

251  
9



**Universidad Nacional Autónoma de México**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

Geología y Prospección Minera en  
el Distrito de San José de  
Gracia, Sinaloa

**T E S I S**

Que para obtener el Título de:  
**INGENIERO GEOLOGO**

**P r e s e n t a n:**

*José Salvador Esquivel Victoria*

*Jesús Armando Zaragoza Balderas*



**TESIS CON  
VALOR DE ORIGEN**

México, D. F.

1989



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## Resumen

### I.- Generalidades

- I.1.- Introducción.
- I.2.- Objetivos del estudio.
- I.3.- Trabajos previos.
- I.4.- Método de trabajo.
- I.5.- Localización y vías de acceso.
- I.6.- Clima y vegetación.
- I.7.- Cultura y economía.
- I.8.- Breve historia del distrito.

### II.- Fisiografía.

- II.1.- Geomorfología.
- II.2.- Hidrografía.

### III.- Geología.

- III.1.- Estratigrafía.
- III.2.- Unidad Sedimentaria ( Jks ).
  - III.2.1.- Generalidades.
  - III.2.2.- Afloramientos.
  - III.2.3.- Características Litológicas Macroscópicas.
  - III.2.4.- Características Litológicas Microscópicas y Relaciones Texturales.
  - III.2.5.- Contactos.
  - III.2.6.- Origen.
- III.3.- Unidad Volcánica Intermedia.
  - III.3.1.- Miembro Volcánico Intermedio Uno ( NVI-1 )
    - III.3.1.1.- Generalidades.
    - III.3.1.2.- Afloramientos.
    - III.3.1.3.- Características Litológicas Macroscópicas.
    - III.3.1.4.- Características Litológicas Microscópicas y Relaciones Texturales.
    - III.3.1.5.- Contactos.
    - III.3.1.6.- Origen.
  - III.3.2.- Miembro Volcánico Intermedio Dos ( NVI-2 ).
    - III.3.2.1.- Generalidades.
    - III.3.2.2.- Afloramientos.
    - III.3.2.3.- Características Litológicas Macroscópicas.
    - III.3.2.4.- Características Litológicas Microscópicas y Relaciones Texturales.
    - III.3.2.5.- Contactos.

III.3.2.6.- Origen.

III.3.3.- Miembro Volcánico Intermedio Tres ( MVI-3 ).

III.3.3.1.- Generalidades.

III.3.3.2.- Afloramientos.

III.3.3.3.- Características Litológicas Macroscópicas

III.3.3.4.- Características Litológicas Microscópicas y  
Relaciones Texturales.

III.3.3.5.- Contactos.

III.3.3.6.- Origen.

III.3.4.- Miembro Volcánico Intermedio Cuatro ( MVI-4 ).

III.3.4.1.- Generalidades.

III.3.4.2.- Afloramientos.

III.3.4.3.- Características Litológicas Macroscópicas.

III.3.4.4.- Características Litológicas Microscópicas y  
Relaciones Texturales.

III.3.4.5.- Contactos.

III.3.4.6.- Origen.

III.3.5.- Miembro Volcánico Intermedio Cinco ( MVI-5 ).

III.3.5.1.- Generalidades.

III.3.5.2.- Afloramientos.

III.3.5.3.- Características Litológicas Macroscópicas.

III.3.5.4.- Características Litológicas Microscópicas y  
Relaciones Texturales.

III.3.5.5.- Contactos.

III.3.5.6.- Origen.

III.3.6.- Miembro Volcánico Intermedio Seis ( MVI-6 ).

III.3.6.1.- Generalidades.

III.3.6.2.- Afloramientos.

III.3.6.3.- Características Litológicas Macroscópicas.

III.3.6.4.- Características Litológicas Microscópicas y  
Relaciones Texturales.

III.3.6.5.- Contactos.

III.3.6.6.- Origen.

III.4.- Unidad Volcánica Ácida ( UVA ).

III.4.1.- Generalidades.

III.4.2.- Afloramientos.

III.4.3.- Características Litológicas Macroscópicas.

III.4.4.- Características Litológicas Microscópicas y

Relaciones Texturales.

III.4.5.- Contactos.

III.4.6.- Origen.

III.5.- Rocas Intrusivas ( Tfd ).

III.5.1.- Generalidades.

III.5.2.- Afloramientos.

III.5.3.- Características Litológicas Macroscópicas.

III.5.4.- Características Litológicas Microscópicas y  
Relaciones Texturales.

III.5.5.- Contactos.

III.5.6.- Origen.

III.6.- Geología Estructural.

