenecientes a

la dominante secuencia de rocas riolíticas - ignimbríticas del Terciario superior que conforman la Serie Volcánica Superior de la Sierra Madre Occidental. Depositados en las partes bajas se presenta un conglomerado polimíctico relleno de cuencas originadas a partir de la tectónica distensiva que inició a finales del Terciario.

Existen rocas ígneas intrusivas de composición granito – diorita que tienen una edad de Jurasico Superior y se les encuentra deformadas y metamorfizadas debido a la acción de eventos posteriores a su emplazamiento. En el Terciario existe también rocas ígneas intrusivas que varían en composición de granito a diorita y cuerpos subvolcánicos de composición riolítica.

### **III.2.- ESTRATIGRAFIA**

En la carta Cinco de Julio (G13 A88) se han cartografiado afloramientos de rocas que varían en rango de edad desde el Carbonífero hasta el reciente, a continuación se describen estas unidades en orden cronológico de la más antigua a la más joven, como se muestra en las Figuras 4 y 5.

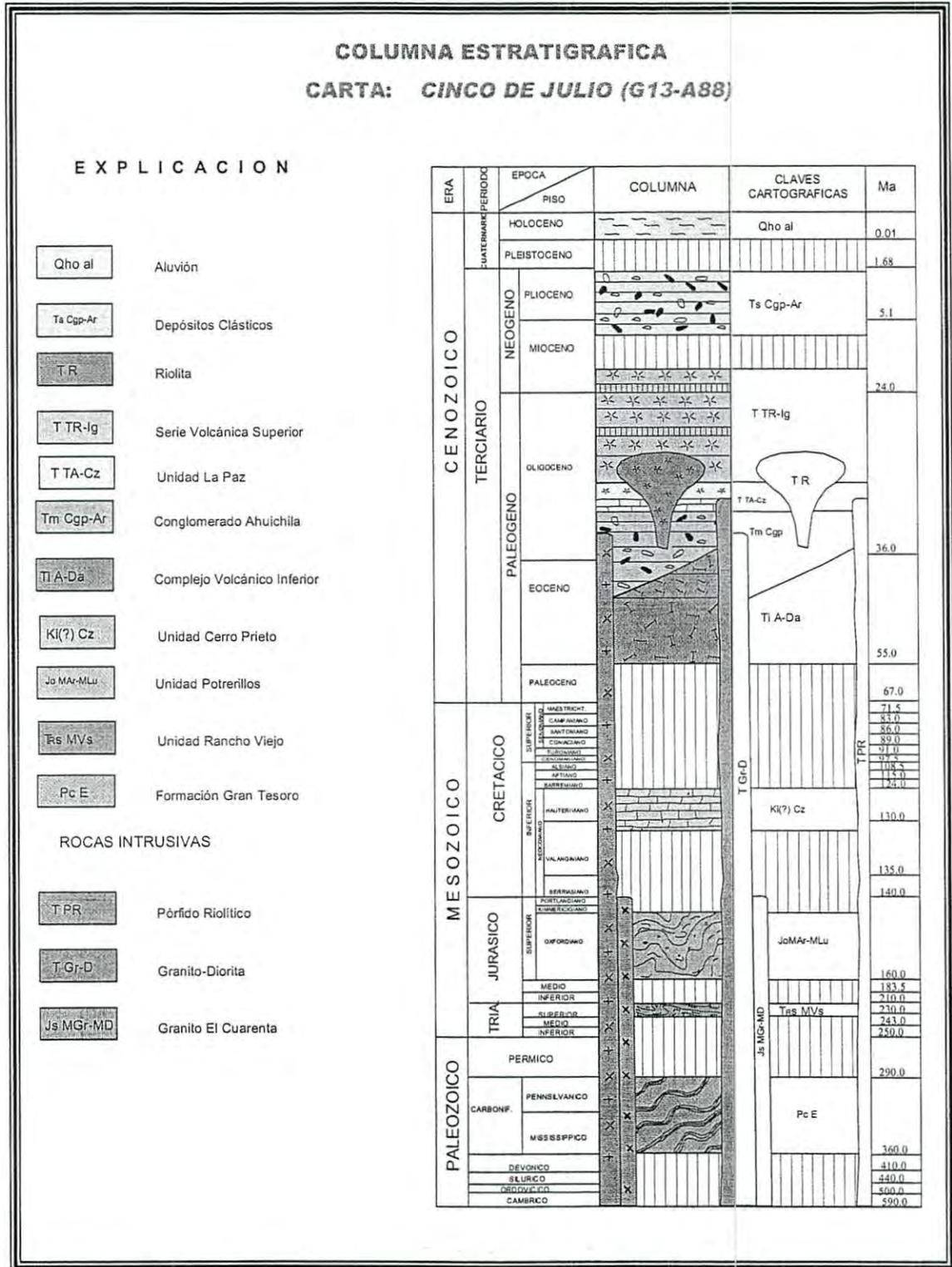


FIGURA 4

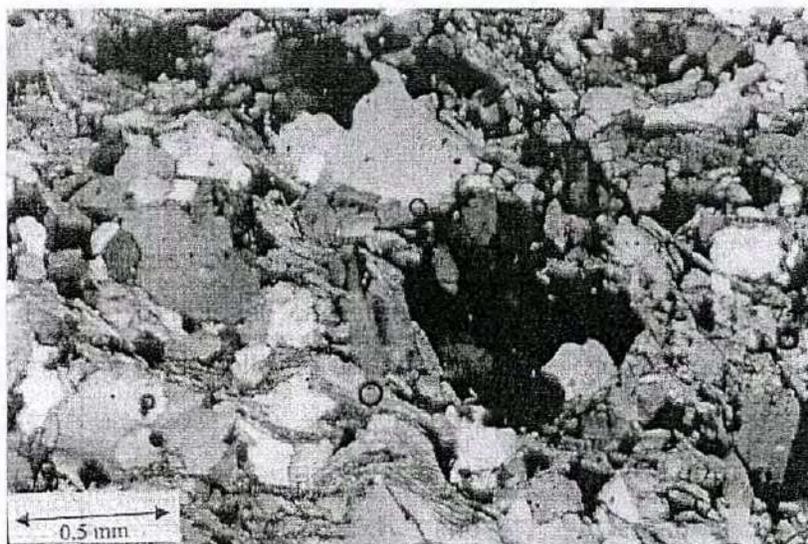


### III. 2.1 Paleozoico

#### III.2.1.1. Formación Gran Tesoro (Pc E)

Esta unidad litológica es la más antigua que aflora en la carta, fue definida por Rusell (1924) como Formación Gran Tesoro en la localidad arroyo Pescaditos ubicada entre las poblaciones de Santa María del Oro e Inde. En la carta Cinco de Julio (G13-A88) se distribuye en la esquina sureste, entre los ranchos El Venado, Rancho Viejo y Cardona, otra localidad está a 1 km al sur de mesa La Verdosa en la parte central de la carta y en la localidad arroyo El Fruto; en el límite sur del área hay afloramientos de pequeñas dimensiones no cartografiados a manera de escamas tectónicas con fallamiento inverso.

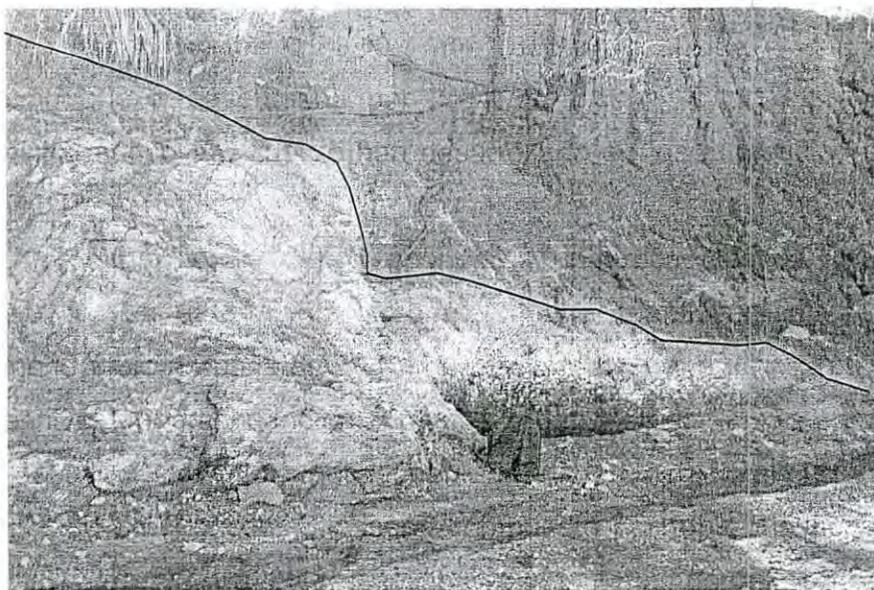
Los afloramientos de esta unidad se caracterizan por ser esquisto de muscovita con fuerte esquistosidad y abundante desarrollo de cuarzo metamórfico, que generalmente se presentan de un color gris claro a un rojo amarillento y de aspecto talcoso con presencia de óxidos de hierro rellenando fracturas. Esta unidad se encuentra muy deformada, observándose un plegamiento muy cerrado en la localidad de Rancho Viejo; en la zona conocida como mesa La Verdosa, esta unidad presenta una mezcla de cuarzo y mica con un menor plegamiento y un fuerte desarrollo de foliación.



**Foto 1.-Mosaico cristalino constituido por microcristales, anhedrales - subangulosos, de cuarzo (con extinción ondulante), plagioclasa y feldespato potásico.**

El estudio petrográfico de esta unidad la definió como un esquistos de muscovita o micaesquisto de textura lepidoblástica-esquistosa, debido a su desarrollada esquistosidad definida por la orientación preferencial de los cristales subredondeados de cuarzo ( tamaño entre 0.2 y 2-3 mm), en su típica extinción ondulante y microcristales de plagioclasa (albita+oligoclasa) y feldespatos potásico (tamaño entre 0.2 y 0.3 mm) que al igual que el cuarzo muestran una definida orientación que es acentuada por la abundancia y disposición de microhojuelas alargadas de sericita-muscovita, que se han desarrollado en los intersticios de la mineralogía original (fotografía 1).

El protolito se interpreta que debió corresponder a una roca clástica, probablemente una arenisca de cuarzo. La deformación presente impide cuantificar su espesor real. En la localidad de Rancho Viejo no pasa de 50 m, pues aflora en forma de klippe tectónico; en mesa La Verdosa el desnivel topográfico indica al menos 140 m y se encuentra en contacto tectónico cabalgando a la secuencia metavolcanosedimentaria de la Unidad Rancho Viejo (TRs MVs) y cubierto por la Unidad La Paz del Oligoceno compuesto por tobas riolíticas con niveles de caliza lacustre (T TA-Cz), así como tobas riolíticas e ignimbritas de la Serie Volcánica Superior (T TR-Ig).



**Fotografía 2.- Detalle del contacto entre esquistos del Paleozoico de color claro y arriba de color oscuro las metavolcanicas del Triásico Superior.**

En la localidad mesa La Verdosa se aprecia afectada por una serie de diques andesíticos de color verde y café rojizo. Esta unidad fue datada por el método K-Ar por Araujo, M. y Arenas, P. (1981) con 326 Ma en la localidad cercana al poblado Santa María del Oro y es correlacionable con los afloramientos reportados en el presente trabajo. Pacheco, G., Castro, M. y Gómez, A. (1984) denominaron a estas localidades como Terreno Guerrero (Tahue). Estas rocas se originaron a partir de secuencias volcanosedimentarias las cuales sufrieron metamorfismo regional, la bibliografía menciona bloques de caliza y arenisca con fauna fósil. Presenta buenas condiciones geológico mineras, se ha observado que es afectada por cuerpos dómicos y plugs riolíticos, así como diques andesíticos que están provocando mineralización y alteración, los contactos con otras unidades litológicas también son zonas de debilidad que son prospectivas.

### **III. 2. 2. MESOZOICO**

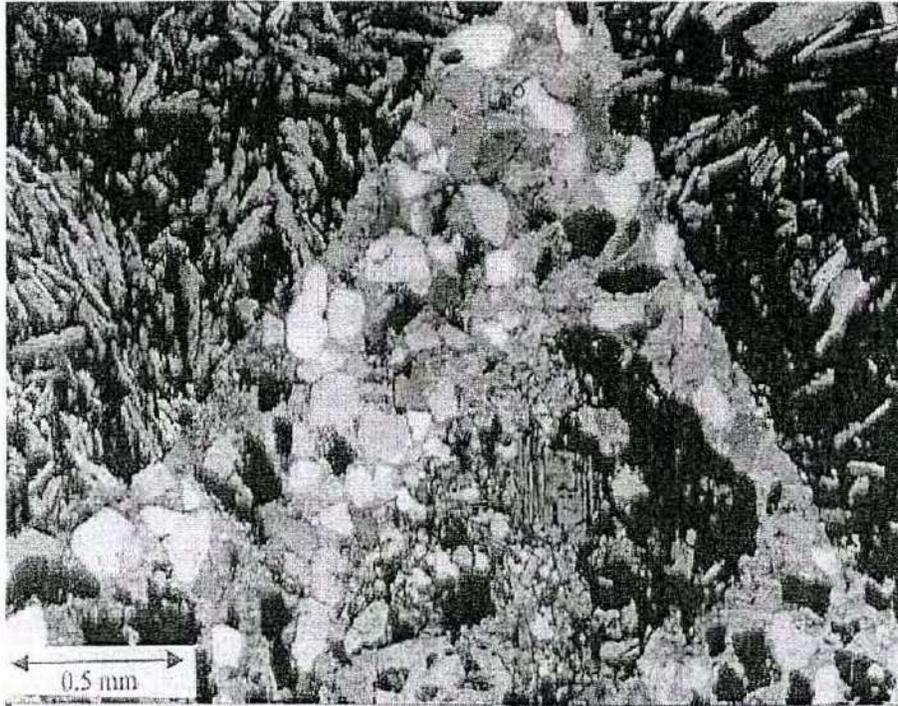
#### **III.2.2.1 Unidad Rancho Viejo (TRs MVs)**

Unidad definida como una secuencia de roca metasedimentaria con intercalaciones de metavolcánica de composición intermedia, correlacionable con la Formación Nazas del Triásico Superior. Se distribuye principalmente en la esquina sureste de la carta con importantes afloramientos en las localidades Rancho Viejo, Potrerillos y finalmente en el límite sur de la carta. Se compone de una secuencia de metaarenisca de grano fino a medio de color rojizo con niveles calcáreos y lutita negra con fauna fósil no identificada, así como metaandesita de color violáceo, niveles de conglomerado rojo y limolita.



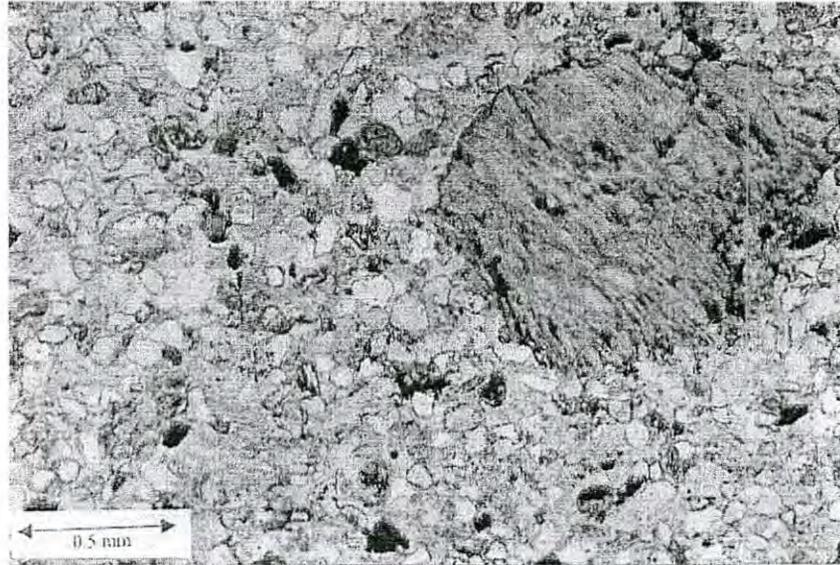
***Fotografía 3.- Detalle de metasedimentos con niveles de arenisca y lutita apizarradas de color oscuro y foliación de NE15°SW con 18°SE.***

Los niveles de caliza en la localidad al noreste de Sauces de Cardona se observan pliegues anticlinales acostados con ejes de rumbo NW-SE. En esta unidad se realizaron estudios petrográficos (Fotografías 4 y 5). Al microscopio la muestra petrográfica presenta fenocristales (20 a 30%) de plagioclasa (oligoclasa-andesina), con tamaño desde 0.5 hasta 1 y 3 mm., parcialmente alterados por minerales arcillosos y óxidos de hierro. El resto de la roca está constituida por una matriz originalmente vítrea con abundantes óxidos de hierro, lo que hace destacar la presencia de microlitos de plagioclasa. Presenta amígdalas rellenas de calcita óxidos de hierro y zeolitas.



***Fotografía 4.- Se observan fragmentos de andesitas que contienen microlitos de plagioclasa y óxidos de fierro. Los fragmentos de arenisca están conformados por microcristales subangulos y subredondeados de cuarzo y feldespatos, dentro de un cementante de calcita y óxidos de fierro.***

Se considera un mínimo de 500 metros aproximadamente de espesor en la localidad de Rancho Viejo donde sus afloramientos son más representativos y se encuentra cubierta discordantemente por el Conglomerado Ahuichila (Tm Cgp-Ar) y toba riolítica-ignimbrita de la Serie Volcánica Superior (T TR-Ig), también se encuentra afectado por domos y apófisis riolíticos (T R). Se le asigna una edad Valanginiano-Hauteriviano por correlación con trabajos del CoReMi en las áreas de Santa Maria del Oro y Guanacevi en donde se encontraron radiolarios que no fue posible caracterizarlos. El ambiente de formación de esta secuencia fueron cuencas someras con aportación de material volcánico de composición andesítica.



**Fotografía 5.- Destaca la presencia de un fragmento de roca, que está englobado dentro de una matriz o cementante arenáceo, que define un mosaico constituido por microcristales subangulares y subredondeados, de cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa y ferromagnesianos.**

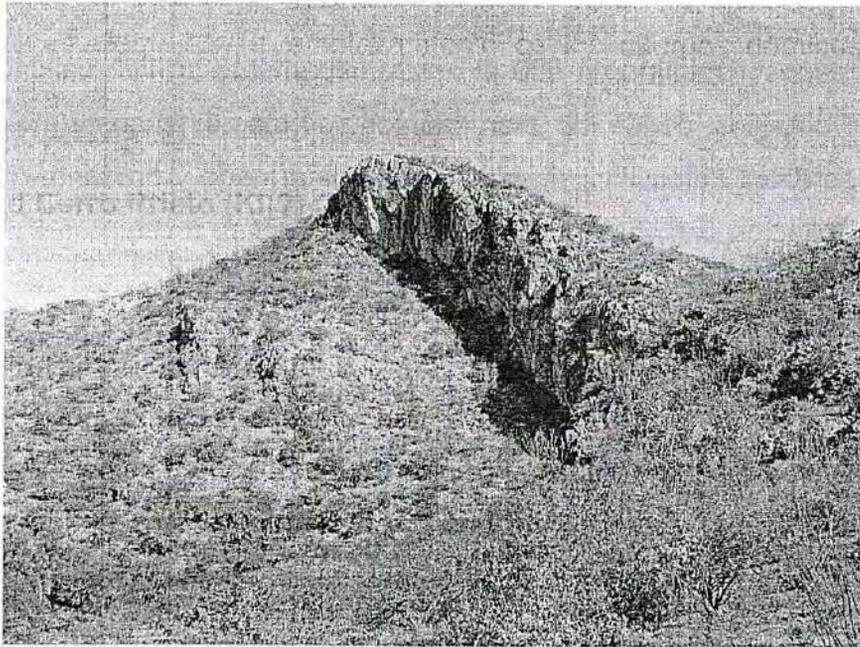
### **III.2.2.2.- Unidad Potrerillos (Jo MAr-MLu)**

Esta unidad se define como una secuencia de rocas metasedimentarias del Oxfordiano, que se encuentra fuertemente deformadas y con intenso plegamiento. En la carta esta unidad se encuentra distribuida en la esquina sureste, específicamente en las inmediaciones de el rancho La India, el arroyo Mayoquita, Potrerillos y a lo largo de el límite norte, se encuentra aflorando en el arroyo El Matorral, en la porción norte-este en los arroyos San Francisco y La Campana; por último en la zona de Murciélagos. Se encuentra constituida principalmente por una alternancia de metaarenisca y metalutita con niveles arenosos y calcáreos con desarrollo de nódulos de caliza que presentan abundante fauna fósil como amonites, braquiópodos y belemnites.

pirita diseminada, asociado con el emplazamiento de los cuerpos dómicos de composición riolítica.

### **III.2.2.3 Unidad Cerro Prieto (Ki(?) Cz)**

Se definen como un paquete de caliza con abundante estructuras fósiles que se correlaciona con paquetes de caliza que se encuentran dentro de la Formación Mezcalera. Aflora principalmente en las localidades Potrerillos, Cerro Prieto y La India en la esquina sureste de la carta. Consiste de un potente paquete de caliza masiva de color gris con abundantes estructuras fósiles y niveles con pedernal de color gris oscuro, presenta espesor variable de 30 a 100 m. se encuentra en contacto tectónico con las unidades Rancho Viejo (TRs MVs) y Potrerillos (Jo MAr-MLu); cubierta discordantemente por conglomerado y toba riolítica del Terciario medio.



**Fotografía 7.- Contacto entre unidad (Ki(?) Cz) en la parte superior y hacia la base la unidad Potrerillos (Jo Mar-MLu) y la presencia de cuerpos subvolcánicos (área rojiza). Localidad rancho Potrerillos.**

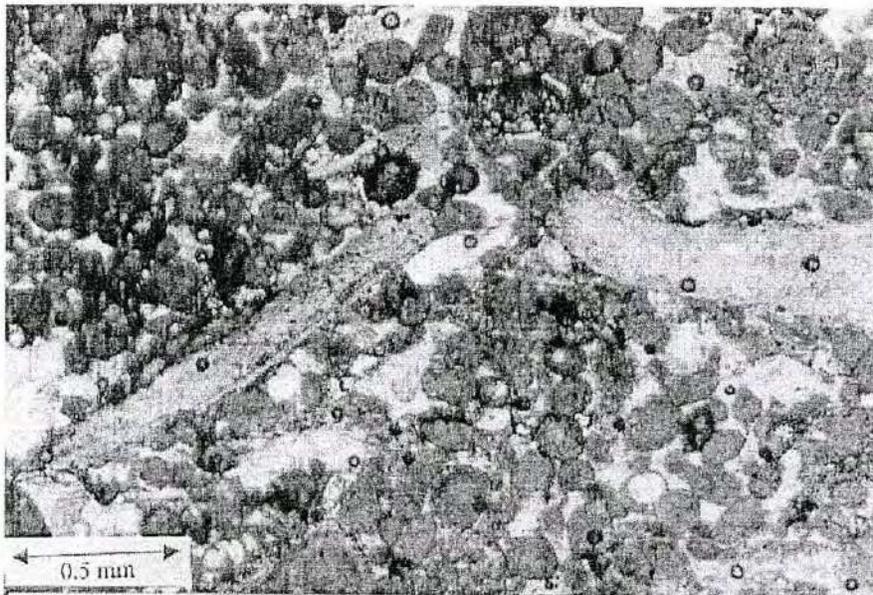


**Fotografía 6.- Detalle donde se observan amonites cerca del rancho Potrerillos de edad Oxfordiano tardío.**

Se considera un espesor mínimo de 500 m aproximadamente en la localidad del rancho La India y el arroyo Potrerillos, donde los afloramientos son más extensos y mejor definidos, pero el espesor real es difícil determinar pues está muy deformado y presenta unos pliegues muy cerrados y fuerte foliación con vergencia al NE. Esta unidad de rocas se encuentra en contacto con rocas metavolcanosedimentarias de la Unidad Racho Viejo (TRs MVs) y en contacto tectónico con caliza (Ki(?) Cz), que se caracteriza por un plano de corrimiento (falla) que se encuentra aflorando en la localidad de el arroyo Potrerillos. Es común que en la mayoría de los contactos con otras unidades se encuentra enmascarado por el efecto de intrusivos riolíticos subvolcánicos.

Se considera de edad Oxfordiano tardío (Jurásico Superior), por la fauna encontrada en la localidad Potrerillo del tipo Amonites **Perisphinctes cf. Lagutanensis Burckhardt**, identificados por Jim Haggart (Com. escrita 2004). Correlacionable con la Formación La Casita descrita por Eguiluz de Antuñano (1989) en las localidades de Villa Hidalgo y sierra Agua Puerca. La litología indica un ambiente de depositación marino somero con lagunas costeras. En la localidad Cerro Prieto se ha visto abundante jaseroide de color rojizo y gris con barita bien cristalizada en áreas más o menos extensas, así como limonitas producto de alteración de

En el área de Potrerillos esta unidad es cortada por cuerpos subvolcánicos de composición riolítica generando una fuerte alteración del tipo oxidación y origina en sus contactos vetas de calcita con un espesor de 10 a 30 cm. En esta unidad se realizaron análisis petrográficos (Fotografía 8). Se le asigna una posible edad Valanginiano-Hauteriviano (Cretácico Inferior) por afloramientos observados en la carta Santa Maria del Oro (G13-A18) y se correlaciona con la Formación Mezcalera que se originó en un ambiente marino somero. Las condiciones geológico minera son interesantes pues se ha visto afectada por cuerpos intrusivos que han formado amplias zonas de jasperioides en brechas y los contactos con otras unidades.



**Fotografía 8.- La mineralogía consiste en un conjunto de estructuras circulares - ovoides, material tipo oolítico, que están rellenas de material calcáreo. El cementante es también de composición calcáreo, con algunos microgránulos de cuarzo y material silíceo. Se observan dos fragmentos o pedazos alargados de probables fósiles muy recristalizados.**

### **III.2.3.-Terciario**

#### **III.2.3.1.- Complejo Volcánico Inferior (Ti A-Da)**

Esta unidad se define como una secuencia volcánica de composición intermedia que se encuentra dentro del Complejo Volcánico Inferior.

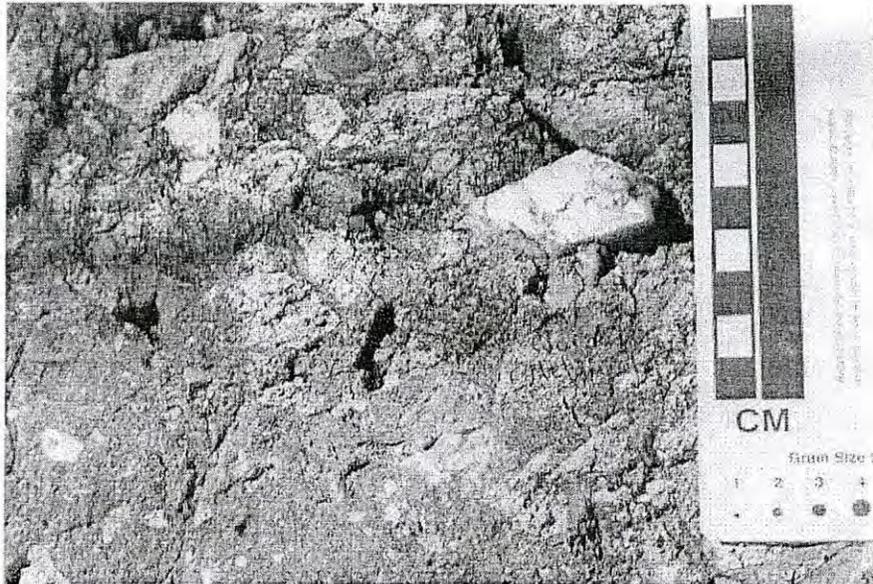
La única localidad donde se ha observado es en límite sur de la carta, específicamente en el cerro La Cruz, donde se encuentra un pequeño afloramiento muy restringido que consiste de andesita y dacita de color verde oscuro a gris verdoso, en otras localidades cercanas a Sauces de Cardona se ha visto que en realidad son enjambres de diques afectando a cuerpos intrusivos del Terciario y unidades más antiguas. El espesor máximo que aflora en el área es de 25 m aproximadamente, pero en otras localidades cercanas se ha reportado con mayor extensión y espesor. Esta unidad se encuentra aflorando en forma de pequeña ventana estructural debido al fallamiento y erosión de la unidad de rocas volcánicas del Terciario medio (T TR-Ig) que la sobreyacen concordantemente. Se le considera de edad Eoceno-Oligoceno y correlacionable con rocas del Complejo Volcánico Inferior donde Fredrickson (1974) y Lemish (1955) indican que este volcanismo empezó a desarrollarse en el Cretácico medio ó Tardío hasta el Terciario temprano. En Guanaceví se dató una andesita por el método de K-Ar en 38.7+/-0.8 Ma (Clark. K. 1977) correspondiente al Eoceno.

En el intervalo del Cretácico Inferior al Terciario inferior, se presenta la orogenia Larámide provocada por la subducción de la placa Farallón debajo de la placa de Norteamérica, donde se formaron la mayoría de las estructuras anticlinales y sinclinales, así como las deformaciones, recumbencias y cabalgamientos acompañado de un volcanismo transarco de composición intermedia que inicia en el Eoceno superior y finaliza en el Oligoceno y es denominada Serie Andesítica o Serie Volcánica Inferior. Las condiciones geológico mineras son de gran importancia pues regionalmente se le considera la roca encajonante de la mayoría de las estructuras mineralizadas, ya que también fue afectada por los cuerpos intrusivos que han provocado zonas de alteración en gran escala.

### **III.2.3.2.- Conglomerado Ahuichila (Tm Cgp-Ar)**

Paquete de conglomerado de color rojizo conocidos regionalmente como Conglomerado Ahuichila y se encuentra definido por Rogers (1961, en: CRM, 1993) donde los caracteriza por ser conglomerado y brecha de origen continental que presenta clastos subredondeados con tamaños de 1 a 20 cm.

Esta unidad aflora en la mayor parte de la carta, las localidades más importantes son Sauces de Cardona, La Paz y El Cuarenta, consiste principalmente de conglomerado formados en su mayor parte de clastos de caliza de color gris y amarilla con tamaños desde 0.1 a 30 cm y cementados por una matriz arenosa, localmente presenta niveles con fragmentos de esquisto, metagranito, metavolcanicas y cuarzo metamórfico.



***Fotografía 9.- Detalle del Conglomerado Ahuichila donde se observan clastos de cuarzo metamórfico y rocas sedimentarias en una matriz arenosa de color rojizo.***

Alcanza al menos un espesor de 240 m documentado por trabajos de barrenación con diamante efectuados por una compañía minera en la zona El Colorado ubicada a 5 km al oeste del límite de la carta. Esta unidad litológica marca el cambio hacia la secuencia volcánica riolítica y cubre a la mayoría de las unidades más antiguas, a su vez se encuentra cubierta por las unidades de (T TA-Cz) y (T TR-Ig) y en contacto por falla con arenisca y conglomerado (Ts Cgp-Ar) hacia la parte en donde se forma la cuenca del río Sextin. Se le considera de edad

Eoceno-Oligoceno, por su ubicación estratigráfica con las otras unidades y correlacionable con las localidades descritas por Roger (1961, en: CRM,1993) en las márgenes del río Nazas. Su origen se debe a relleno de cuencas producidas por fallamiento regional distensivo en un ambiente continental. Las condiciones geológico mineras que presenta son de gran importancia, pues se ha visto afectada también por intrusivos que han alterado a esta unidad, parte del color se piensa que es producto de este efecto. La zona El Colorado, antes mencionada, es afectado por estructuras mineralizadas actuando como roca huésped de vetas de fluorita y en algunas localidades, como La Paz se presenta como la roca encajonante de la mineralización de mercurio.



**Fotografía 10.- Panorámica donde se observan zonas de fallas dentro del mismo Conglomerado Ahuichila.**

### **III.2.3.3.- Unidad La Paz (T TA-Cz)**

Unidad que se define como la zona de transición de la parte superior del Conglomerado Ahuichila con la parte inferior del Complejo Volcánico Superior, constituida por toba riolítica y caliza laminares. Se distribuye en la parte centro-norte de la carta, en las localidades El Cuarenta, Agua Colorada , arroyo El Orégano y Relices Colorados, su mejor exposición está en el flanco sur del cerro El Cuarenta.

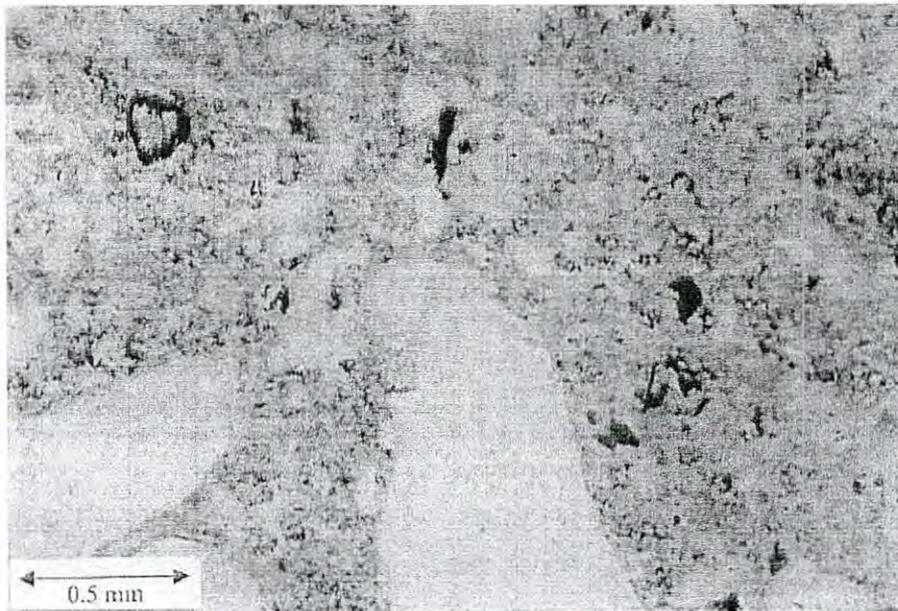
Consiste de una secuencia de toba riolítica con niveles arenosos de color gris verdoso interestratificadas con caliza laminar de color gris, en estratos desde pocos centímetros hasta 1 metro de espesor a veces con limolitas calcáreas; en algunas localidades se presenta a la base con niveles de conglomerado con fragmentos de caliza de color amarillento en matriz con aporte volcánico.



**Fotografía 11.- Afloramiento donde se muestra la estratificación de las calizas y limolitas con niveles de conglomerados de la unidad La Paz (T TA-Cz).**

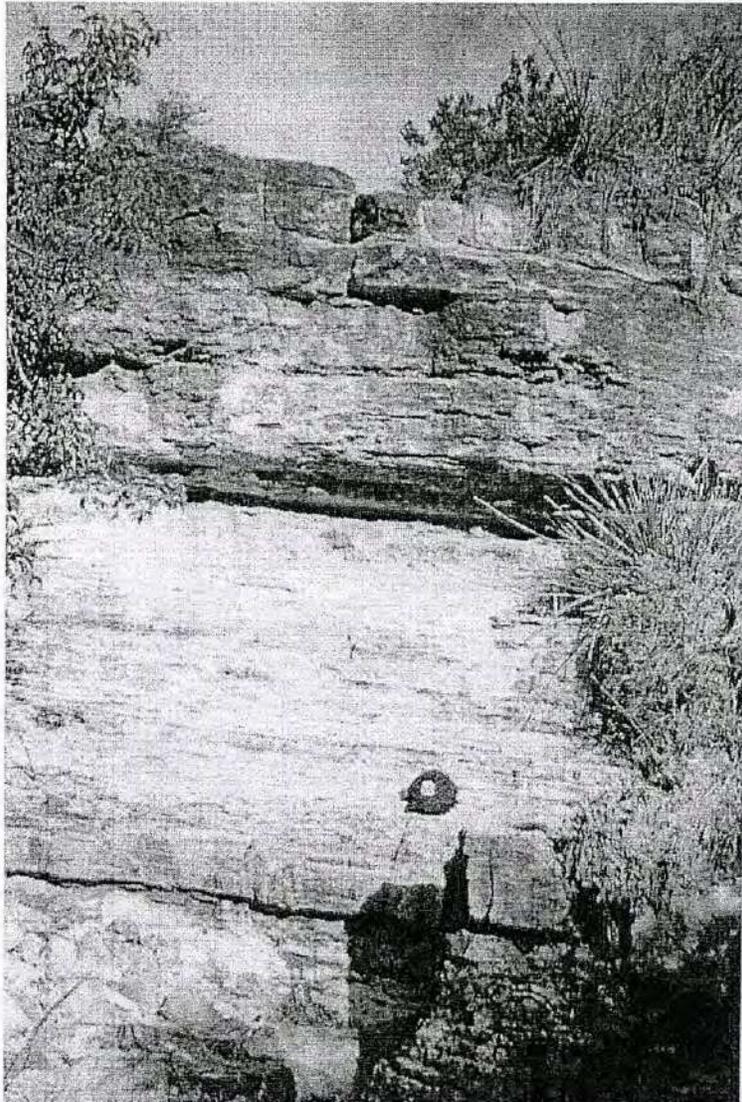
Se realizó un análisis petrográfico (Fotografía 12) clasificándola como una toba vítrea de composición riolítica desvitrificada, que presenta una textura vítrea-vitrofídica, donde se observan fenocristales de cuarzo rotos y amiboides, con un porcentaje de 12 a 15% y tamaños de 0.3 y 0.7 mm, escasos microcristales de feldespato, porcentaje entre 15 a 20% y tamaños de fracciones de milímetro; muchos de ellos destruidos durante la preparación de la lámina, debido a que han sido alterados y reemplazados por minerales arcillosos. La matriz representa un porcentaje de 50 a 70%, observándose remanentes de un carácter vítreo original y que ha sido afectada por procesos de desvitrificación, con el desarrollo de microagregados cuarzofeldespáticos irregularmente distribuidos en toda la matriz. Fracción de

ferromagnesios (biotita principalmente), tamaños de 0.2 a 0.3mm. y porcentaje inferior a 2%, afectados por oxidación.



**Fotografía 12.- En la foto se observan fenocristales de cuarzo, rotos -incompletos y amiboides. Escasos microcristales de feldespatos. La fracción de ferromagnesios (biotita principalmente), tamaños de 0,2 a 0,3 mm. y porcentaje inferior a 2 - 3 %, afectados por oxidación.**

Se estima un espesor de 100 metros, aunque variable según la localidad. Se encuentra depositada sobre el Conglomerado Ahuichila y en ocasiones sobre intrusivos del Jurásico. Se considera contemporánea al inicio de la actividad ignimbrítica del Oligoceno. Su ambiente de depósito es en cuencas cerradas y muy local pues no aflora en otras partes regionalmente, la presencia de sílice microcristalino-amorfo en los niveles calcáreos puede significar un ambiente combinado lacustre con actividad exhalativa asociado con el emplazamiento de los cuerpos dómicos. Presenta condiciones geológicas mineras de gran importancia, pues corresponde a la roca encajonante de la mineralización por mercurio en la zona mineralizada El Cuarenta.



**Fotografía 13.- Detalle de la unidad La Paz (T TA-Cz) donde los niveles amarillos corresponden con limolita y estratos calcáreos de estratificación media. Localidad cerro El Cuarenta.**

#### **III.2.3.4.- Serie Volcánica Superior (T TR-Ig)**

Unidad que se caracteriza por un paquete de rocas ácidas que cubren a las rocas más antiguas y se encuentra constituida por toba riolítica, ignimbrita y brecha de composición riolítica con horizontes intercalados de vitrófido formando por lo general mesas horizontales ó con poco basculamiento.

La distribución de esta unidad es muy amplia, ocupando la mayor parte del área de estudio, así como la topografía más elevada y formando escarpes muy pronunciados. Los afloramientos con mayor exposición se encuentran en la esquina suroeste, específicamente en las mesas La Atascosa, La Osa y Pilares que se encuentran al oeste de Boca de Alamos, en la porción centro-sureste, en las mesas El Carnero, La Verdosa y La Cieneguita, al centro-norte en las mesas La Madera, Agostadero y La Redonda y al noroeste en la mesa San Bernardo y Los Cóconos, teniendo por supuesto otros afloramientos aislados de mucho menor extensión y espesor.



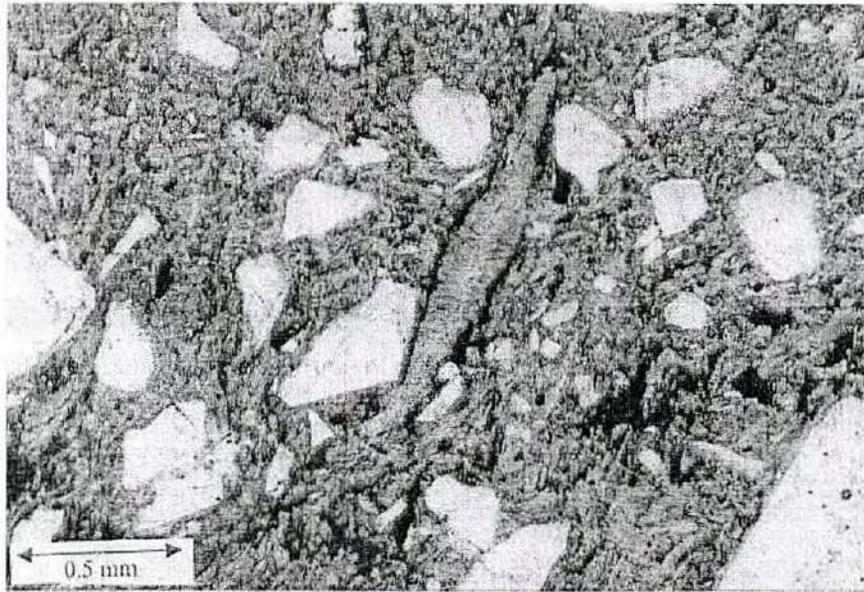
***Fotografía 14.- Panorámica donde se observan los derrames de tobas riolíticas e ignimbritas de la Serie Volcánica Superior(T TR-Ig) a la cima. Localidad mesa El Carnero. Viendo al norte.***

Este paquete consiste de una secuencia de rocas volcánicas-volcanoclásticas de composición riolítica, principalmente toba e ignimbrita, que comúnmente presenta intercalaciones de brecha volcánica, toba arenosa, cristalovitreas y cristalolíticas con pseudoestratificación bien marcada. Al microscopio el análisis de la roca indica matriz originalmente vítrea con espículas (shards) transformadas a óxidos y arcillas, presencia de fragmentos de rocas de composición riolítica y

en menor proporción de andesita, también se ven cristales de cuarzo rotos e incompletos, además de plagioclasa y feldespato potásico, lo cual define a una toba vítrea.