III.6.1.- Estructuras observables..

III.7.- Geología Histórica y Tectónica Regional.

IV.- Yacimientos Minerales.

IV.1.- Factores que controlaron la mineralización .

IV.2.- Stockwork Tres Amigos.

IV.2.1.- Generalidades.

IV.2.2.- Rocas Encajonantes.

IV.2.3.- Geometría y Estructuras.

IV.2.4.- Mineralización.

IV.3.- Veta San José.

IV.3.1.- Generalidades.

IV.3.2.- Rocas Encajonantes.

IV.3.3.- Geometría y Estructuras.

IV.3.4.- Mineralización.

IV.4.- Veta San Josecito.

IV.4.1.- Generalidades.

IV.4.2.- Rocas Encajonantes.

IV.4.3.- Geometría y Estructuras.

IV.4.4.- Mineralización.

IV.5.- Veta San Pablo.

IV.5.1.- Generalidades.

IV.5.2.- Rocas Encajonantes.

IV.5.3.- Geometría y Estructuras.

IV.5.4.- Mineralización.

IV.6.- Veta Palo Chino.  
IV.6.1.- Generalidades.  
IV.6.2.- Rocas Encajonantes.  
IV.6.3.- Geometría y Estructuras.  
IV.6.4.- Mineralización.

IV.7.- Hipótesis Genética.

IV.8.- Conclusiones y Recomendaciones.

Lista de Figuras.  
Apéndice Fotográfico.

Bibliografía.

## Resumen

En el distrito minero de San José de Gracia, situado al noreste del estado de Sinaloa, afloran un conjunto de rocas de origen y composición variada. Las rocas más antiguas expuestas en el área están constituidas por una secuencia de rocas marinas de plataforma de edad Jurásico Tardío-Cretácico Temprano (Titoniano-Neocomiano). La base de dicha secuencia está compuesta de calizas masivas; la parte intermedia es una alternancia de calizas y lutitas negras fisiles con horizontes de cuarzo-arenitas y pedernal; la parte superior la constituyen unas lutitas pardo-grisáceas fosilíferas. Esta secuencia se encuentra sumamente deformada (presentando al menos dos eventos de plegamiento superpuesto) y subyace por medio de una discordancia erosional a un conjunto de tobas y derrames lavicos de composición andesítica.

Las rocas antes mencionadas se encuentran intrusionadas por un cuerpo diorítico (originado por un proceso de intrusión múltiple) fechado en  $27.6 \pm 0.6$  m. a. de antigüedad (Clark, F., et. al., 1979). Las rocas que coronan el área son unas tobas de composición fundamentalmente riolítica, definiendo ello una evidente bimodalidad del magmatismo acaecido en la zona. Estructuralmente, el área está controlada por dos sistemas neotectónicos de fallamiento normal en bloques, el más antiguo presenta un rumbo que oscila entre  $N 15^{\circ} W$  y  $N 39^{\circ} W$  con buzamientos al este y el otro se orienta entre  $N 08^{\circ} E$  y  $N 33^{\circ} E$  con echados tanto al oriente como al poniente. Así mismo, existen pequeñas fallas normales con desplazamientos entre 0.40 y 15 m cuyas tendencias preferentes de orientación varían de  $N 10^{\circ} W$  a  $N 10^{\circ} E$  y de  $N 60^{\circ} E$  a  $S 70^{\circ} E$ .

Los cuerpos tabulares mineralizados presentes en el distrito, de acuerdo con su orientación, se han agrupado en dos sistemas: el primero tiene un rumbo  $N 03^{\circ}-68^{\circ} W$ , con buzamientos preferentes hacia el oeste y el segundo presenta una orientación  $N 25^{\circ}-65^{\circ} E$  con echados al poniente. Ambos están controlados por un fracturamiento y fallamiento normal pre-mineralización y dan lugar a un patrón de "Malla en Enrejado con Angulo Agudo" (Mc Kinstry, 1977).

Las vetas y stockworks estudiados presentan una textura de relleno de fisuras y están compuestos por un mosaico primario de grano grueso de cuarzo incoloro + clorita, en cuyos

intersticios se aloja pirita principalmente. Brechando al mosaico anterior se encuentra un cuarzo criptocristalino con tonalidades que van del rojo al gris genéticamente relacionado a la asociación fundamental de clorita + arcillas + pirita + calcopirita, aunque eventualmente en algunas estructuras existe galena, esfalerita, calcita, covelita y/o yeso. Con lo anterior queda evidenciado la presencia de dos eventos distintos de depositación mineral. El espectro que es el único mineral de interés económico no muestra aparente preferencia en su depósito por alguno de los dos eventos mineralizantes, ya que por ejemplo en la veta Palo Chino está asociado al primer episodio, mientras que en la de San Pablo se presenta relacionado con el cuarzo criptocristalino. Los metales base presentes son de bajo rendimiento económico pues su escaso contenido no permite que sean explotados económicamente.