Otro análisis en otra roca de la misma unidad (Fotografía 15 y 16) presenta además plagioclasa, biotita-hornblenda y fragmentos de rocas con oxidación y silicificación, formas pseudoesferulíticas y minerales opacos en forma de dendritas que corresponden con pirolusita, definiendo así a una toba cristalolítica.

El espesor máximo que se presenta en la carta es de aproximadamente 300 m, pero existen localidades cercanas que se han reportado hasta 1000 m de espesor.



**Fotografía 15.- Se observa claramente el carácter vítreo de la matriz de la roca, sobre la que se desarrollan franjas - bandas de material fibro-radial y en menor proporción esferulítico.**



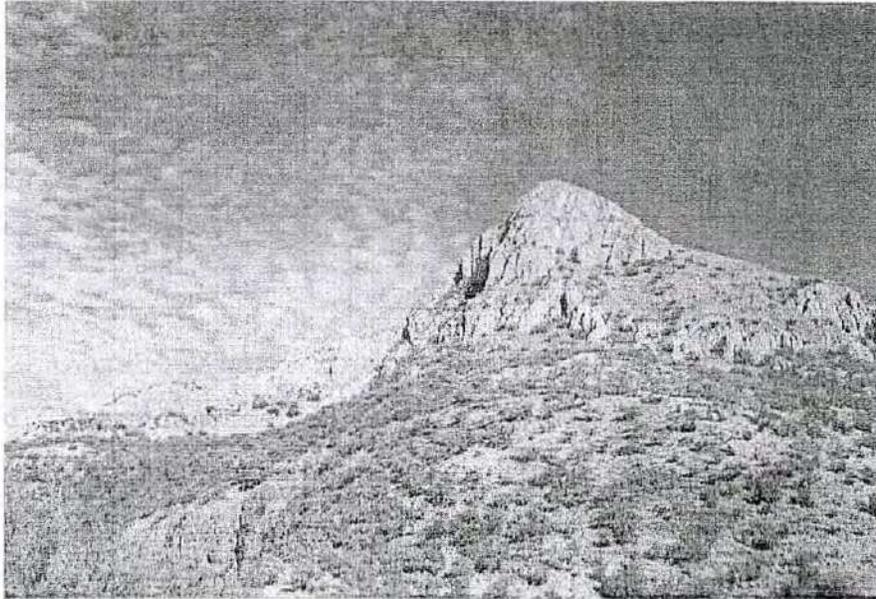
**Fotografía 16.- Se observan que los fenocristales y fragmentos están dentro de una matriz, vítrea en su origen, con evidencias de un proceso hidrotermal y franjas constituidas por una mezcla de microcristales de epidota y aparente jarosita.**

Se encuentra depositada sobre la mayoría de las unidades más antiguas que el Mioceno, a su vez es cubierta por conglomerado y arenisca (Ts Cgp-Ar) observable en las márgenes del río Sextin. Por su posición estratigráfica y correlación con el Grupo Volcánico Superior, en donde se han obtenido edades K-Ar de 24.6 +0.4 Ma en vitrófidos intercalados con las tobas riolíticas (Bellon,2000), se ubica a esta unidad en el Terciario medio. El origen de este paquete de rocas se relaciona con el último evento que generó la secuencia volcánica de la Sierra Madre Occidental, asociado con la subducción de la Placa Farallón bajo la placa Norteamericana, las cuales posiblemente fueron originadas por la generación de calderas donde los eventos extrusivos cineríticos estuvieron acompañados por emanaciones basálticas (McDowell and Clabaugh, 1979).

La base de esta secuencia se presenta alterada con silicificación, argilización y oxidación, lo cual indica efectos de hidrotermalismo, podría tener importancia geológico-minera.

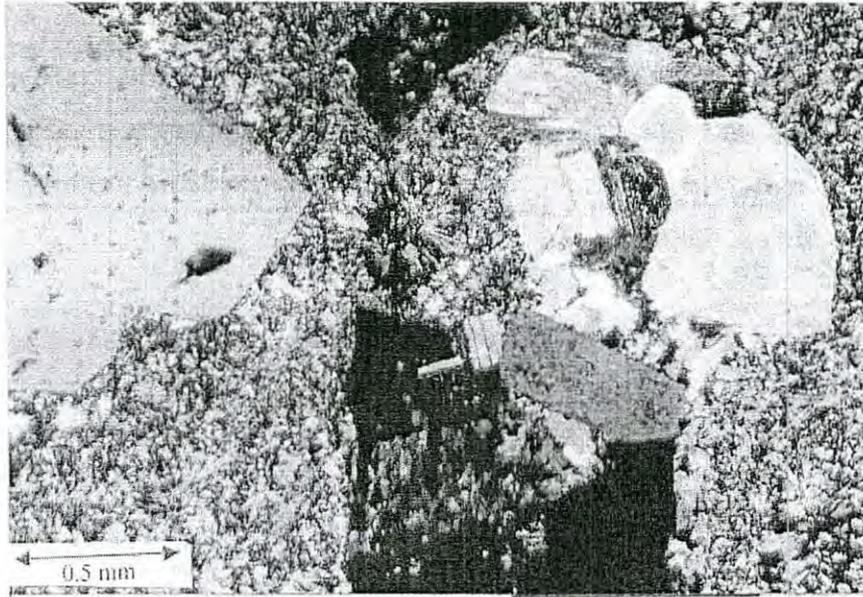
### III.2.3.5.- Unidad Cabeza de Oso( T R)

Se distribuye en una franja orientada NW-SE a todo lo largo de la carta, corresponde a cuerpos subvolcánicos alargados y domos de composición riolítica variando a riodacita localmente, presentan textura muy variable desde fluidal bandeada con franjas de material vítreo perlítico a afanítica con fuerte diaclasamiento.



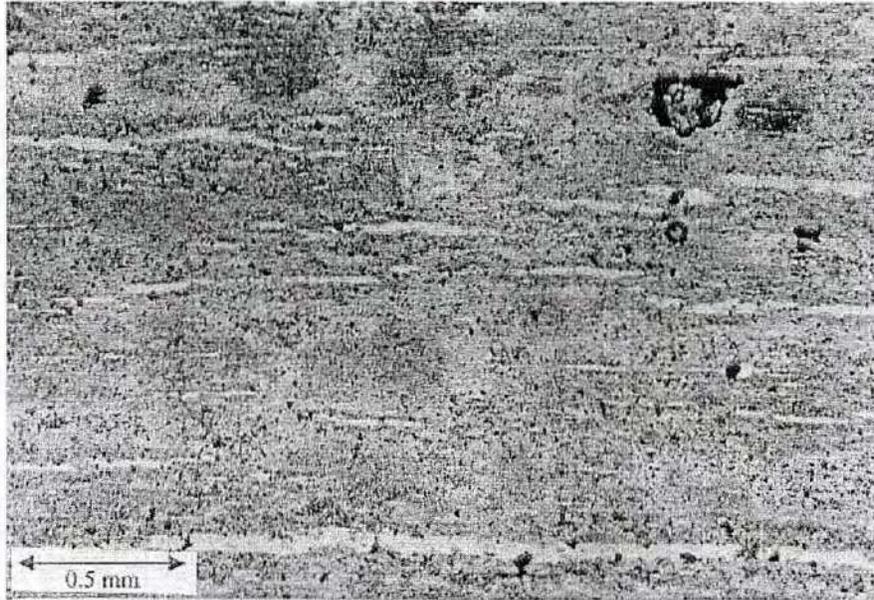
**Fotografía 17.- Panorámica del domo riolítico El Depósito que está cortando al Conglomerado Ahuichila. Localidad cerro El Depósito. Viendo al SE.**

Los principales afloramientos son los cerros El Depósito y Cabeza de Oso, existiendo otros cuerpos pequeños localizados dentro de la carta. Son cuerpos de tamaño variado desde 50 a 500 m de ancho, como en la zona Sauces de Cardona, hasta poco más de 2 km como en la localidad Cerro La Soledad, donde se presentan emplazados en forma de domos aglutinados. En los bordes de estos cuerpos muy comúnmente presentan brechas y tobas riolíticas; se considera contemporáneo a la actividad riolítica del Oligoceno y en parte como conductos. Estas rocas están afectando a rocas sedimentarias del Triásico y volcánicas (T TR-Ig) principalmente. El estudio petrográfico (Fotografías 18 y 19); muestra una textura fluidal en una matriz microcristalina de composición cuarzofeldespática donde se observan abundantes óxidos de hierro.



**Fotografía 18.-Agrupamiento de cristales de feldespato potásico (sanidino) y plagioclasa (albita - oligoclasa). La matriz (40 - 60%) es microcristalina y de composición cuarzofeldespática, con presencia de estructuras esferulíticas. Las plagioclasa muestran alteración y reemplazamiento a minerales arcillosos. Escasos ferromagnesianos afectados por oxidación.**

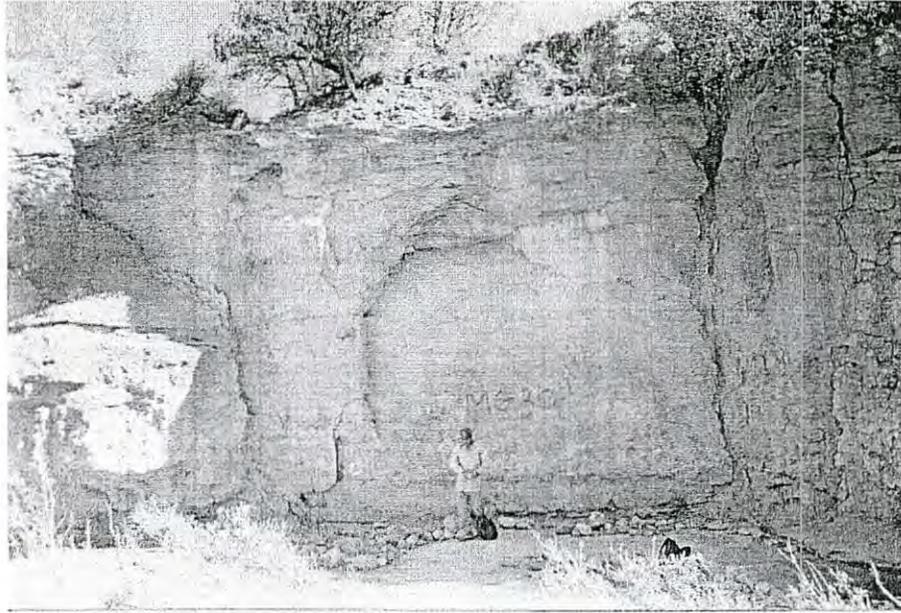
Estos cuerpos se emplazan aprovechando zonas de debilidad producto de fallamiento NW-SE; regionalmente se han documentado este tipo de rocas con edades de alrededor de 30 Ma en los Estados de Durango y Zacatecas, donde siempre se encuentran siguiendo este patrón estructural y emplazados antes de la máxima extensión; son de importancia geológica minera pues se relacionan con zonas de argilización con pirita y estructuras mineralizadas, se considera que podrían ser los responsables de una parte de la mineralización en la región.



**Fotografía 19.-Es notoria la presencia de una textura fluidal, representadas por estructuras lineales y paralelas rellenas por material silíceo que cortan a los cristales neoformados de cuarzo y feldespato; Microgránulos de minerales opacos y óxidos de fierro.**

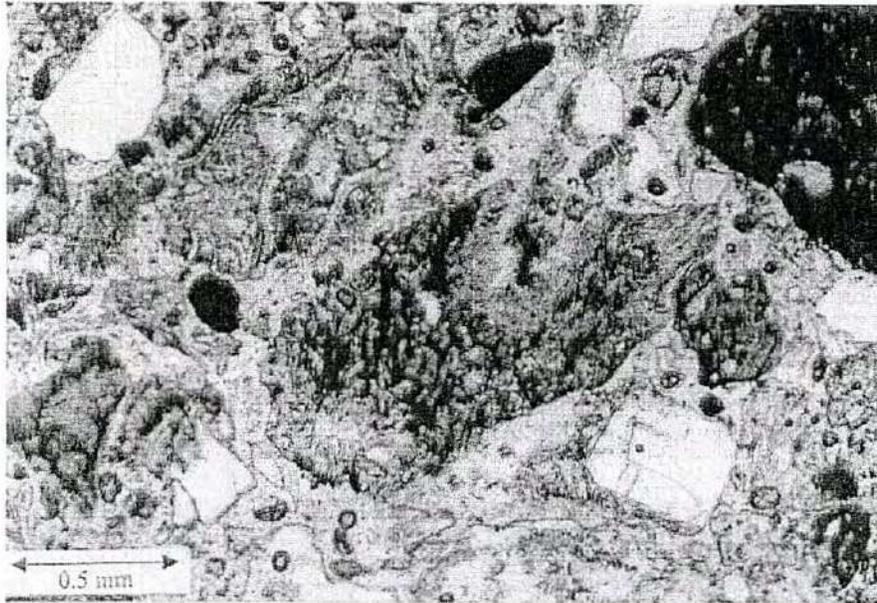
#### **III.2.3.6.- Depósitos Clásticos (Ts Cgp-Ar)**

Es un paquete de sedimentos formado por grava y arena con grado de consolidación muy variable y que generalmente se encuentran relleno las fosas producidas por el fallamiento extensional a finales del Terciario. En el área de estudio se localizan en la porción centro-noroeste y sus afloramientos son extensos por toda la cuenca del río Sextín y a lo largo del límite este, específicamente por la cuenca del río El Encino.



**Fotografía 20.- Detalle de afloramientos de la unidad de Depósitos Clásticos (Ts Cgp-Ar) con niveles arenosos, arcillosos y ocasionales niveles tobáceos-arenosos.**

Esta unidad está constituida principalmente por grava y arena moderadamente consolidadas los cuales presentan una tonalidad clara, contiene clastos redondeados a subredondeados de rocas volcánicas, sedimentarias e intrusivas de diferentes tamaños incluidos en una matriz arenosa, limoarcillosa y ocasional material de origen volcánico, presenta niveles de arenisca de espesor variable desde 10cm hasta 20m. En la margen oeste del río Sextín presenta niveles de arenisca tobacea. El análisis petrográfico (Fotografía 21) indica fragmentos de roca 60-70% de origen volcánico y un 20-25% de cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico, hornblenda y biotita con fracturamiento debido a procesos piroclásticos; la matriz presenta reemplazamiento de calcita. Se considera un espesor de al menos 260m tomando en cuenta el desnivel topográfico de donde ha sido cartografiada. Se encuentra cubriendo a las rocas volcánicas riolíticas (T TR-Ig) y en contacto por falla regional NW-SE con unidades más antiguas hacia la margen noreste del río Sextin, también sobre el río mencionado se encuentra cubierta por depósitos recientes de aluvión (Qho al). Se considera de una edad Mioceno-Plioceno por correlación con otras cuencas terciarias de similares características; su origen se relaciona con relleno de semi-fosa tectónica formada en un ambiente de extensión, en el presente estudio no se apreciaron características que indiquen importancia geológica-minera.



***Fotografía 21.-Fragmentos subredondeados y subangulosos de rocas de origen volcánico y piroclástico, la mayoría de composición riolítica. Cristales de cuarzo y feldspatos, rotos e incompletos, que junto con los fragmentos de rocas están incluidos dentro de una matriz que conserva rasgos remanentes de un carácter vítreo.***

### **III.2.4.- Cuaternario**

#### **III.2.4.1.- Aluvión (Qho al)**

Depósitos sedimentarios muy recientes que se encuentran en los lechos de ríos y arroyos, están constituido por gravas, arenas y sedimentos finos. En el área se observan en la localidad del río Sextin y arroyo El Encino, no representan importancia geológica minera, localmente es aprovechado como material de construcción.

## ROCAS IGNEAS INTRUSIVAS

### III.2.5.- Jurásico Superior

#### III.2.5.1.-Granito el Cuarenta (Js MGr-MD)

Conocido informalmente como Granito El Cuarenta, el cual es una roca intrusiva fuertemente deformada, generándose con esto metagranito y metadiorita. Sus afloramientos mejor expuestos y más extendidos se encuentran en la parte norte-centro de la carta en las inmediaciones del rancho La Esperanza y la población de La Parrita, también aflora en las localidades El Cuarenta específicamente en el cerro Pájaro Prieto y por todo el camino que conduce al poblado La Parrita hasta antes de llegar a la mesa Los Cóconos. Existen afloramientos aislados y en menor proporción en Sauces de Cardona y rancho La Paz.



***Fotografía 22.- Zona de cizalla con foliación subhorizontal con desarrollo de cuarzo metamórfico en una posible zona de falla inversa en la unidad (Js MGr-MD).***

Corresponde a un intrusivo metagranítico con variaciones hasta metadiorita, se observa muy deformado y con zonas apizarradas al grado que es difícil separarlo en unidades diferentes por lo que se considera contemporáneos y parte de una misma diferenciación magmática, la deformación dúctil es la que predomina, ya que tenemos una foliación principal de rumbo NW-

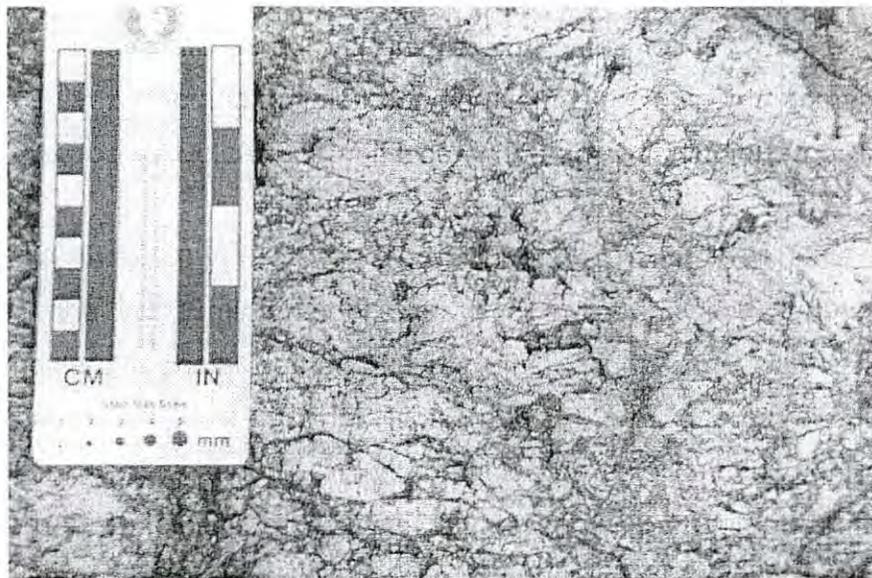
SE con vergencia al NE, en algunas localidades se observan zonas de intensa foliación que da lugar a esquisto. Petrográficamente (Fotografía 23) la roca se clasifica como un granito de biotita y se caracteriza por la predominancia de la fracción del feldespato potásico comparada con la de plagioclasa; esta última frecuentemente presenta un reemplazamiento variable a una mezcla de minerales arcillosos y sericita; tiene una textura holocristalina, hipidomórfica, micropertítica, poiquilítica ligeramente porfídica y se define por un mosaico de tendencia equigranular, ligeramente porfídico, constituido por cristales anhedrales de cuarzo y cristales subhedrales –euhedrales de plagioclasa (oligoclasa) y feldespato potásico (ortoclasa y en menor proporción microclina) la mayoría con un desarrollo de carácter micropertítico, estando esta última en mayor proporción que los plagioclasas en el rango de 2 a 1. El porcentaje de cuarzo es de 15 a 20%. Los tamaños de estas tres fases minerales están en el rango desde 0.2 hasta 1 y 2 mm. Los ferromagnesianos corresponden a cristales euhedrales de biotita que muestran avanzada alteración a clorita-muscovita y con efecto de oxidación. La roca presenta evidencias de silicificación, observándose microvetillas de cuarzo, asociada en algún caso a un leve cizallamiento que afecta al mosaico cristalino.



**Fotografía 23.- En esta foto sobresale el carácter anhedral y la birrefringencia de los cristales de cuarzo; el maclado, zoneamiento y alteración de los cristales de plagioclasa; el aspecto sucio - manchado de la fracción de feldespato potásico y la birrefringencia y color de los cristales de biotita.**

Este intrusivo se encuentra afectando a la unidad del Paleozoico (Pc E) y en parte al Jurásico (Jo MAr-MLu) y a su vez afectado también por diques más recientes de composición andesítica y riolítica, y por cuerpos subvolcánicos riolíticos (T R), además cubierta por las unidades más recientes.

Se reportan edades de 149.9 y 154.3 Ma (Damon,1975) para la localidad El Cuarenta lo que permite asignarle una edad mínima del Jurásico Superior, considerando la deformación observada se considera la posibilidad de que sea más antiguo. Tiene interés geológico-minero pues en esta unidad se emplazó la mineralización de Hg y Au, además de que se observaron posibles concentraciones minerales en los contactos de esta unidad con las unidades más recientes, por lo que se piensa son zonas aprovechadas para emplazamiento de cuerpos subvolcánicos y diques andesíticos del Terciario, los cuales son los principales causantes de la mineralización en esta zona.

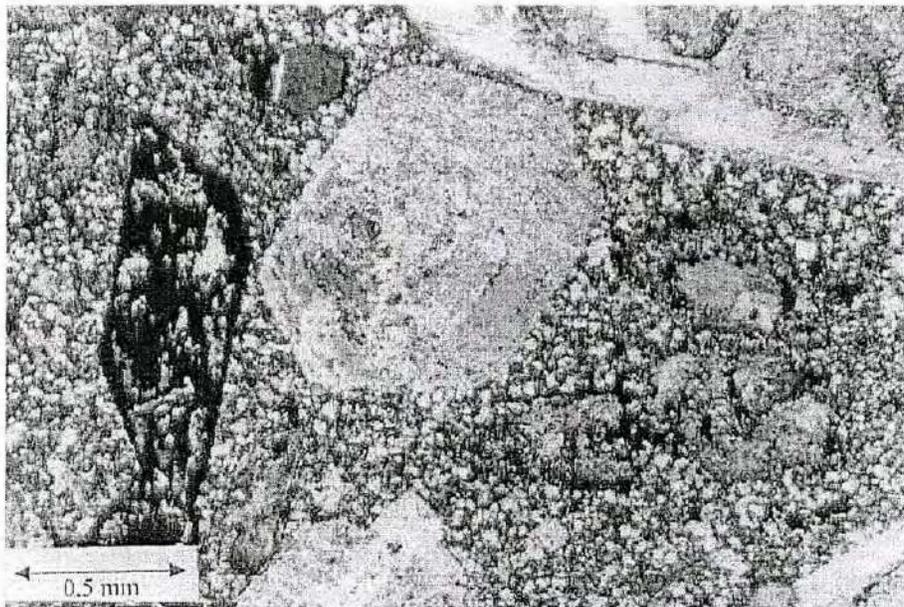


**Fotografía 24.- Detalle de la deformación en el metagranito de la Unidad Granito El Cuarenta del Jurásico (Js MGr-MD). Localidad mina Huachi.**

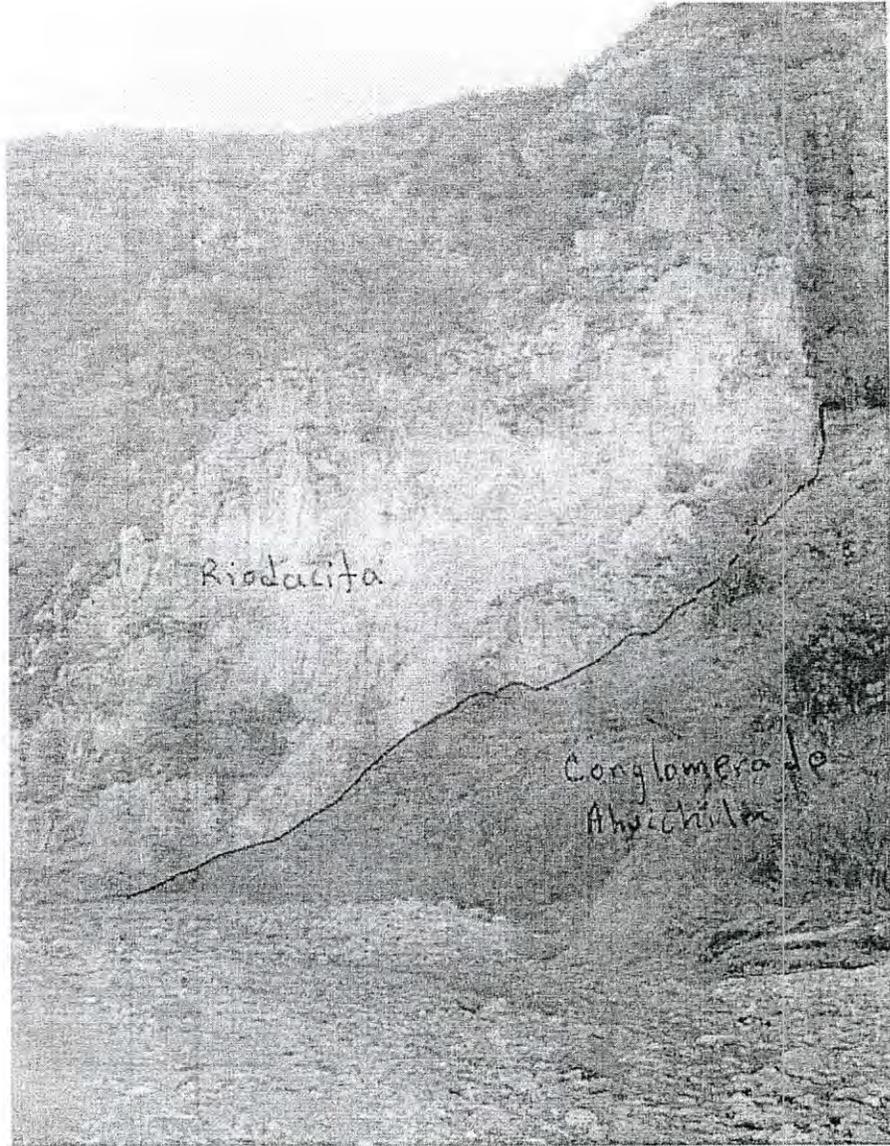
### III.2.6.- Terciario

#### III.2.6.1.- Granito-Diorita ( T Gr-D)

Son cuerpos intrusivos en forma de stock de pequeñas dimensiones variando su composición localmente de granito a cuarzdiorita. Se presentan en las localidades mineras conocidas a la fecha, en la esquina sureste, al norte de la población de Sauces de Cardona específicamente en el arroyo Santo Domingo y en el arroyo Mayoquitas y en la porción norte en la localidad de Murciélagos. Esta unidad corresponde principalmente a rocas graníticas y cuarzdioríticas de textura fanerítica de grano fino a medio y ligeramente porfídicas.



**Fotografía 25.- Se observan fenocristales de plagioclasa (oligoclasa – andesina), prismáticos y con zoneamiento que muestra una variable alteración y remplazamiento por mezclas de sericita + minerales arcillosos + calcita y que es más evidente sobre los planos del zoneamiento.**



**Fotografía 26.- Contacto entre la unidad intrusiva (T Gr-D) y el Conglomerado Ahuichila (Tm Cgp-Ar). Localidad al este de Sauces de Cardona. Viendo al este.**

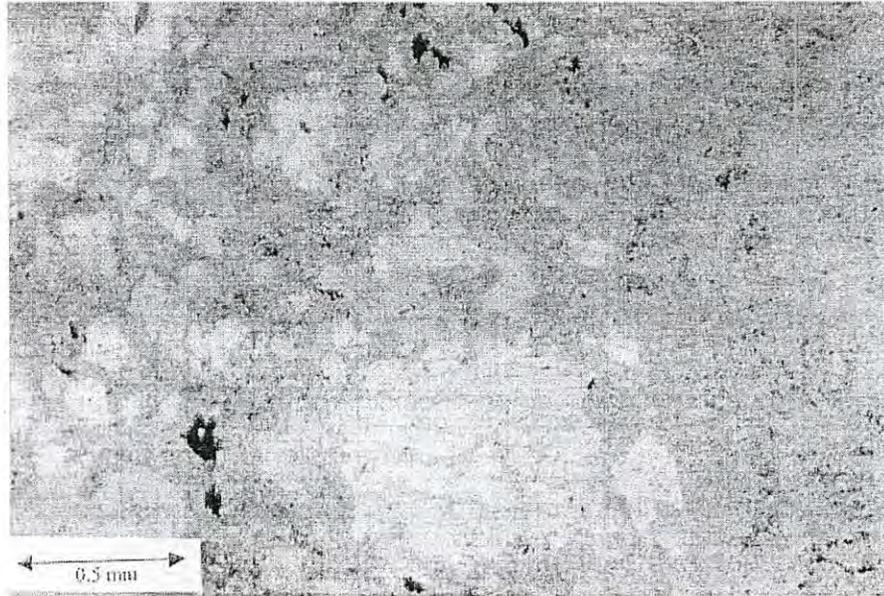
Al microscopio se observa una textura holocristalina-glomeroporfídica, con fenocristales de plagioclasa (oligoclasa-andesina) en tamaños de 0.5 a 3mm alterados a sericita y arcillas, se aprecia también hornblenda y biotita reemplazadas por clorita + apatito + calcita y óxidos de fierro, presenta mosaico equigranular de cuarzo, feldespato, ferromagnesianos y minerales opacos (óxidos y sulfuros) la cual ha sido clasificada por su carácter félsico y su textura porfídica como un pórfido granítico-cuarzodiorítico (Fotografía 25). Se encuentra afectando las

unidades más antiguas que el Oligoceno, se emplaza en zonas de debilidad producto de fallamiento regional NW-SE, se le puede considerar de una edad Oligoceno por sus relaciones con las demás unidades litológicas sin afectar aparentemente a las rocas más jóvenes del Oligoceno, se les considera responsable de una parte de la mineralización observada a la fecha, principalmente en las localidades antes mencionadas.

### **III.2.6.2.- Pórfido Riolítico (T PR)**

Se define como un cuerpo subvolcánico de composición riolítica. Su afloramiento se restringe a un pequeño cuerpo que aflora como a 500 m. al sur de la zona mineralizada El Cuarenta.

Estos cuerpos hipabisales son principalmente de una composición riolítica de color verdoso a rosa oscuro, donde se observa la presencia de ojos de cuarzo (Fotografía 27). La mineralogía actual de la roca consiste en fenocristales y microcristales de cuarzo, con un porcentaje entre 15 y 25%, tamaños desde fracciones de milímetro hasta un máximo de 2 y 3 mm. La fracción original de feldespato potásico y plagioclasa ha sido completamente alterada y reemplazada por sericita, minerales arcillosos y óxidos de fierro, quedando únicamente los pseudomorfos ó fantasmas de los cristales originales. A pesar de su intensa sericitización, se observan evidencias de una silicificación, que se traduce en la presencia de microvetillas de cuarzo. Los ferromagnesianos originales debieron de haber correspondido a biotita y probablemente algo de hornblenda, las cuales han sido completamente alteradas y reemplazadas por mezclas de clorita + minerales arcillosos + óxidos de fierro.



**Fotografía 27.- Se observan cristales y microcristales de cuarzo, óxidos y microvetillas de cuarzo.**

Esta unidad se encuentra intrusionando al granito jurásico (Js MGr-MD) y al Conglomerado Ahuichila (Tm Cgp-Ar) ocasionando fuertes zonas de oxidación, silicificación y brechamiento en los contactos.

Se considera de una edad Oligoceno por la relación intrusiva que presenta con las rocas conglomeráticas del Terciario medio. Por su carácter porfídico e intrusión con las rocas más antiguas, se considera muy importante para la prospección de yacimientos minerales en las zonas de contacto con estas unidades.

### **III.2.6.3.- Diques**

En la localidad de Sauces de Cardona se presenta diques andesíticos color verde oscuro con pirita fresca y magnetita, cortando a rocas graníticas y metavolcánicas del Triásico Superior. La mayor parte de la mineralización está asociada con estos diques, pues en las obras mineras visitadas siempre están presentes.

En la localidad El Cuarenta se observan diques andesíticos de al menos 2 generaciones ya que algunos presentan deformación y otros no. La mayoría de los diques riolíticos y aplíticos se emplazan en las unidades intrusivas del Jurásico y granito del Oligoceno.



**Fotografía 28.- Dique de composición andesítica que se encuentra cortando al intrusivo granítico del Jurásico en la localidad de Sauces de Cardona. En estos dique es donde se emplaza la mineralización en la zona minera Sauces de Cardona.**

### **III.3 . GEOLOGIA ESTRUCTURAL**

#### **III.3.1.- Interpretación del Modelo Digital del Terreno**

La interpretación del modelo digital de elevación, así como las secciones morfoestructurales dieron el siguiente resultado (Figura 6):

De la sección A–A' se define un patrón principal de fracturamiento **NW – SE** el cual da lugar a la formación de los altos Los Pilares en la esquina suroeste de la carta, cerros Altos de Palomas y Los Cuates en el centro del área. También se definen los bajos del río Sextín (Nazas) hacia el centro – oeste del área, así como el bajo Los Sauces en la esquina noreste de la carta.

Se presenta también un fracturamiento **NE – SW** y **N – S** el cual es más evidente hacia las partes más altas, afecta a las unidades más jóvenes y por lo tanto se considera más reciente.

La sección B-B', se observan los altos de Mesa Los Pilares y El Cuarenta; hacia el centro se tienen la cuenca del río Sextín. Se alcanzan a apreciar curvilineamientos de pequeñas dimensiones afectando las partes más altas hacia el centro de la carta en una franja orientada **NW – SE**, lo anterior coincide con la magnetometría en donde se obtienen valores altos, lo cual apoya la idea de que se relacionan con centros de emisión volcánica, así como stock y cuerpos hipabisales afectando las diferentes litologías y asociados con la mineralización reportada en las diferentes zonas mineras, para los fines del presente estudio se consideran zonas prospectivas.

Las alturas varían desde los 1640 m. s. n. m. en la zona del río de Sextín (Nazas) – Matalotes en donde se presentan las unidades de conglomerados y areniscas poco consolidados; hasta un máximo de 2400 m. s. n. m. en el límite norte de carta donde se reportan unidades de ignimbrita y toba riolítica; mas específicamente en el cerro Cabeza de Oso.

Relacionando con la imagen de satélite las partes más altas corresponden a la cobertura de toba riolítica e ignimbrita, sobre las demás unidades, las partes bajas corresponden con rellenos de cuenca limitados por fallamiento **NW – SE** y los curvilineamientos con pequeñas zonas en donde se debe enfocar la actividad de yacimientos minerales.

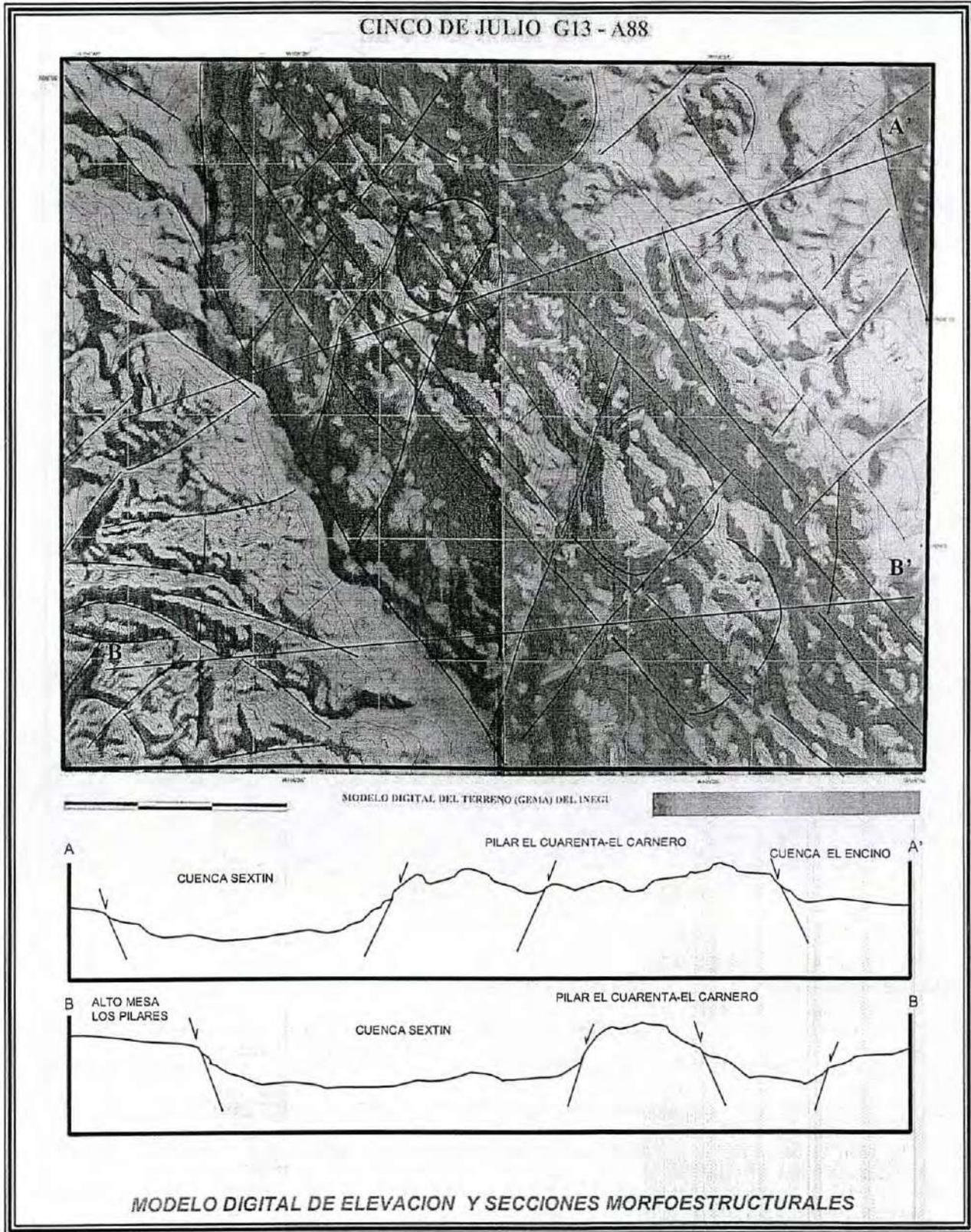
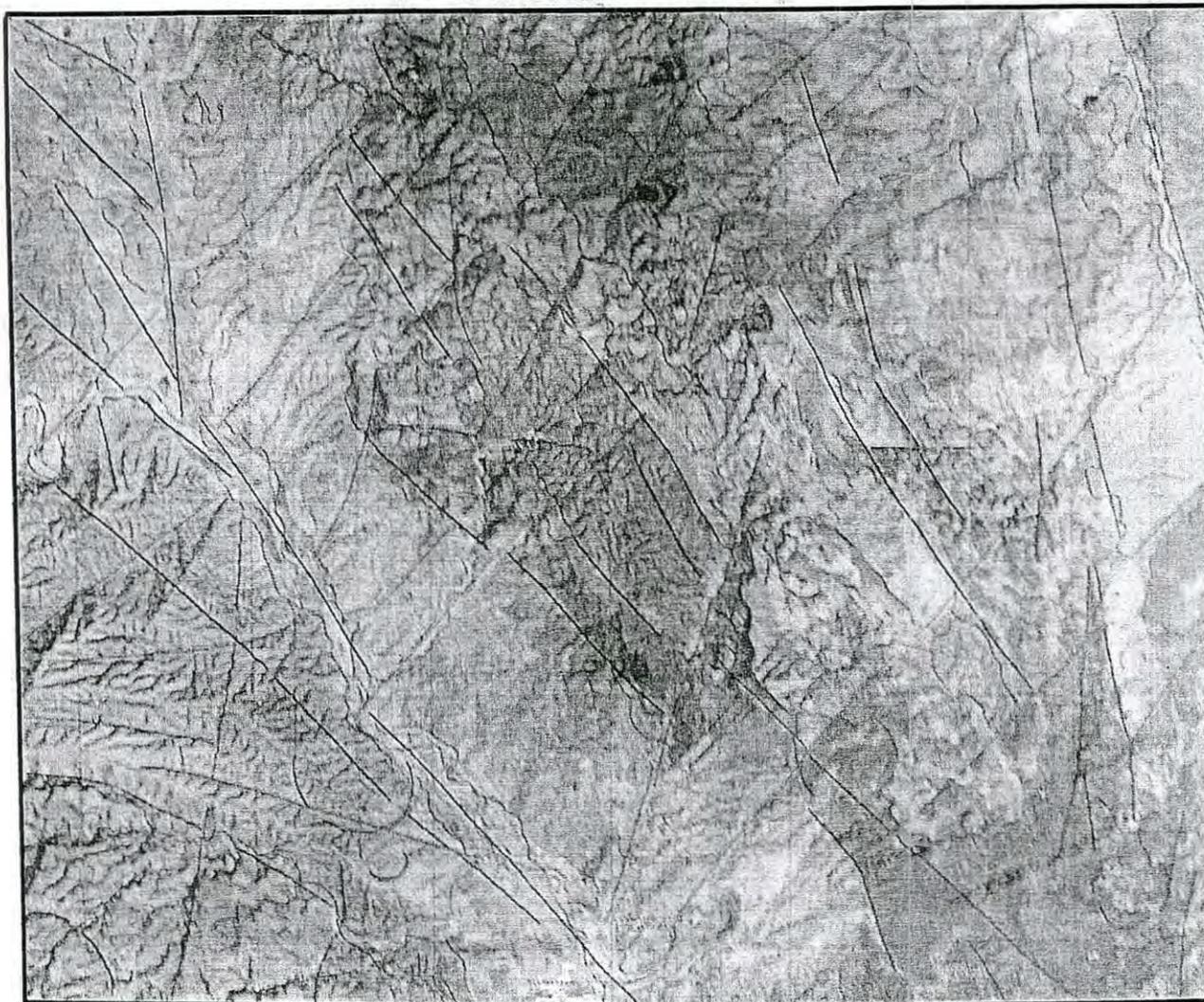


FIGURA 6

## IMAGEN DE SATELITE



**FIGURA 7**

### **III.3.2.-DESCRIPCIÓN DE ESTRUCTURAS**

En las unidades más antiguas que el Triásico encontramos foliación principalmente orientada en dos direcciones, la primera es NW 05-10°SE, con 10-20°NE, y la segunda es NW30-40°SE con 35-50°NE, en la unidad de esquisto la textura original de la roca se encuentra completamente borrada, debido al metamorfismo regional a que ha sido sometida esta unidad (Figura 8). En las unidades del Triásico y Jurásico se conservan gran parte de las texturas originales presentando un fuerte desarrollo de foliación la cual frecuentemente coincide con la estratificación.