Los depósitos minerales del distrito probablemente están genéticamente asociados con las fases tardías de la evolución de una cámara magmática cuando la última etapa de intrusión tuvo lugar, esto permitió la generación de un sistema hidrotermal, el cual empleó la mineralización a través de un sistema de fracturamiento y fallamiento normal preexistente o en lugares donde las fallas que alternan con lutitas carbonosas fisiles fueron reemplazadas.

# Capitulo 1

## I. - Generalidades.

### I.1.- Introducción.

Al noreste del estado de Sinaloa, cerca de sus límites con el estado de Chihuahua, se encuentra ubicado el distrito minero de San José de Gracia. En esta zona afloran una serie de rocas tanto sedimentarias como ígneas muchas de las cuales encajonan la mineralización, que hizo famoso al distrito durante el siglo pasado y principios del presente.

No obstante la existencia de algunos trabajos previos sobre el área hay divergencia de criterios entre los diversos autores, sobre la petrografía y cartografía de las distintas unidades aflorantes; así mismo, la presencia de una amplia variedad de estructuras que afectan la región, ofrece un panorama tectónico-estructural complejo, cuya identificación, interpretación y definición, son de gran importancia para la consecución de los objetivos mineros que se persiguen en el área.

En el presente trabajo, se determinaron las características geológico-mineras del distrito, para lo cual se requirió de mapeo geológico y prospección minera durante 5 meses efectivos de trabajo de campo.

### I.2.- Objetivos del estudio.

El objetivo fundamental del presente estudio consistió en establecer una primera valorización de las características geológico-mineras del distrito de San José de Gracia, Sin., a fin de sugerir los alcances de la potencialidad minera de la zona que sirva de base para definir las alternativas de su aprovechamiento a corto, mediano y largo plazo.

Así mismo, con el apoyo de diversas técnicas analíticas se derivaron precisiones paragenéticas de algunas estructuras mineralizadas, a partir de las cuales se identificaron áreas prioritarias para evaluación y/o prospección minera.

### I.3.- Trabajos previos.

Es poca la información existente sobre el distrito minero de San José de Gracia. A nivel regional Miguel Carrillo en 1971 elaboró un trabajo ("Geología de la zona San José de Gracia"), posteriormente el Consejo de Recursos Minerales publicó dos trabajos a nivel local, uno en 1975 y otro en 1980, sin

embargo estos se abocan a una descripción de las estructuras mineralizadas tratando de valorizar su potencial tomando como elemento fundamental análisis químicos, mientras que la cartografía geológica está efectuada básicamente mediante fotointerpretación.

#### I.4.- Método de trabajo.

El estudio se inició con una fotointerpretación a escala 1:50 000, posteriormente se cartografió en campo sobre una base topográfica de escala 1:12 500 muestreándose las distintas rocas aflorantes y los cuerpos mineralizados estudiados (cuatro de los cuales se explotan actualmente).

El trabajo se concluyó con la redacción del presente trabajo y elaboración de planos, con una previa petrografía y minerografía de las muestras colectadas.

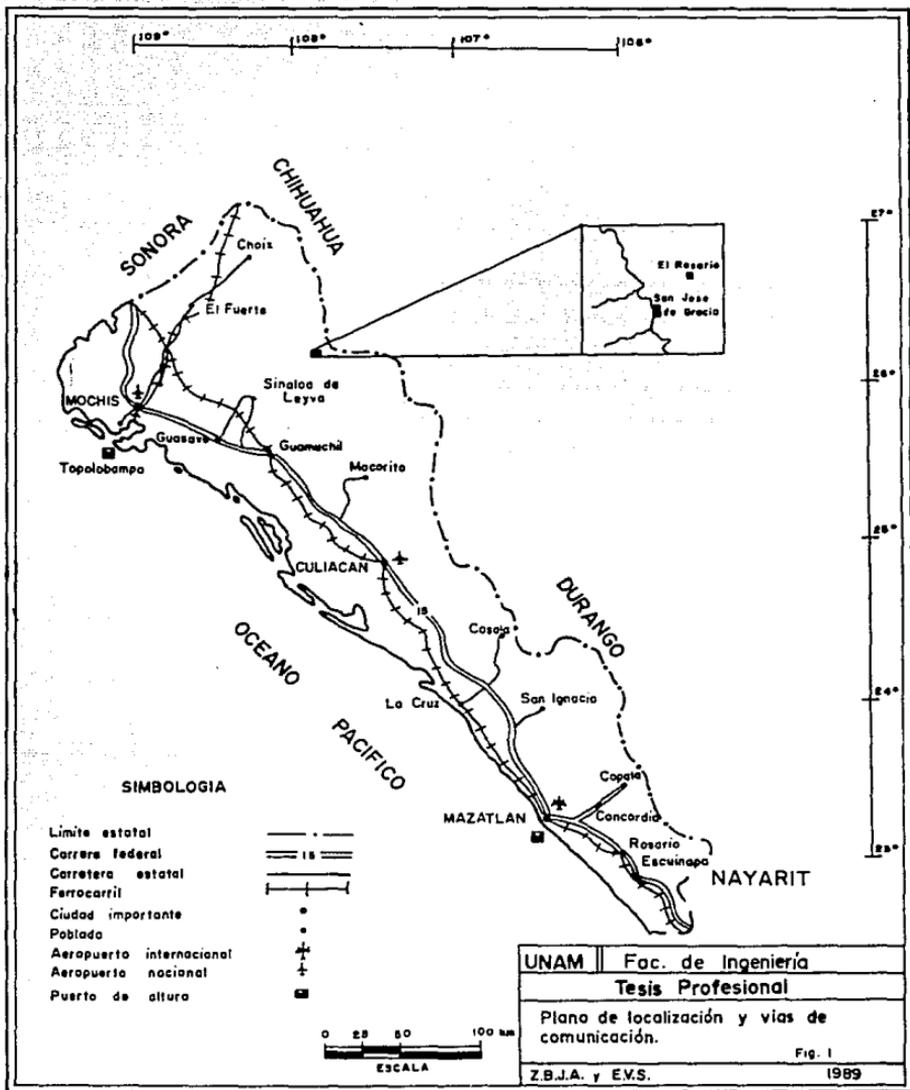
#### I.5.- Localización y Vías de acceso.

El distrito minero de San José de Gracia se localiza, en la parte nororiental del estado de Sinaloa, muy cerca de los límites con el estado de Chihuahua. Se encuentra delimitado por las coordenadas geográficas  $26^{\circ} 06' 30''$  y  $26^{\circ} 12' 28''$  de latitud norte y entre  $107^{\circ} 56'$  y  $107^{\circ} 50' 15.42''$  de longitud oeste (Fig.1).

En la porción suroccidental del distrito se encuentra el poblado de San José de Gracia, al cual se puede llegar desde Guamúchil o Guasave vía Sinaloa de Leyva. Los tramos comprendidos entre Sinaloa de Leyva y Guasave o Guamúchil, son transitables todo el año, pues se trata de caminos revestidos de pavimento. Por otra parte, los poblados de San José de Gracia y Sinaloa de Leyva se encuentran comunicados por medio de una terracería de 84 Km transitable por vehículos de rodada alta y preferentemente en época de estiaje.

Adicionalmente, el poblado de San José de Gracia tiene acondicionada una pista de aterrizaje para avionetas ligeras en la planicie de inundación del arroyo del mismo nombre; así mismo, la población se encuentra comunicada con el poblado de la Mesa del Frijol, Chih. por medio de una terracería de aproximadamente 40 Km.

San José de Gracia cuenta además con servicio telegráfico y postal.



## I.6.- Clima y Vegetación.

Según la clasificación de Koppen, modificada por García (1966), en el distrito minero de San José de Gracia (en general en toda la parte media de la Sierra Madre Occidental) predomina un clima semiseco cálido, con lluvias en verano, la temperatura media anual es de unos 25°C. siendo junio el mes más cálido y enero el más frío (Fig.2).

La vegetación varía desde el tipo de la gramíneas, pastizales y zacatón hasta los matorrales espinosos, entre los que se distinguen las siguientes variedades: Zacate libre (*Cathastecum-Erectum*), zacatón (*Sporobolus Wrightii*), biznaga (*Hemipopsis* sp.), uña de gato (*Acacia Gregii*), candelilla (*Euphorbia Antisyphilitica*), huisache (*Acacia Farnesiana*), mezquite (*Prosopis Juliflora*) y guanáchil (*Phithecolegium Dulce*).

## I.7.- Cultura y Economía.

El núcleo de población más importante ubicado dentro de la zona de trabajo, es conocido como San José de Gracia, cuyo número de habitantes asciende a 550 aproximadamente. Cuenta con una escuela donde se imparte el ciclo primario completo.