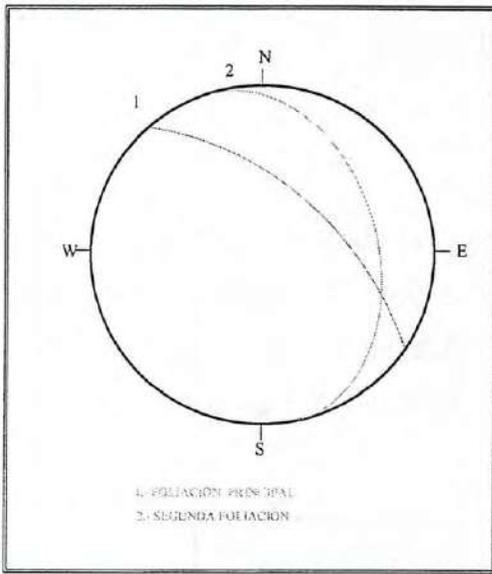


FIGURA 8

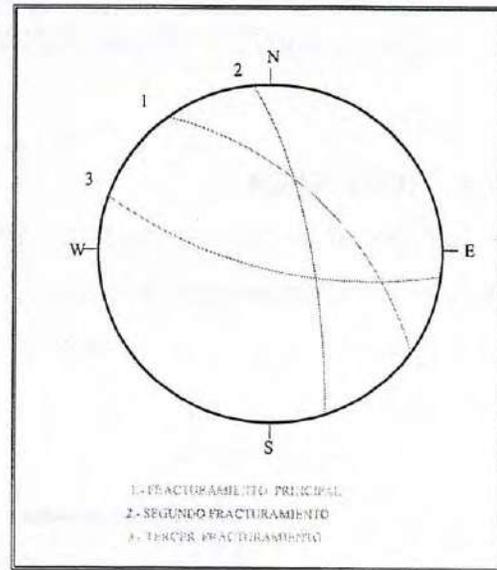


FIGURA 9

En la unidad Rancho Viejo (metavolcanosedimentaria) correlacionable con la Formación Nazas del Triásico Superior y en la unidad Potrerillos (metaarenisca-metalutita) del Jurásico Inferior también se tiene plegamiento con ejes orientados NW-SE con vergencia al NE, al mismo tiempo cabalgaduras y fallas inversas que ponen en contacto tectónico a rocas del Paleozoico y del Mesozoico con tendencia N-S y echados tanto al E como W. También se presenta una fuerte deformación en las rocas intrusivas del Jurásico y se caracteriza principalmente por una foliación bien marcada originando zonas esquistosas.

Los afloramientos de rocas más antiguas que el Jurásico, están limitados por fallas regionales NW-SE formando frente de deformación y cabalgaduras; conforman al mismo tiempo los márgenes de la semi-fosa tectónica del río Sextin. Se aprecia también lineamientos N-S relacionado con fallamiento intraformacional muy reciente en las rocas volcánicas del Terciario. Las principales fallas corresponden a la falla Sextin que limita la cuenca del mismo nombre y la falla El Cuarenta que controla contactos entre unidades volcánicas del Terciario e intrusivas del Jurásico, donde también se encuentran emplazados cuerpos subvolcánicos que causan una fuerte alteración en las unidades anteriores. El fallamiento localizado en la carta trae como consecuencia un fuerte fracturamiento en diferentes unidades, este fracturamiento tiene tres direcciones preferenciales, el primero está en el rango de NW30-40°SE con 60-65°NE, un

segundo fracturamiento en los rangos de NW5-10SE con 60-70°NE y el menos importante en los rangos de NW75-85SE con 80°SW a verticales (Figura 9).

### III.4. TECTÓNICA

El territorio mexicano se encuentra ubicado en la porción suroeste de la gran placa tectónica denominada Norteamérica, exceptuando el terreno que corresponde a la península de la Baja California. En esta zona se desarrolla un evento subductivo donde la placa Pacífico y Rivera están penetrando debajo de la placa continental de Norteamérica (Figura 10 ).



FIGURA 10

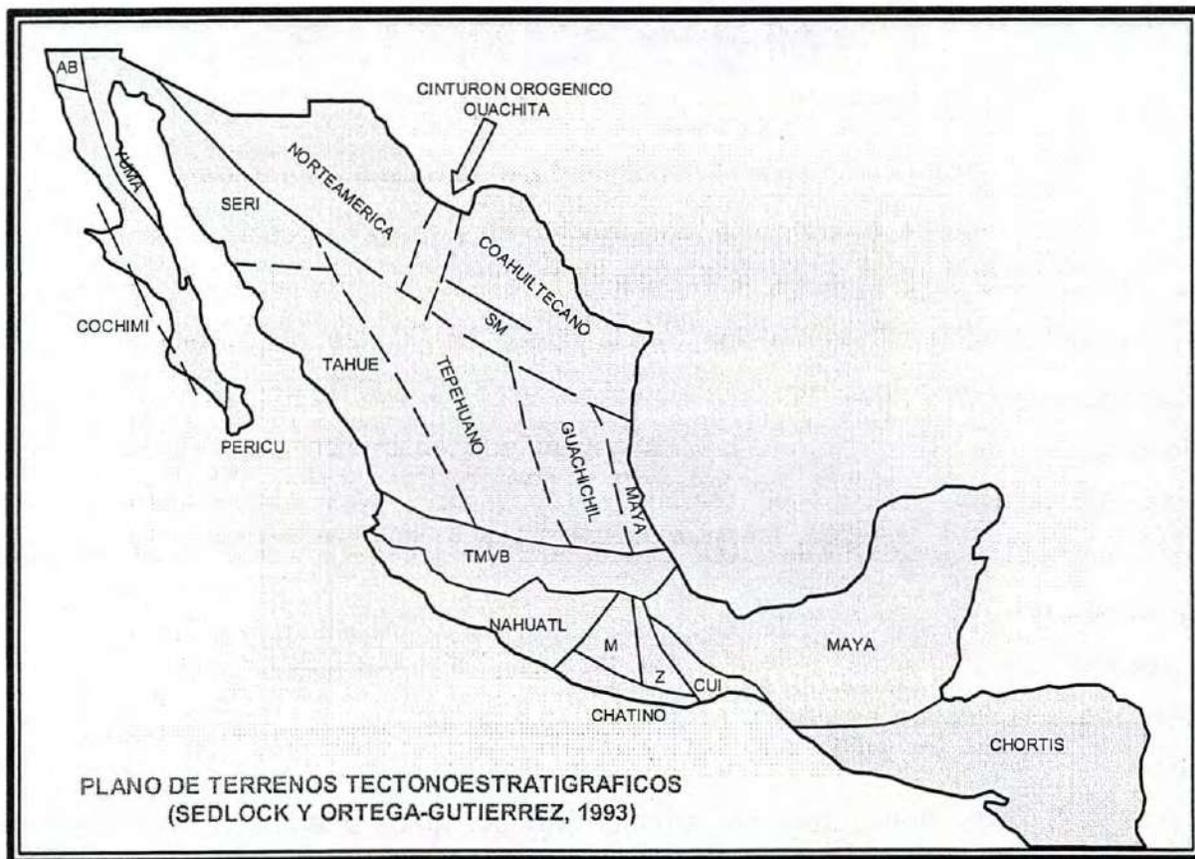
La sobreposición de dominios geológicos, así como las extensas cubiertas volcánicas de la Sierra Madre Occidental y el eje neovolcánico enmascaran las relaciones entre terrenos más antiguos.

La tectónica extensional terciaria que ha dislocado la corteza del noroeste de México y que ha generado eventos como la fase de Sierras y Valles mas la apertura del Golfo de California son de los factores más importantes que complementan y complican la determinación del desarrollo tectónico del noroeste de México.

### III.4.1.- Modelo de evolución geodinámica.

Analizando características litológicas y de deformación; el territorio mexicano se ha dividido en terrenos tectonoestratigráficos los cuales se muestran en el siguiente plano (Figura 11).

El área de estudio según esta figura caería dentro del terreno Tahué (Sedlock – Ortega, Gutierrez, 1993) en donde se pueden observar los cuerpos intrusivos terciarios representados por rocas graníticas – granodioríticas, que afectan tanto al Complejo Volcánico Inferior como al Complejo Volcánico Superior, constituido el primero por rocas volcánicas de afinidad intermedia, y el segundo por rocas de afinidad ácida (McDowell y Keizer, 1977).



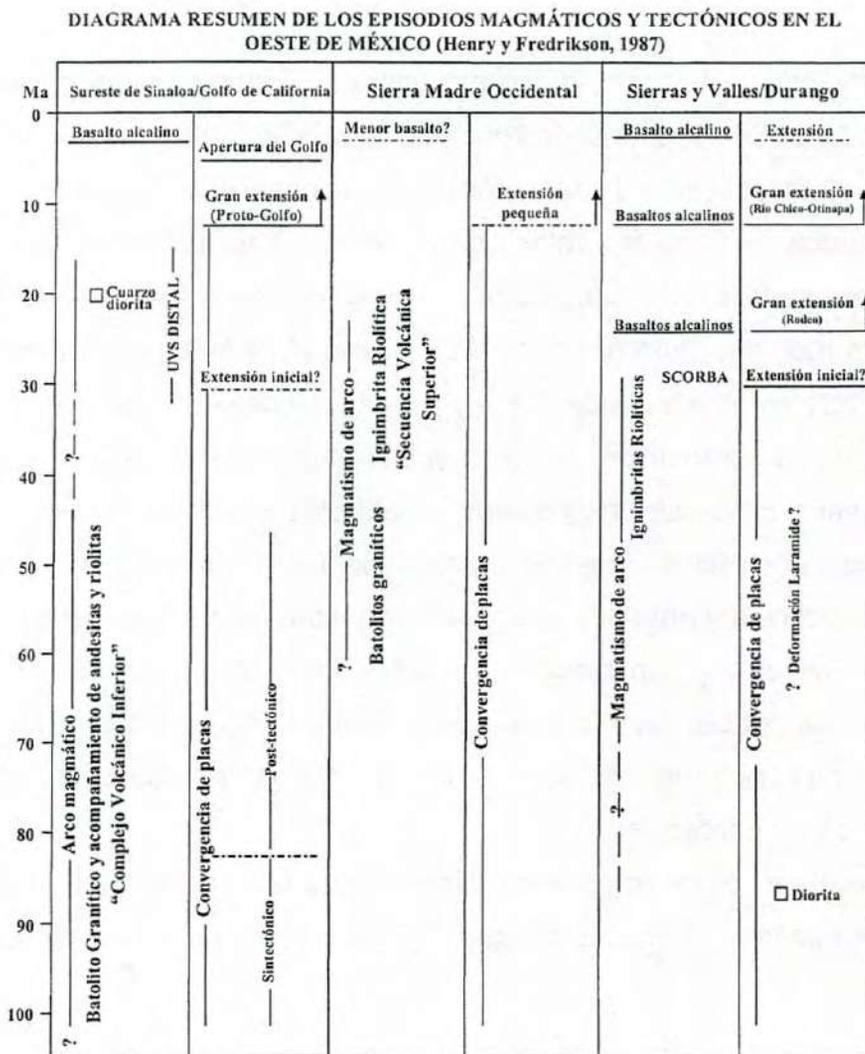
**FIGURA 11**



dentro de un ambiente principalmente lacustre dar inicio a emanaciones de un volcanismo ácido que viene a conformar la Serie Volcánica Superior.

Íntimamente ligado a esto se observa un emplazamiento de cuerpos intrusivos e hipabisales que generan alteración y mineralización tanto en el Complejo Volcánico Inferior y Serie Volcánica Superior.

Después vino la formación de grandes cuencas que son rellenadas por materiales erosionados de las rocas preexistentes; estas cuencas se formaron por una tectónica distensiva que se conoce como Sierras y Valles Paralelos (Zoback y Anderson, 1981).



**FIGURA 13**

## **IV.- YACIMIENTOS MINERALES**

### **IV.1.1.- Introducción**

La carta Cinco de Julio (G13-A88) se localiza en la parte noroeste del Estado de Durango, y forma parte de los Municipios de San Bernardo, Santa María del Oro, Inde y Villa Ocampo. Se ubica aproximadamente a 250 km en línea recta al noroeste de la ciudad de Durango, cercano a los límites del Estado de Chihuahua. Los centros poblacionales más importantes son las cabeceras de los municipios ya mencionados, además de Magistral del Oro, Sauces de Cardona, Cinco de Julio, La Parrita, Los Sauces, Ricardo Flores Magón, Pueblo Nuevo y Providencia.

Los yacimientos principales son de tipo estructura vetiforme con sulfuros de Ag, Zn, Cu, Hg y valores de oro libre. Se tiene también zonas de brecha de forma irregular, con sílice amorfo tipo jaspe, barita y pirita, así como disseminación de Hg (cinabrio).

El sistema estructural para las vetas corresponden a un patrón principal de N30°-60°W y echados fuertes tanto al NE como al SW, con variaciones locales y son del tipo epitermal-hidrotermal. La roca encajonante principal es la unidad de Metagranito-Metadiorita del Jurásico Superior afectada por diques andesíticos y pequeños cuerpos hipabisales en forma de stock y apófisis de composición riolítica; existen también manifestaciones menores de mineralización asociada a esquistos Paleozoicos y cuerpos granítico-diorítico del Terciario.

En la carta resalta una franja de 8 Km. aproximadamente, orientada NW-SE con características que permiten definirla como un pilar tectónico con rocas que varían en edad desde el Paleozoico al Reciente y con sistemas de fallas normales e inversas. Estas fallas han sido aprovechadas por stocks, apófisis, diques y estructuras dómicas riolíticas las cuales han aportado mineralización en forma vetiforme y zonas de alteración con posibilidades de disseminación en los contactos.

La carta se dividió en cinco zonas mineralizadas para una mejor identificación y descripción de los prospectos mineros y zonas de alteración (Figura 14), los que a continuación se describen.



## **IV.1.2.- DISTritos Y ZONAS MINERAS**

### **IV.1.2.1.- Zona mineralizada Sauces de Cardona**

#### **ANTECEDENTES**

La zona minera Sauces de Cardona se localiza en la parte sureste de la carta, colindando con la carta Santa María del Oro (G13-C18). El acceso se lleva a cabo desde la ciudad de Durango por la carretera federal N° 45 por la que se recorren 300 km hasta la comunidad Ejido Revolución, de aquí se toma hacia el Poniente la carretera estatal que comunica los poblados Santa María del Oro y San Bernardo, con un recorrido de 60 km hasta el entronque con Sauces de Cardona de donde parten caminos de terracería en buenas- regulares condiciones la mayor parte del año y que son los accesos para los diferentes prospectos y zonas de alteración. Existe una pista de aterrizaje en el poblado Santa María del Oro, cercano a 7 km del área, cuenta con transportación rural particular y los servicios básicos de energía eléctrica, agua potable, teléfono y alcantarillado.

La zona mineralizada Sauces de Cardona, es la continuación hacia el norte del distrito minero Magistral del Oro, ubicado en la carta Santa María del Oro (G13 C18), considerado como uno de los distritos más antiguos de México, ya que su actividad minera data desde fines del siglo XVIII. La explotación de los yacimientos del área, los realizó Francisco de Ibarra en forma continua, hasta el año de 1810, fecha en que se suspendieron por motivos del movimiento de la guerra de Independencia.

A principios del siglo pasado la empresa Lustre Mining Company reanuda las actividades mineras, enfrentando problemas de metalurgia para la recuperación del oro; la instalación de una planta fundidora para la recuperación del mineral, se pensaba que sería la solución, sin embargo el movimiento revolucionario provocó su cierre definitivo.

Posteriormente la compañía Real del Monte y Pachuca instaló una planta de beneficio, que operó hasta 1940, continuando la compañía Magistral del Oro las actividades hasta 1960 y que por causa de problemas sindicales optaron por abandonarlas. Actualmente el trabajo minero en el área es a pequeña escala, existiendo la explotación y beneficio del oro, por medio de taunas

realizado por gambusinos de la región; sin embargo se ha observado que los trabajos de exploración regional se han incrementado gracias al alza del precio de los metales.



**Fotografía 29.- Trabajos rudimentarios para la extracción de oro por medio de taunas en la población Saucos de Cardona**

### **GENERALIDADES**

En esta zona minera aflora un cuerpo intrusivo de composición granítica con variaciones locales a diorita, una secuencia metavolcanosedimentaria con niveles calcáreos de posible edad Triásico Superior, todo fuertemente deformado y con fallamiento normal e inverso. Estas unidades presentan cobertura de conglomerado y toba riolítica e ignimbrita del Terciario, todas las litologías anteriores están afectadas por diques andesíticos, stocks, apófisis y estructuras dómicas de composición riolíticas las cuales se consideran, son las causantes de la mineralización y alteración observadas (Figura 15).

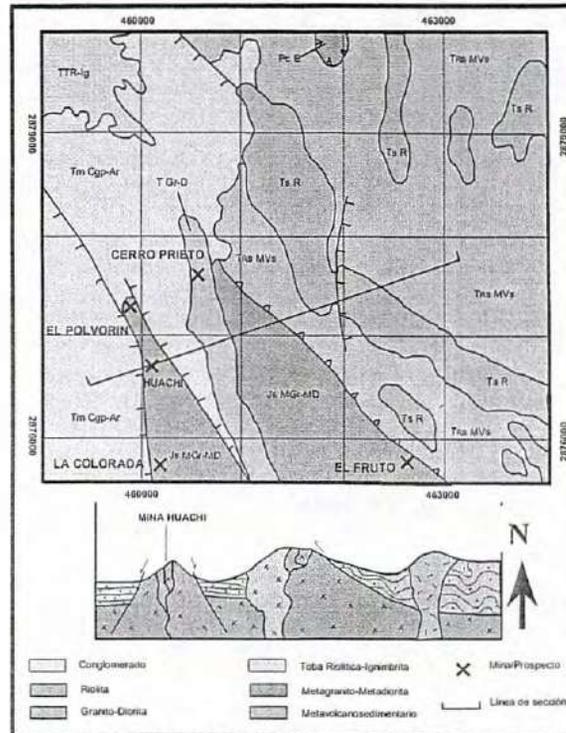


FIGURA 15.- ZONA MINERALIZADA SAUCES DE CARDONA

Las estructuras que han sido aprovechadas económicamente, son de forma tabular (vetas) con espesores de 0.70 a 3.0 metros y bolsadas de hasta 10 metros en longitudes que pasan de 1000 metros, los valores profundizan hasta 300 metros. Las zonas de alteración presentan forma irregular y son más intensas cercano a los contactos con los cuerpos intrusivos y zonas de fallas.

La alteración predominante es silicificación con zonas amplias de jasperoides color rojizo y gris, también existe oxidación de pirita muy fina diseminada y zonas con argilización local principalmente en fallas con fuerte fracturamiento asociado y ocasionalmente se puede ver vetilleo de cuarzo muy local. La mineralización observada en los diferentes prospectos consiste de pirita, calcopirita, barita, cinabrio y oro libre en ganga de cuarzo, calcita, óxidos de fierro y manganeso con minerales secundarios como malaquita, azurita y crisocola.

Por la información disponible se sabe que esta zona minera tiene estructuras mineralizadas que presentan bolsadas de hasta 10 m de espesor y más de 1000 m de extensión, además los mineros antiguos desarrollaron trabajos hasta 300 m de profundidad con valores económicos de oro; en el presente trabajo se detectaron estructuras mineralizadas relativamente vírgenes que no tienen estudios o trabajos de exploración, sumado a lo anterior, se sabe que en las

instalaciones de la planta de beneficio del poblado Magistral del Oro hay aproximadamente 2.5 millones de toneladas de jaleros con leyes de 2g/t de Au, por lo tanto presenta un potencial importante.

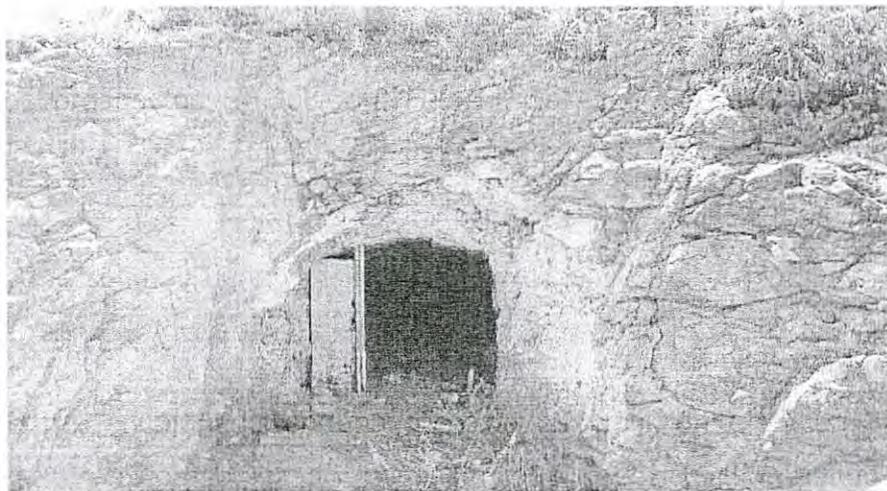
Los yacimientos vetiformes se originaron a partir de procesos hidrotermales asociados con el emplazamiento de diques andesíticos y apófisis-domos riolíticos los cuales generaron las soluciones hidrotermales que rellenaron fracturas y fallas, además formaron zonas de silicificación y oxidación cercano a los contactos con la roca encajonante.

En el área de Sauces de Cardona se colectaron 10 muestras de esquirlas de roca; sobresaliendo los prospectos El Polvorín, Huachi, La Colorada, el Fruto y Cerro Prieto. A continuación se detallan los resultados de dicho muestreo.

## **ZONAS PROSPECTIVAS**

### ***El Polvorín***

Estructura vetiforme, encajonada en una roca de composición granítica, la cual presenta metamorfismo dinámico caracterizado por estructura gnéisica. La actitud de la veta es NW20°SE con 25°NE, tiene un espesor de 0.80 m. La mineralogía de mena es oro y minerales de plata (sulfuros) en una ganga de cuarzo y pirita; la alteración predominante está representada por silicificación y oxidación.



***Fotografía 30.-Obra mina El Polvorín, es una veta de cuarzo y zona de cizalla encajonada en granito de edad Jurásico. Viendo al SE.***

No. MUESTRA	ANCHO (m)	Au (gr/ton)	Ag (gr/ton)	Pb ppm	Zn ppm	Cu ppm
CJ-169	0.80	0.833	2.0	68.0	150.0	561.0

### **Cerro Prieto**

Estructura vetiforme emplazada en una roca de composición riodacítica, tiene una actitud de NW15°SE con 89°NE; las dimensiones visibles son de 100 m de longitud, 1 m de ancho y la profundidad no está definida. La mineralización de mena es oro libre y escasos sulfuros de cobre en una ganga de cuarzo; la silicificación es la alteración predominante y se manifiesta como vetillas de cuarzo en zonas locales, además de un brechamiento incipiente.

No. MUESTRA	ANCHO (m)	Au (gr/ton)	Ag (gr/ton)	As %	Pb %	Zn %	Cu %
CJ-167	1	0.366	2	-	0.004	0.021	0.124
CJ-168	Terrero	0.166	2	-	0.005	0.034	0.261

### **Mina Huachi**

Estructura vetiforme emplazada en una roca intrusiva de composición granítica con deformación; tiene una actitud de NE01°SW con 89 de echado al NW, muestra un espesor de 3 m y la mineralogía de mena está representada por oro libre y sulfuros en una ganga de cuarzo y pirita; la alteración predominante es oxidación y silicificación moderada. Los resultados del muestreo son los siguientes:

No. MUESTRA	ANCHO (m)	Au (gr/ton)	Ag (gr/ton)	Pb %	Zn %	Cu %
CJ-172	1.0	0.399	1	0.009	0.016	0.024
CJ-173	1.0	0.866	1	0.050	0.015	0.020
CJ-174	1.0	0.133	1	0.002	0.018	0.006
CJ-175	Terreros	1.032	N.D	0.004	0.021	0.258

### ***Mina La Colorada***

Estructura vetiforme emplazada en una roca intrusiva de composición granítica con deformación; tiene una actitud de NE01SW con 89° de echado al NW; el espesor visible es de 3 m siendo la mineralogía de mena oro libre y sulfuros en una ganga de cuarzo y pirita. El muestreo realizado dio los siguientes resultados:

No. MUESTRA	ANCHO (m)	Au (gr/ton)	Ag (gr/ton)	Pb %	Zn %	Cu %
CJ-176	1.0	0.046	N.D	0.002	0.006	0.036
CJ-177	Terreros	0.299	N.D	0.002	0.020	0.056

### ***Mina El Fruto***

Estructura vetiforme, emplazada sobre la roca granítica del Jurásico, su actitud es de NW30°SE con 75° de echado hacia el NE tiene un espesor de 0.70 m. La mineralogía de mena es oro libre y sulfuros en una ganga de cuarzo y pirita, las alteraciones hidrotermales presentes son argilización y potásica, siendo la primera mas evidente. El resultado del muestreo es el siguiente:

No. MUESTRA	ANCHO (m)	Au (gr/ton)	Ag (gr/ton)	Pb %	Zn %	Cu %
CJ-180	0.7	0.059	N.D	0.016	0.022	0.004

### ***IV.1.2.2.- Zona mineralizada El Cuarenta***

#### **ANTECEDENTES**

El Cuarenta es una zona mineralizada, que se localiza en la porción central de la carta Cinco de Julio (Figura 16); el acceso a esta área se realiza partiendo de la ciudad de Durango, por la carretera N° 45 por la que se recorren 300 km hasta el Ejido Revolución, de este punto se toma la carretera estatal que comunica con los poblados de Santa Maria del Oro y el poblado de Cinco de Julio, con un recorrido aproximado de 60 km; de este último poblado se toma camino de terracería hacia el norte, pasando por la comunidad de sardinas, aquí existe una desviación al norte por la cual se recorren 20 km para llegar al área.

Actualmente se considera una zona minera abandonada, la historia local de los poblados cercanos indica que se tuvo un auge minero en los años 50s con más de 1000 personas trabajando en gran escala la mineralización de mercurio en obras mineras con desarrollo mayor a 50 m tanto en frentes como en tiros y cruceros, se alcanza a apreciar ruinas de las instalaciones de beneficio y habitacional.

### **GENERALIDADES**

En el área El Cuarenta aflora un intrusivo de composición metagranito-metadiorita del Jurásico Superior, el cual se encuentra cubierto por el Conglomerado Ahuichila, la unidad de toba riolítica con niveles de caliza lacustre y toba-brecha riolítica e ignimbrita del Terciario. Estas unidades han sido afectadas por domos y apófisis riolíticos, así como diques andesíticos los cuales son los responsables de la mineralización y alteración observada (Figura 16).

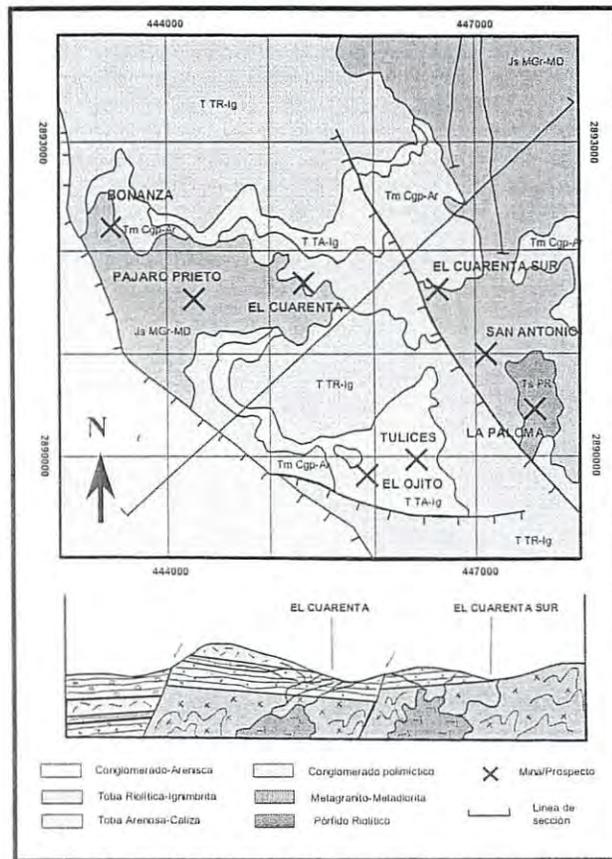


FIGURA 16.- ZONA MINERALIZADA EL CUARENTA

La mineralización se encuentra en forma irregular, diseminada, asociada con fuerte alteración del tipo argilización y oxidación en los contactos del intrusivo Jurásico y niveles de conglomerados con tobas riolíticas. El espesor varía desde 1 m hasta mayor a 20 m con longitud mayor a 500m la profundidad es desconocida, se tiene un desnivel topográfico de al menos 140 m con obras mineras de amplio desarrollo.

La principal mineralización consiste de mercurio (cinabrio) diseminado y como relleno de fracturas acompañado de óxidos de hierro y ocasionalmente cuarzo microcristalino y calcita de color oscuro. Se tiene también zonas de brecha y vetas con cuarzo blanco con pocos sulfuros y desarrollo de sílice amorfo con carbonatos de cobre.

Con las observaciones de campo se alcanza a apreciar que podría tener potencial importante para minería pues es una zona muy amplia sin evidencias de exploración con métodos

modernos, la mineralización de mercurio podría significar la parte superior de un sistema con valores de Au-Ag a profundidad.

Se considera que la mineralización se relaciona con el emplazamiento de los cuerpos dómicos y apófisis riolíticos, así como diques andesíticos de color rojizo los cuales siempre se encuentran en las zonas mineralizadas. Estos cuerpos intrusivos aportaron los fluidos hidrotermales que se emplazaron en fracturas, fallas, zonas de debilidad y principalmente en los contactos entre unidades litológicas.

En la zona mineralizada El Cuarenta se colectaron 28 muestras de esquirlas de roca, tanto en minas, como en prospectos y zonas de alteración.

El detalle de cada una de estas áreas, así como los resultados del muestreo se pueden ver a continuación:

### ***Mina Tulices 1***

Estructura vetiforme emplazada en la roca volcánica de composición riolítica con fuerte silicificación. Tienen una actitud de NE30°SW con 89° de echado al NW. Tiene un espesor de 0.50 m. La mineralogía de mena observada es cinabrio y posible oro en una ganga de cuarzo y óxidos de hierro. La alteración hidrotermal predominante es silicificación.

No. MUESTRA	ANCHO (m)	Au (gr/ton)	Ag (gr/ton)	Hg %	Pb %	Zn %	Cu %
CJ-94	0.50	0.044	N.D	-	-	-	0.002
CJ-95	0.50	0.047	1	-	-	-	0.003

### ***Mina Tulices 2***

Estructura vetiforme emplazada en rocas volcánicas de composición riolítica moderadamente silicificada. Tiene una actitud de NW30°SE con 25°SW; con un espesor de 0.40 m. La mineralogía de mena es cinabrio y posible oro en una ganga de cuarzo y óxidos de hierro, la alteración predominante esta representada por silicificación.

No. MUESTRA	ANCHO (m)	Au (gr/ton)	Ag (gr/ton)	Hg %	Pb %	Zn %	Cu %
CJ-96	0.40	0.045	1	-	-	-	0.002
CJ-97	0.40	0.050	1	-	-	-	0.001

### ***Mina San Antonio***

Zona de brechamiento en una traza de falla la cual tiene una actitud de NW20°SE con 45° hacia el SW, con una longitud de 10 m. y 2 m. de ancho. Se encuentra emplazada en la roca granítica del Jurásico con deformación. La mineralogía de mena es posible oro libre y sulfuros de plata y cobre en una ganga de cuarzo – pirita. La alteración hidrotermal predominante esta representada por oxidación fuerte y silicificación moderada.

No. MUESTRA	ANCHO (m)	Au (gr/ton)	Ag (gr/ton)	Pb %	Zn %	Cu %	As Ppm
CJ-74	2.0	0.366	4	0.030	0.069	0.386	2571

### ***Mina El Cuarenta Sur***

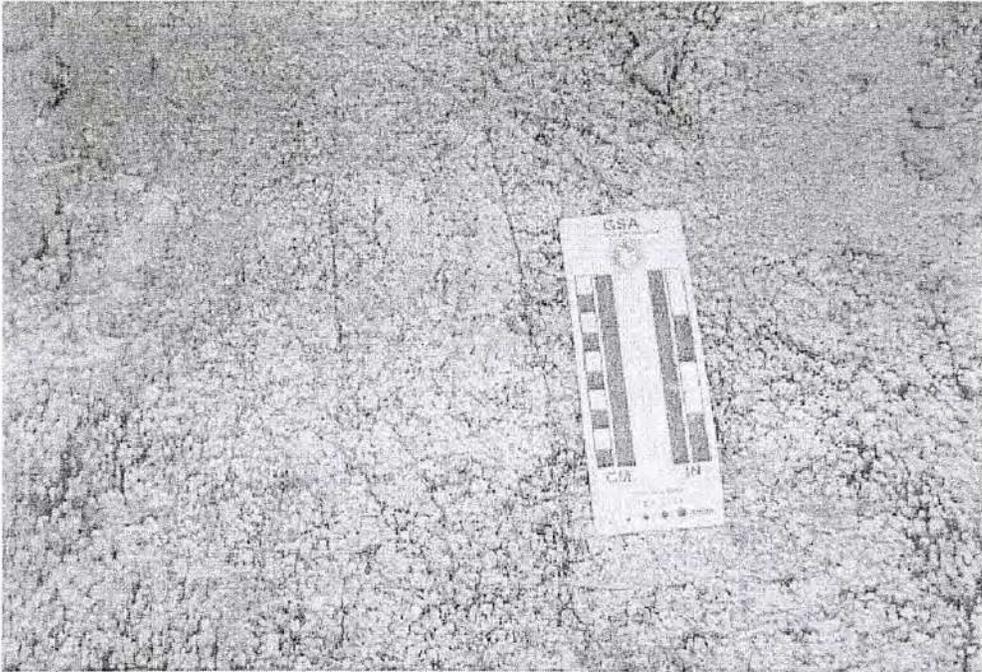
Estructura vetiforme emplazada en una roca sedimentaria calcárea, que se presenta como horizontes dentro del Complejo Volcánico Superior; la veta tiene una actitud de NW30°SE con 55° de echado hacia el SW, con un espesor de 1 m. La mineralogía de mena es mercurio nativo y posible oro en una ganga de cuarzo; la silicificación es la alteración hidrotermal predominante.

No. MUESTRA	ANCHO (m)	Au (gr/ton)	Ag (gr/ton)	As Ppm	Pb %	Zn %	Cu %	Hg %
CJ-71	1 m <sup>2</sup>	0.433	2	2231	0.012	0.043	0.175	-
CJ-72	1 m <sup>2</sup>	1.93	3	1483	0.002	0.010	0.140	-

### ***Mina La Joya***

Zona de brecha emplazada en la roca granítica del Jurásico con deformación; tiene una dirección preferencial de N-S con 40° W. La mineralogía de mena esta representada por sulfuros de cobre, plomo, zinc y posible oro libre en una ganga de cuarzo; la alteración hidrotermal predominante es oxidación con silicificación en forma moderada.

No. MUESTRA	ANCHO (m)	Au (gr/ton)	Ag (gr/ton)	As Ppm	Pb %	Zn %	Cu %
CJ-75	1 m <sup>2</sup>	0.266	8	1571	0.136	0.215	0.947
CJ-76	Terrero	0.866	16	3204	1.010	2.27	1.4



**Fotografía 31.-** Detalle de un afloramiento del metagranito de edad Jurásico Superior, donde se observa un fuerte fracturamiento (stockwork) rellenos de óxidos de fierro. Alrededores de la mina La Joya.

### ***Mina El Ojito***

Zona de brecha, desarrollada en las rocas volcánicas de composición riolítica, muestra una dirección preferencial NE89°SW con 60°SE. Sus dimensiones son de 50 m. de longitud por 2 m. de ancho; la mineralogía de mena es oro libre y sulfuros de cobre, plomo y zinc; la ganga está representada por cuarzo y pirita. La alteración hidrotermal predominante es oxidación con silicificación moderada.

No. MUESTRA	ANCHO (m)	Au (gr/ton)	Ag (gr/ton)	As ppm	Pb ppm	Zn ppm	Cu ppm	Hg ppm
CJ-92	Terrero	N.D	4	1427	33	107	23	881
CJ-93	1	0.133	1	1326	40	90	20	-

### ***Mina Agua Colorada***

Estructura vetiforme encajonada en roca granítica del Jurásico, su actitud es de NE50°SW con 70°SE, con espesor de 0.50 m. La mineralogía de mena es oro libre en una ganga de calcita y manganeso, se observa una fuerte silicificación como alteración hidrotermal.

No. MUESTRA	ANCHO (m)	Au (gr/ton)	Ag (gr/ton)	As ppm	Pb ppm	Zn ppm	Cu ppm	Hg ppm
CJ-40	0.50	0.199	2	4698	190	90	725	

### ***Mina Agua Colorada 2***

Estructura vetiforme encajonada en la roca granítica del Jurásico con deformación, su actitud es de NE55°SW con 80°NW, y espesor de 0.50 m. La mineralogía de mena es posible oro libre en una ganga de cuarzo; la silicificación es la alteración hidrotermal predominante.

No. MUESTRA	ANCHO (m)	Au (gr/ton)	Ag (gr/ton)	As ppm	Pb ppm	Zn ppm	Cu ppm	Hg ppm
CJ-38	0.54	0.135	1	69	10	30	80	-

### ***Mina Pájaro Prieto***

Zona de brecha emplazada en la roca granítica, tiene una dirección preferencial de NE01°SW con 46°NW con dimensiones de 51 m. de largo y 0.80 m. de ancho. La mineralogía de mena es oro, plata y mercurio en una ganga de óxidos de fierro; la alteración hidrotermal predominante esta representada por una fuerte oxidación.

No. MUESTRA	ANCHO (m)	Au (gr/ton)	Ag (gr/ton)	As %	Pb %	Zn %	Cu %
CJ-65	0.80	0.053	1	0.014	0.004	0.009	0.003

### ***Mina Pájaro Prieto 2***

Estructuras vetiformes, encajonada en la roca granítica del Jurásico; presenta un rumbo de NE35°SW y 30°NW, con espesor de 0.6 m. La mineralogía de mena está representada por oro, plata y mercurio. Esta mineralización está asociada a un dique andesítico, la argilización es la alteración hidrotermal predominante.

No. MUESTRA	ANCHO (m)	Au (gr/ton)	Ag (gr/ton)	As Ppm	Pb %	Zn %	Cu %
CJ-62	0.60	N.D	1	0.020	0.006	0.002	0.002
CJ-65	1 m <sup>2</sup>	N.D	5	0.003	0.001	0.003	0.002

### ***Mina El Puerto***

Mineralización diseminada controlada por el contacto entre granito y el Conglomerado Ahuichila. La mineralogía de mena es oro, plata y mercurio en una ganga compuesta por fragmentos de roca; la alteración hidrotermal presente es argilización fuerte con moderada oxidación.



***Fotografía 32.-Detalle de las obras desarrolladas en la mina El Puerto, encajonada en granito del Jurásico.***

No. MUESTRA	Dimensiones (m)	Au (gr/ton)	Ag (gr/ton)	As %	Pb %	Zn %	Cu %	Hg %
CJ-59	1m <sup>2</sup>	0.133	1	0.010	0.006	0.006	0.009	-
CJ-60	1m <sup>2</sup>	N.D	4	0.003	0.002	0.004	0.002	0.002

### ***Mina Parralense***

Estructuras vetiformes en la roca granítica y asociada también a dique andesítico. Tiene una actitud de NE30°SW con 45°SE, tiene un espesor de 2 m. La mineralogía de mena está constituida por oro, plata y mercurio en una ganga de la roca encajonante, la alteración hidrotermal presente es una fuerte oxidación.

No. MUESTRA	Dimensiones (m)	Au (gr/ton)	Ag (gr/ton)	As %	Pb %	Zn %	Cu %	Hg %
CJ-69	1m <sup>2</sup>	0.161	1	0.018	0.006	0.009	0.003	-
CJ-70	1m <sup>2</sup>	N.D	N.D	0.004	0.001	0.001	0.002	0.001

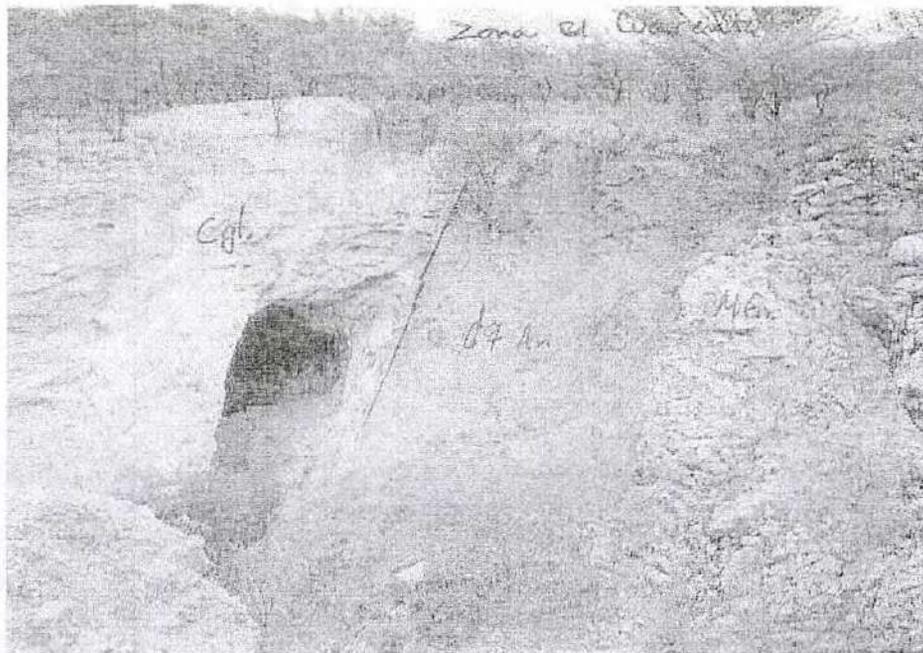
### ***Mina Los Tiros***

Zona brechada localizada en el contacto del granito con riolitas Terciarias, tiene una dirección preferencial NE60°SW con 45°SE y un espesor de 2 m.; la mineralogía de mena está representada por oro, plata y mercurio, con una ganga de fragmentos de la roca encajonante. La alteración predominante es una fuerte oxidación.

No. MUESTRA	ANCHO (m)	Au (gr/ton)	Ag (gr/ton)	As %	Pb %	Zn %	Cu %	Hg %
CJ-68	2m	0.071	1	0.033	0.007	0.004	0.013	-

### ***Mina El Cuarenta***

Zona donde se observa el emplazamiento de un dique andesítico, muy cercano al intrusivo; también existen afloramientos del Conglomerado Ahuchila, se presume una mineralización diseminada en la roca conglomerática. La mineralogía de mena es de oro, plata y mercurio en una ganga compuesta por fragmentos de la roca encajonante, con una fuerte argilización como alteración hidrotermal.



**Fotografía 33.- Obras mineras de amplio desarrollo en el contacto del Conglomerado Ahuichila y el metagranito de edad Jurásico, afectado por diques andesíticos. Viendo al Este.**

No. MUESTRA	ANCHO (m)	Au (gr/ton)	Ag (gr/ton)	As %	Pb %	Zn %	Cu %	Hg %
CJ-66	2m	0.053	1	0.004	0.005	0.004	0.005	-
CJ-67	1m <sup>2</sup>	N.D	1	0.024	0.016	0.033	0.002	-

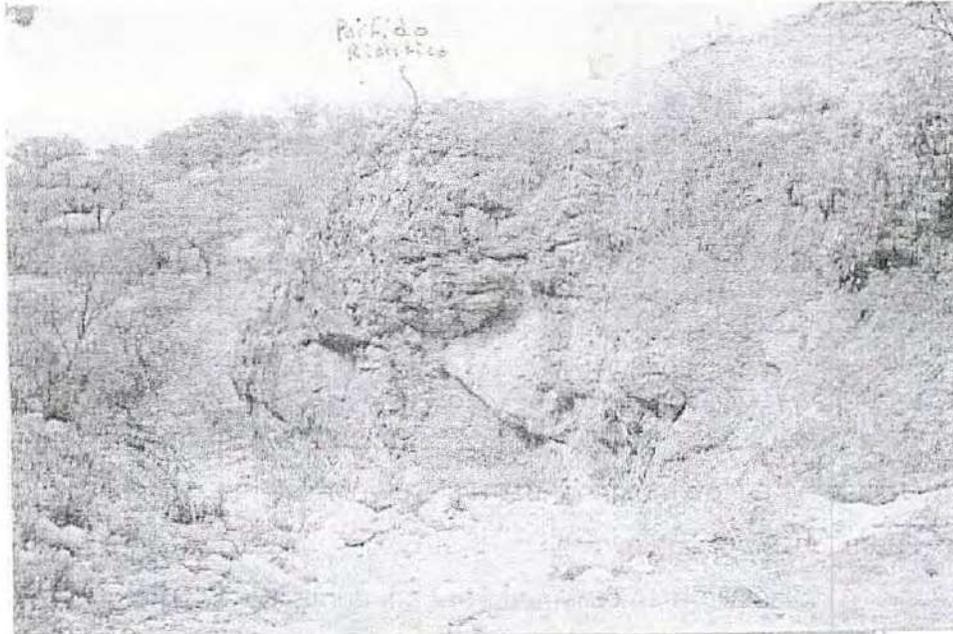
### **Mina La Paloma**

Estructura vetiforme emplazada sobre una roca porfídica de composición riolítica, tiene una actitud de NW30°SE con 44°SW y espesor de 2 m.; su mineralogía de mena es oro, plata y mercurio en una ganga de fragmentos de riolita; la alteración predominante es oxidación con moderada silicificación. Está asociada a una zona de fuerte fracturamiento.

No. MUESTRA	ANCHO (m)	Au (gr/ton)	Ag (gr/ton)	As %	Pb %	Zn %	Cu %	Hg %
CJ-81	2	N.D	1	0.035	0.002	0.049	0.281	-
CJ-82	0.30	0.050	2	0.045	0.002	0.014	0.052	-
CJ-83	Terrero	0.533	1	0.014	0.003	0.004	0.039	-
CJ-84	2	0.038	1	0.011	0.001	0.010	0.009	-

**Mina La Bonanza**

Mineralización diseminada emplazada en la roca conglomerática y está controlada por la estratificación de la roca; su espesor es de 5 m y la mineralogía de mena es oro, plata y mercurio en ganga de cuarzo. La alteración predominante es argilización.



*Fotografía 34.- Afloramiento de pórfido riolítico cerca de la mina San Antonio, donde se observa principalmente oxidación.*

No. MUESTRA	ANCHO (m)	Au (gr/ton)	Ag (gr/ton)	As %	Pb %	Zn %	Cu %	Hg %
CJ-53	1m <sup>2</sup>	N.D	5	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001

#### **IV.1.2.3.- Zona mineralizada Murciélagos**

##### **ANTECEDENTES**

Esta zona mineralizada se localiza en la parte noroeste de la carta, el acceso se lleva a cabo desde la ciudad de Durango por la carretera federal N° 45 hasta el poblado Las Nieves, recorriendo 350 km, de aquí se toma camino de terracería en buenas-regulars condiciones con rumbo a el oeste, pasando por el poblado La Parrita y el rancho La Esperanza, recorriendo 43 km.

La zona mineralizada Murciélagos incluye varias minas y prospectos abandonados, existen referencias de que se hizo explotación en los años 80's a baja escala en obras mineras actualmente inaccesibles. En 1988 el CoReMi efectuó un estudio a semidetalle con muestreo de las diferentes estructuras mineralizadas, concluyendo que es de interés únicamente para minería a pequeña escala.

##### **GENERALIDADES**

En el área de Murciélagos aflora un cuerpo intrusivo con variación desde metagranito a metadiorita de edad Jurásico Superior y paquetes de pizarra de color gris oscuro con metavolcánicas y metacalizas, son afectadas por un stock granítico-granodiorítico del Terciario y diques andesíticos del Terciario, las rocas más antiguas presentan fuerte deformación y tienen cobertura generalizada de tobas y brechas riolíticas (To TR-Ig), hacia el oeste se observa un contacto por falla con conglomerados y areniscas del Neógeno (Figura 17).

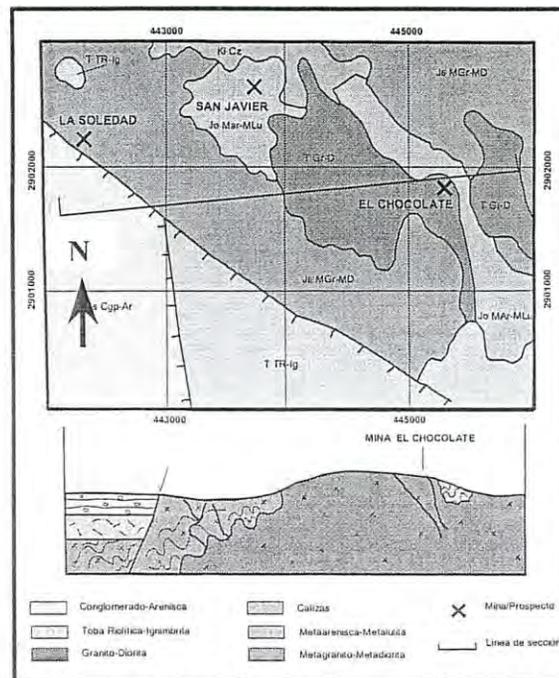


FIGURA 17.- ZONA MINERALIZADA MURCIELAGOS

La mineralización se encuentra en forma de vetas y brechas con 0.5 a 2.0 m de espesor y longitudes de hasta 300 m, se puede apreciar un desnivel topográfico de hasta 120 m con desarrollo de obras mineras. Las zonas de alteración presentan forma irregular y cercano a las estructuras en forma de franjas orientadas según principal fracturamiento NW15-25SE, 60-80° SW y NE40°-65°SW.

La principal mineralización consiste de calcopirita, bornita, galena y pirita, con óxidos y carbonatos de cobre y fierro en ganga de calcita, cuarzo y barita, la alteración principal es oxidación y argilización con silificación local y pocas vetillas de cuarzo, en ocasiones hay franjas con deformación que da lugar a zonas apizarradas con oxidación y desarrollo de cuarzo metamórfico las que son zonas propicias de mineralizarse.

A partir de lo observado en el campo y la información disponible de trabajos anteriores, se puede ver que el potencial es bajo en las estructuras, pues son estrechas y discontinuas.

Estos yacimientos minerales se formaron debido al emplazamiento de stocks de composición granítico- granodiorítico del Terciario y diques andesíticos, los cuales aportaron las soluciones

hidrotermales que rellenaron fracturas y fallas; además de alterar los contactos entre las diferentes unidades litológicas y zonas de deformación.

En el área de Murciélagos se colectaron 9 muestras obtenidas en 7 minas abandonadas y prospectos.

A continuación se detalla cada una de las áreas con sus correspondientes resultados:

## **ZONAS PROSPECTIVAS**

### ***Mina El Chocolate***

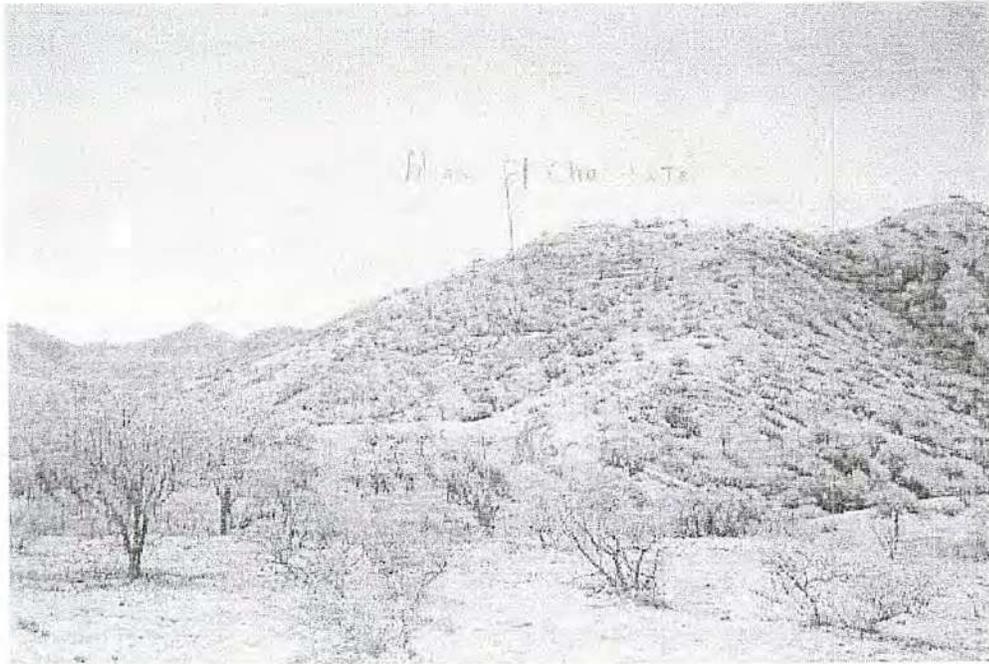
Estructura vetiforme encajonada en la roca granítica Terciaria, su actitud es de NW20°SE con 70° NE; tiene unas dimensiones de 500 m de largo y espesores de 1 m. La mineralogía de mena está representada por oro libre y minerales de plata en una ganga de cuarzo y pirita; la silicificación es la alteración predominantemente.

No. MUESTRA	ANCHO (m)	Au ppm	Ag ppm	As ppm	Pb %	Zn %	Cu %
CJ-08	1	0.168	260	209	13.1	8.9	0.111

### ***Mina La Negra***

Zona de brecha, que se desarrolla sobre una roca intrusiva de composición diorítica Terciaria. Tiene una orientación preferencial NW40°SE, 60°NE, con dimensiones de 150 m de longitud con 2 m de ancho; la mineralogía de mena podría ser oro, plata y cobre en ganga de calcita. La alteración predominante es una fuerte oxidación.

No. MUESTRA	ANCHO (m)	Au (gr/ton)	Ag (gr/ton)	As %	Pb %	Zn %	Cu %	Hg %
CJ-24	2	0.533	5	0.881	0.027	0.064	0.961	-



**Fotografía 35.-** Se observa las obras de la mina El Chocolate, encajonada en intrusivo granítico del Terciario.

#### ***Mina La Blanca***

Estructura vetiforme, encajonada en la roca intrusiva de composición diorítica del Oligoceno. Presenta un rumbo de NW35°SE con 60°NE, con un espesor de 2 m y la mineralogía de menas de oro, plata y cobre en una ganga de calcita.

No. MUESTRA	ANCHO (m)	Au (gr/ton)	Ag (gr/ton)	As ppm	Pb %	Zn %	Cu %	Hg %
CJ-23	2	0.166	2	44	0.008	0.003	0.031	-

#### ***Mina La Soledad***

Estructura vetiforme, emplazada en las rocas sedimentarias carbonatadas (caliza), con una actitud de N-S, 84°SE y un espesor de 0.30 m y una longitud de 100 m.

La mineralización de mena está representada por oro, plata y cobre, en una ganga de calcita y cuarzo.

No. MUESTRA	ANCHO (m)	Au ppm	Ag ppm	As ppm	Pb %	Zn %	Cu %	Hg ppm
CJ-01	0.30	N.D	5	17	0.001	0.006	0.004	2

### ***Mina La Karlita***

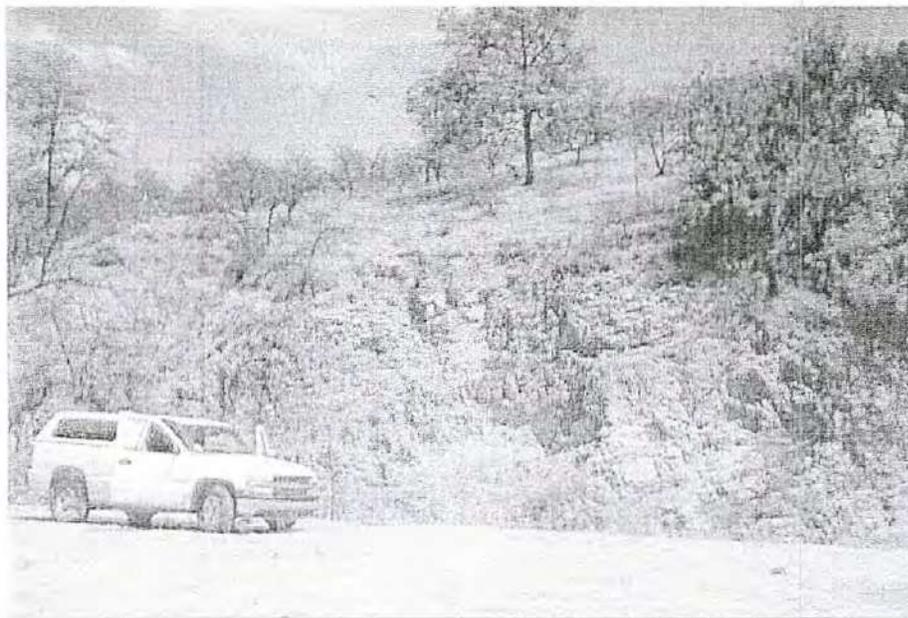
Zona de brecha, desarrollada sobre una roca hipabisal de composición riolítica, con dirección preferente de NW55°SE con 85°SW, presenta sílice cristalino y amorfo con óxidos de fierro. El espesor es de 1 m y la mineralización de mena es oro, plata y cobre en una ganga de cuarzo.

No. MUESTRA	ANCHO (m)	Au ppm	Ag ppm	As ppm	Pb %	Zn %	Cu %	Hg ppm
CJ-28	1	0.053	144	278	0.827	0.017	0.017	-

### ***Mina San Javier***

Estructura vetiforme, emplazada en rocas metasedimentarias del Cretácico Inferior; con una actitud de NW89°SE con 66°NE, el espesor es de 1.5 m. la posible mineralogía de mena es oro, plata y cobre en una ganga de cuarzo y óxidos de fierro.

No. MUESTRA	ANCHO (m)	Au (gr/ton)	Ag (gr/ton)	As ppm	Pb %	Zn %	Cu %	Hg %
CJ-02	1.5	0.061	3	968	0.014	0.044	0.011	-



**Fotografía 36.- Afloramiento de metagranito del Jurásico (Js MGr-MD) donde se observa una alteración del tipo oxidación y se tiene un fuerte fracturamiento. Localidad arroyo La Campana.**

***Mina San Bernardino***

Estructura vetiforme, emplazada en contacto con rocas metamorizadas de composición diorítica y volcánicas riolíticas. Su rumbo es de NE05°SW con 43°NW y aproximadamente 150 m de longitud, 2 m de ancho y 100 m de profundidad. La mineralogía de mena posible es oro, plata y cobre en ganga de calcita y roca encajonante.

No. MUESTRA	ANCHO (m)	Au (gr/ton)	Ag (gr/ton)	As ppm	Pb ppm	Zn ppm	Cu ppm	Hg ppm
CJ-19	1	2.1	7.0	6,682.0	-	27.0	2,753.0	0.1
CJ-20	1	0.750	-	22,190.0	112.0	721.0	7,277.0	3.4
CJ-21	1.5	0.983	-	38,510.0	1,166.0	905.0	6,703.0	7.9

#### **IV.1.2.4.- Zona mineralizada La Verdosa**

##### **ANTECEDENTES**

La zona mineralizada La Verdosa, se ubica en la porción central sureste de la carta Cinco de Julio; el acceso se lleva a cabo partiendo de Santa María del Oro, recorriendo aproximadamente 30 km para llegar al área pasando por el poblado Cinco de Julio, de aquí se toma a un camino de terracería al noreste (Figura 14).

Esta zona mineralizada en la actualidad se encuentra inactiva; sin embargo, en décadas pasadas las actividades mineras se realizaron a pequeña–mediana escala, desarrollando trabajos subterráneos sobre estructuras mineralizadas, estos trabajos consisten de tiros, frentes y contrapozos que servían para la extracción de mineral.

##### **GENERALIDADES**

En el área los afloramientos predominantes pertenecen a una roca metamórfica con fuerte esquistosidad, cuya foliación tiene una orientación preferencial NW-SE (Figura 18); estos son afectados por domos riolíticos que generan los fluidos hidrotermales, que produjeron estructuras vetiformes mineralizadas.

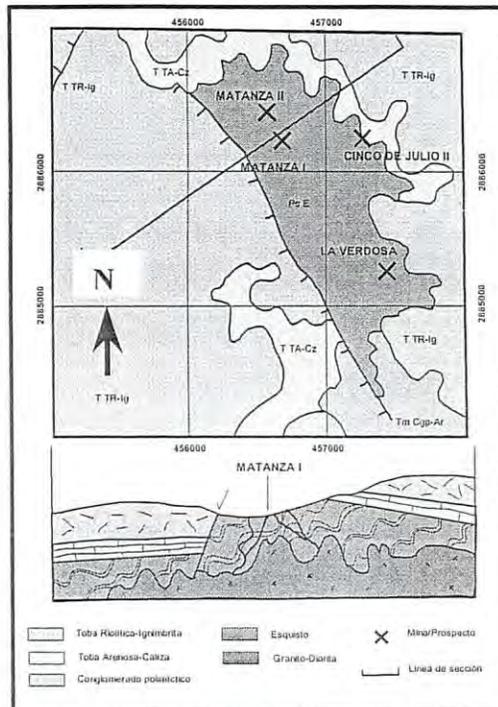


FIGURA 18.- ZONA MINERALIZADA LA VERDOSA

Las concentraciones de mineral económico muestran una forma tabular (vetas) con espesores de 0.5 a 2.5 m y longitud de hasta 150 m. Las zonas de alteración son irregulares haciéndose más intensa cercana a las vetas.

La mineralogía que se puede observar en los diferentes prospectos son minerales secundarios de cobre, fluorita, además de oro libre y minerales de mercurio.

La alteración predominante está representada por una fuerte oxidación, estos óxidos se observan en fracturas y diseminado, también ocasionalmente se observan óxidos de manganeso.

No se tiene un potencial de reservas definido para la zona, pero con las observaciones y dependiendo de los resultados del muestreo, podría ser que el potencial de exploración fuera atractivo.

Las estructuras vetiformes se originaron a partir de procesos hidrotermales, asociados con el emplazamiento de los domos riolíticos y posiblemente al emplazamiento de diques andesíticos;

estas soluciones hidrotermales formaron depósitos de relleno de fisuras y crearon zonas de alteración caracterizadas por oxidación y silicificación cercanas a las estructuras sobre la roca encajonante.

En el área La Verdosa se colectaron 5 muestras en un total de 5 prospectos. La referencia específica de cada una de ellas así como sus resultados se muestran a continuación.

## **ZONAS PROSPECTIVAS**

### ***Mina La Matanza I***

Estructura vetiforme emplazada sobre la unidad de esquistos Paleozoicos, tiene una actitud de NW85°SE con 38°NE, el espesor es de 2.5 m y una longitud visible de 100 m. La mineralogía de mena está representada por carbonatos de cobre, oro y mercurio, en una ganga de calcita se observan óxidos de hierro y manganeso.

No. MUESTRA	ANCHO (m)	Au (gr/ton)	Ag (gr/ton)	As ppm	Pb ppm	Zn ppm	Cu ppm	Hg ppm
CJ-114	2.5	0.800	7.0	353.0	60.0	115.0	11,010.0	7.5

### ***Mina La Matanza II***

Estructura vetiforme emplazada sobre la unidad de esquistos Paleozoicos, su actitud es de NW85°SE con 35°NE; tiene un espesor de 2.5 m y una longitud de 100 m La mineralogía de mena son carbonatos de cobre, oro y mercurio en una ganga de calcita.

No. MUESTRA	ANCHO (m)	Au (gr/ton)	Ag (gr/ton)	As ppm	Pb Ppm	Zn ppm	Cu ppm	Hg ppm
CJ-113	2.5	0.283	2.0	578.0	9.0	31.0	1,893.0	1.7

### ***Mina Cinco de Julio***

Estructura vetiforme emplazada sobre la unidad de esquistos Paleozoicos, su actitud es de NW60°SE con 82°NE; con un espesor de 1.0 m y una longitud de 100 m. La mineralogía de mena está representada por oro y mercurio en una ganga de cuarzo – calcita.

No. MUESTRA	ANCHO (m)	Au (gr/ton)	Ag (gr/ton)	As ppm	Pb ppm	Zn ppm	Cu ppm	Hg ppm
CJ-116	1	0.666	4.0	1,797.0	252.0	222.0	1,232.0	0.1

### ***Mina Cinco de Julio II***

Estructura vetiforme encajonada por esquistos del Paleozoico, con un espesor de 1.5 m con una longitud de 150 m. La mineralogía de mena es cobre, oro y mercurio en una ganga de cuarzo – calcita.

No. MUESTRA	ANCHO (m)	Au (gr/ton)	Ag (gr/ton)	As ppm	Pb ppm	Zn ppm	Cu ppm	Hg ppm
CJ-117	1.5	0.600	4.0	647.0	17.0	28.0	835.0	0.1

### ***Mina La Verdosa***

Estructura vetiforme emplazada en la unidad de esquistos Paleozoicos. Su rumbo es NW70°SE, 65°NE, con un espesor de 0.5 m y 50 m de longitud visible; los minerales de mena son básicamente carbonatos de cobre con posible oro y mercurio.

No. MUESTRA	ANCHO (m)	Au (gr/ton)	Ag (gr/ton)	As ppm	Pb ppm	Zn ppm	Cu ppm	Hg ppm
CJ-124	0.5	0.600	39.0	7,075.0	18,126.0	77,520.0	4,023.0	16.2

### ***IV.1.2.5.- Zona mineralizada La Paz***

#### **ANTECEDENTES**

Esta zona mineralizada se ubica en la parte central de la carta, el acceso se lleva a cabo desde la ciudad de Durango por la carretera federal N° 45 por la que se recorren 300 km hasta el Ejido Revolución, de este punto se toma la carretera estatal que comunica con los poblados Santa María del Oro y San Bernardo, con un recorrido de 70 km del poblado 5 de Julio se toma desviación al noreste por camino de terracería recorriendo 10 km (Figura 14).

Al igual que la zona mineralizada El Cuarenta, actualmente se encuentra abandonado con desarrollo de obras mineras e instalaciones de beneficio en ruinas, de igual manera la historia local indica que se hizo explotación por mercurio en los años 50s.

## GENERALIDADES

En la parte donde se encontraron obras mineras, aflora conglomerado polimíctico con niveles arenosos de color rojizo, conocido regionalmente como Conglomerado Ahuichila, así como tobas riolíticas con niveles de caliza lacustre; hacia el este de esta zona afloran esquistos del Paleozoico(Figura 19), todas estas rocas han sido afectadas por estructuras en forma de domos y apófisis riolíticas, así como diques andesíticos, los cuales se considera son los causantes de la mineralización.

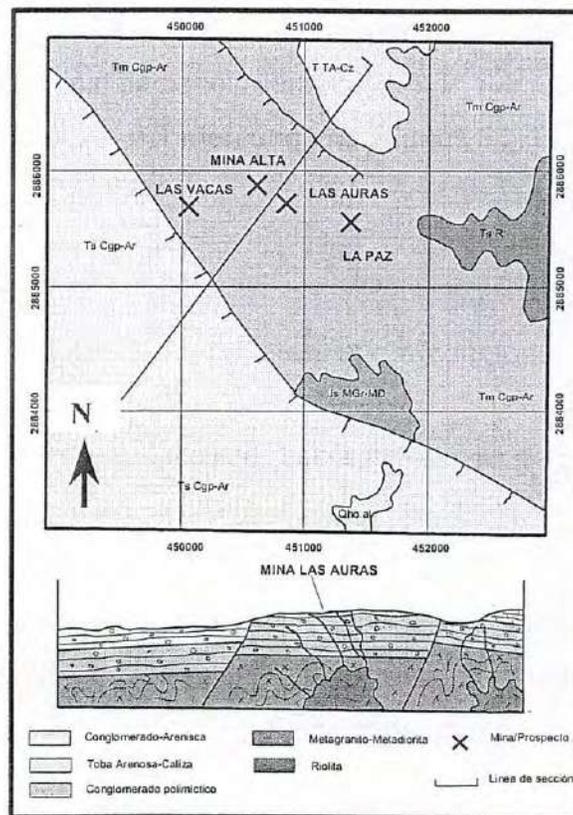


FIGURA 19.- ZONA MINERALIZADA LA PAZ

Una parte de la mineralización se encuentra en forma de diseminación en los niveles arenosos del conglomerado acompañado de fuerte argilización y oxidación de forma irregular y en parte tabular siguiendo un control estratigráfico combinado con zona de falla subverticales. En la unidad de esquistos se presenta en forma de estructuras tabulares (vetas) con espesor de 0.5 a 3m y extensión de hasta 300m.

En los esquistos la principal mineralización se relaciona con pirita, calcopirita y bornita con carbonatos de cobre y óxidos de fierro en una ganga de calcita y cuarzo con ocasional fluorita. En el conglomerado se encontró cinabrio diseminado asociado con alteración fuerte y poco cuarzo microcristalino; en las zonas de alteración se observa hematita-goethita asociada con alteración de sulfuros diseminados.

Las estructuras tabulares tienen potencial unicamente para pequeños mineros, pues son estrechas y de poca extensión, para las zonas de alteración no se han recibido aun los resultados del muestreo efectuado para definir su potencial, por el tamaño de estas zonas podría ser importante para depósitos diseminados de baja ley y gran tonelaje.

La mineralización es producto del emplazamiento de apófisis-domos riolíticos y diques andesíticos, los cuales aportaron las soluciones mineralizantes que se alojaron en fracturas, fallas y contactos litológicos.

En el área La Paz se colectaron 4 muestras en minas abandonadas; a continuación se detallan cada una de ellas:

## **ZONAS PROSPECTIVAS**

### ***Mina Alta***

Zona mineralizada desarrollada en el Conglomerado Ahuichila caracterizándose por presentar una fuerte oxidación y mineralización diseminada; la mineralogía de mena es mercurio y posible oro en una ganga de la misma roca encajonante.

No. MUESTRA	ANCHO (m)	Au (gr/ton)	Ag (gr/ton)	As ppm	Pb ppm	Zn ppm	Cu ppm	Hg ppm
CJ-102	1m <sup>2</sup>	-	-	131.0	13.0	49.0	8.0	43.4

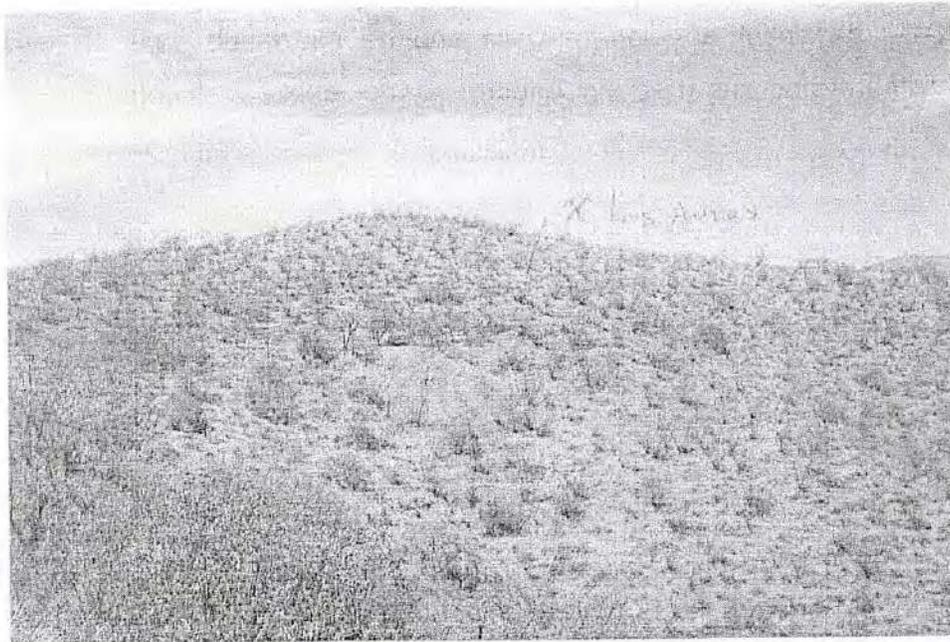
### ***Mina Las Auras***

Zona mineralizada que se desarrolla en una convergencia de fallas en el Conglomerado Ahuichila, se observa una fuerte oxidación. La mineralogía de mena podría estar representada por mercurio y posible oro en ganga de la misma roca encajonante.

No. MUESTRA	ANCHO (m)	Au (gr/ton)	Ag (gr/ton)	As ppm	Pb ppm	Zn ppm	Cu ppm	Hg ppm
CJ-103	1m <sup>2</sup>	-	-	112.0	6.0	66.0	15.0	194.4

### ***Mina La Paz***

Zona mineralizada en niveles arenosos con vetillas de calcita, desarrollada en la unidad del Conglomerado Ahuichila, tiene una longitud de 200 m. por 50 m. ancho y 20 m. de profundidad; se observa una fuerte argilización con oxidación moderada. La mineralogía de mena son cinabrio y posible oro en una ganga de la misma roca encajonante.



***Fotografía 37.- Afloramiento de Conglomerado Ahuichila, donde se encajona la mineralización del prospecto Las Auras. Aquí se tiene una mineralización diseminada de mercurio en el conglomerado.***

No. MUESTRA	ANCHO (m)	Au (gr/ton)	Ag (gr/ton)	As ppm	Pb ppm	Zn ppm	Cu ppm	Hg ppm
CJ-105	1m <sup>2</sup>	-	-	69.0	19.0	61.0	4.0	296.3

### **Mina Las Vacas**

Zona mineralizada de forma irregular que se desarrolla en el Conglomerado Ahuichila, presentando un fuerte fracturamiento relleno de óxidos de fierro; tiene un espesor de 1.0 m y una longitud de 50 m. La mineralogía de mena es cinabrio y posible oro en una ganga de fragmentos de la roca encajonante.

No. MUESTRA	ANCHO (m)	Au (gr/ton)	Ag (gr/ton)	As ppm	Pb ppm	Zn ppm	Cu ppm	Hg ppm
CJ-101	1	-	-	475.0	13.0	78.0	19.0	96.6

## **V.- MODELO DE YACIMIENTOS**

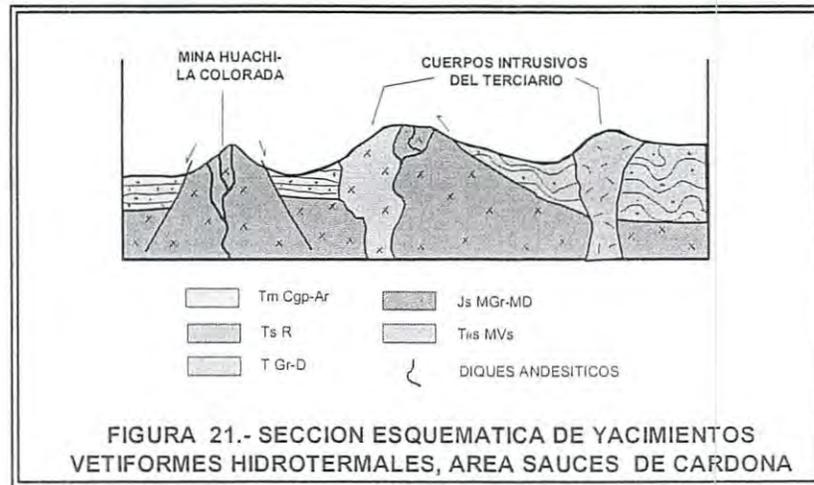
En la carta Cinco de Julio (G13-A88) se distinguen dos tipos de yacimientos minerales. El primero corresponde con estructuras vetiformes hidrotermales y stockwork asociado al emplazamiento de diques andesíticos originados por las intrusiones de cuerpos subvolcánicos, dando la formación de yacimientos de Au-Ag-Cu principalmente (Figura 20).

El segundo tipo corresponde con yacimientos diseminados en rocas sedimentarias conglomeráticas del Terciario e intrusivos del Jurásico, la asociación mineral de este tipo es principalmente de mercurio y en menor cantidad de oro y plata; estos cuerpos diseminados fueron originados por el emplazamiento de cuerpo subvolcánicos y diques de composición andesítica (Figura 20).

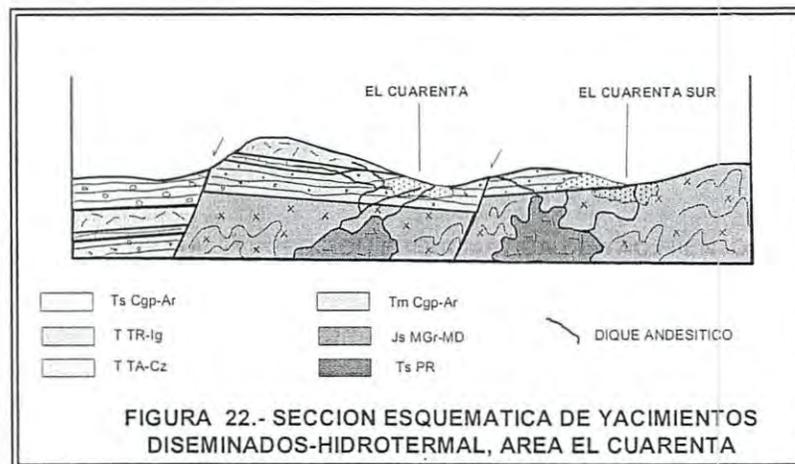
Los yacimientos del tipo vetiforme se observan principalmente en la zona mineralizada Saucos de Cardona, Murciélagos y La Verdosa, donde las vetas se emplazan en esquistos del Paleozoico, cuerpos intrusivos de edad Jurásico y metasedimentos del Cretácico Inferior, acompañados por diques andesíticos hasta de 1.5 m de espesor, cuerpos intrusivos graníticos-dioríticos de edad Terciario y cuerpos dómicos riolíticos causantes de la mineralización y alteración del tipo oxidación y silicificación de la roca encajonante (Figura 21).



FIGURA 20.- MODELO ESQUEMATICO DE YACIMIENTOS VETIFORMES Y DISEMINADOS (MODIFICADO DE Lee Moreno, 1988)



Los yacimientos del tipo diseminado existen en la zona mineralizada El Cuarenta y La Paz, la mineralización en estas zonas está emplazada principalmente en rocas pertenecientes al Conglomerado Ahuichila e intrusivo del Jurásico. Asociado a estas rocas se tienen domos riolíticos y diques andesíticos que pudieron ser los generadores de la mineralización diseminada de mercurio.



En la zona mineralizada El Cuarenta también se observan cuerpos vetiformes asociados a fracturas y contactos entre metagranito del Jurásico y un cuerpo porfídico de composición riolítica (Figura 22).

## **VI.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Con los trabajos realizados en el área de la carta Cinco de Julio (G13- A88) se concluye lo siguiente.

- 1.- Existen 5 zonas que presentan manifestación mineral.
- 2.- La principal roca encajonante para la mineralización de mercurio disseminado en las zonas mineralizadas El Cuarenta y La Paz, corresponde con el Conglomerado Ahuichila de edad Terciario en contacto con el intrusivo del Jurásico, la mineralización de mercurio podría ser la parte superior de un sistema con oro.
- 3.- En la zona mineralizada Sauces de Cardona, la mineralización está encajonada en el metagranito del Jurásico Superior y al parecer son los diques andesíticos los causantes de la mineralización.
- 4.- La unidad de metaareniscas-metalutitas del área de Potrerillos se cartografiaba como de edad Triásico, en este trabajo se localizaron fósiles del tipo amonites que arrojan una edad Oxfordiano tardío.
- 5.- Con el levantamiento de datos estructurales (foliación) se observó que la deformación del Jurásico tienen un rumbo NW-SE y vergencia al NE.
- 6.- Se cartografió la unidad La Paz (T TA-Cz) que se encuentra entre las unidades Serie Volcánica Superior (T TR-Ig) y el Conglomerado Ahuichila (Tm Cgp-Ar).
- 7.- Se cartografiaron domos riolíticos (T R) que se emplazan a lo largo de fallas regionales y se observó que pueden ser importantes para la formación de yacimientos minerales.

8.- Se cartografió un pórfido riolítico (T PR) en la zona El Cuarenta, el cual presenta una fuerte oxidación y silicificación al contacto con las rocas encajonantes; podrían ser blancos de exploración minera.

Se recomienda lo siguiente:

- 1.- Hacer trabajo mas detallado para la localización de fósiles en la unidad Cerro Prieto (Ki(?) Cz) para definir su edad con mayor exactitud.
- 2.- Realizar una datación en los cuerpos intrusivos de Sauces de Cardona para definir su edad.
- 3.- Definir el contacto entre las unidades Rancho Viejo (TRs MVs) y Potrerillos (Jo MAr-MLu).

## **BIBLIOGRAFIA**

Bellon, H., 2000, Reporte interno para Geocartografía SA de CV, Universidad de Brest, Francia.

Clark, K.F., 1977, Posición estratigráfica y distribución en tiempos y espacio de la mineralización en la provincia de la Sierra Madre Occidental, Durango, México.

Coney, P. J., 1976. Plate tectonics and Laramide Orogeny: New Mexico Geological Society, Spec. Publ. 6, p.5-10

Escalona, J., 1986, Visita de reconocimiento al fundo minero Tres Hermanos localizado en la falda sur del cerro Tres Hermanos en terrenos del rancho El Tintero, municipio de San Bernardo, estado de Durango, CoReMi.

Escalona, J., 1988, estudio geológico minero de la asignación Murciélagos localizada en el municipio de San Bernardo, estado de Durango, CoReMi.

CoReMi, 1993, Monografía geológica-minera del estado de Durango.

COREMI, 2000, Carta geológica-minera Hidalgo del Parral (G13-5), escala 1:250,000

Damon, P. E., 1975, Dating of Mesozoic-Cenozoic metallogenetic provinces within the Republic of México (1965) laboratory of isotope geochemistry departament of geosciences, U. of Arizona and the Consejo de Recursos no Renovables, Archivo C:R:N:N:R.; Dirección General.

Eguiluz de Antuñano, S. 1989, La cabalgadura de San Felipe, en los límites de los estados de Durango y Chihuahua. UNAM.

INEGI, 1972, Carta geológica Cinco de Julio (G13-A88), escala 1:50,000

INEGI, 1992, Carta geológica Hidalgo del Parral (G13-5), escala 1:250,000

Lee, M. J.L., 1988, Yacimientos epitermales de oro, seminario interno del Consejo de Recursos Minerales, Chihuahua, México.

Lemish J., 1955, The geology of the Topia mining district, Topia, Durango, Mexico, unpub. ph.D. Dissert, University of Michigan, 205 p.

López, R. E., 1980, Provincias geológicas de México: Geología de México, vol. 2, 106 p.

McDowell, F.W. and Clabaugh, S.E., 1979, The igneous history of the Sierra Madre Occidental and its relation to the tectonic evolution of western México; Universidad Nacional Autonoma de México, Geología Revista, v. 5, no. 2, p. 185-206.

McDowell, F. W., Kaizer, R.P., 1977, Timing of mid-Tertiary volcanism in the Sierra Madre Occidental between Durango city and Mazatlan, Mexico. Bull. Geol. Soc. of América. v.88, p.147

Raisz, E. 1964, Landforms of México. Morphological Map Prepared for the Geography Branch of the Office of Naval Research. Cambridge Mass., USA, escala aprox. 1:3 000 000.

Sedlock, R.L. Ortega-Gutierrez, F. and Speed, R.C., 1993, Tectonostratigraphic terranes and tectonic evolution of México: Geological Society of America, Special Paper 278, 153 p.

Zoback M. L., Anderson R.E., Thompson G.A (1981) Cenozoic evolution of the state of stress and style of tectonism of the Basin and Range province of the western United State. Phil. Trans. R. Soc. Lond. Ser. A., v. 300, p. 407-434.