La economía se basa principalmente en la minería y la ganadería. La actividad agrícola es muy restringida y prácticamente de autoconsumo; las siembras son de temporal, llevándose a cabo en zonas de difícil acceso, debido a las condiciones topográficas. En el poblado existen comercios en los que se expenden artículos de primera necesidad.

## I.8.- Breve Historia del Distrito

La secuencia de eventos históricos registrados en este distrito, parecen sintetizar la evolución de la minería en el estado de Sinaloa. Por lo cual se citan los sucesos más importantes registrados en la zona (Tomado de Rodríguez y Górdoba, 1978).

1828.- Descubrimiento de "Mina Grande".

1828-1848.- En este periodo son descubiertas y activadas las siguientes estructuras mineralizadas: "Todos Santos", "Veta Tierra", "Los Hilos", "Dulces Nombres" y "Los Muertos".

1852-1860.- La mayor parte de los mineros emigran a los placeres de California, provocándose con ello la evacuación casi completa

del distrito.

1870-1878.- Los Peraza-Martínez, descubrieron clavos muy ricos en "Santo Tomás" y "San Judas".

1887.- Se instala el primer molino.

1889.- Entra en bonanza la mina "Carpintería".

1893.- Un socavón desarrollado por los Peraza-Martínez dan con clavos en "Jesús María" y "Guadalupe".

1893-1895.- Se instala una planta de amalgamación, por parte de la Anglo-Mex. Co. y trabaja una bonanza de \$ 28 000 por tonelada.

1894.- Se organiza la Pirame Co. a raíz de la localización de la mina "El Rosarito", por parte del Sr. Echavarría. Así mismo, se instala una planta de amalgamación de 500 toneladas y varios clavos produjeron alrededor de \$ 500 en oro.

1895.- Se instala la primera planta de cianuración por parte de la compañía la "Purísima".

1902.- La compañía "Jesús María" adquiere las minas que antiguamente habían pertenecido a la "Anglo-Mex. Co.",

1910.- Se instala una planta de cianuración de 130 Ton.; pero se inicia la revolución y los trabajos son abandonados.

1914.- C. Baldenebro, funge como superintendente de las minas confiscadas por el gobierno de Carranza. Las ricas vetas del "Rosarito" son explotadas.

1918.- Las minas confiscadas son devueltas a la compañía "Jesús María y Anexas".

1920.- Se instalan máquinas de flotación.

1924.- Se organiza "Minas Unidas de San José".

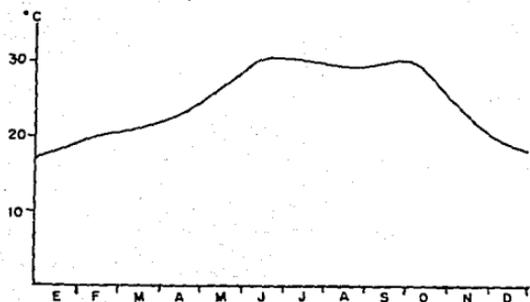
1927.- El Sr. Chandler inicia nuevas operaciones.

1936.- Se organiza una compañía por parte de Littleton Prince.

1980-1981.- Se organiza la compañía "Cocoyome".

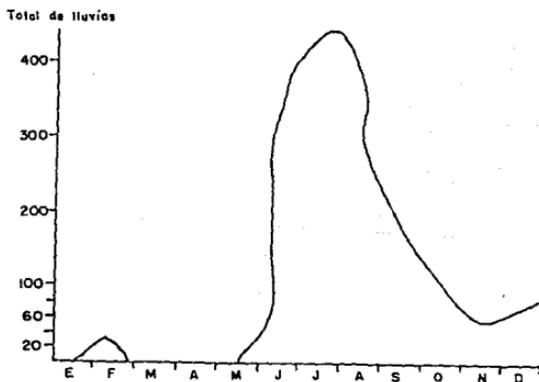
1983-1989.- Se encuentra en operaciones la compañía "Minera Metalúrgica Rosarito S. A. de C. V."

### Temperatura media mensual



(Estación Santa Rosa)

### Precipitación Pluvial



(Estación San José de Gracia)

Fig 2

(Boletín Meteorológico, 1978)

## *Capitulo 11*

## II.- Fisiografía.

El distrito minero de San José de Gracia, se encuentra localizado, en la Sierra Madre Occidental dentro de la subprovincia de altas mesetas ríolíticas (Rise, 1959) (Fig. 3).

### II.1.- Geomorfología.

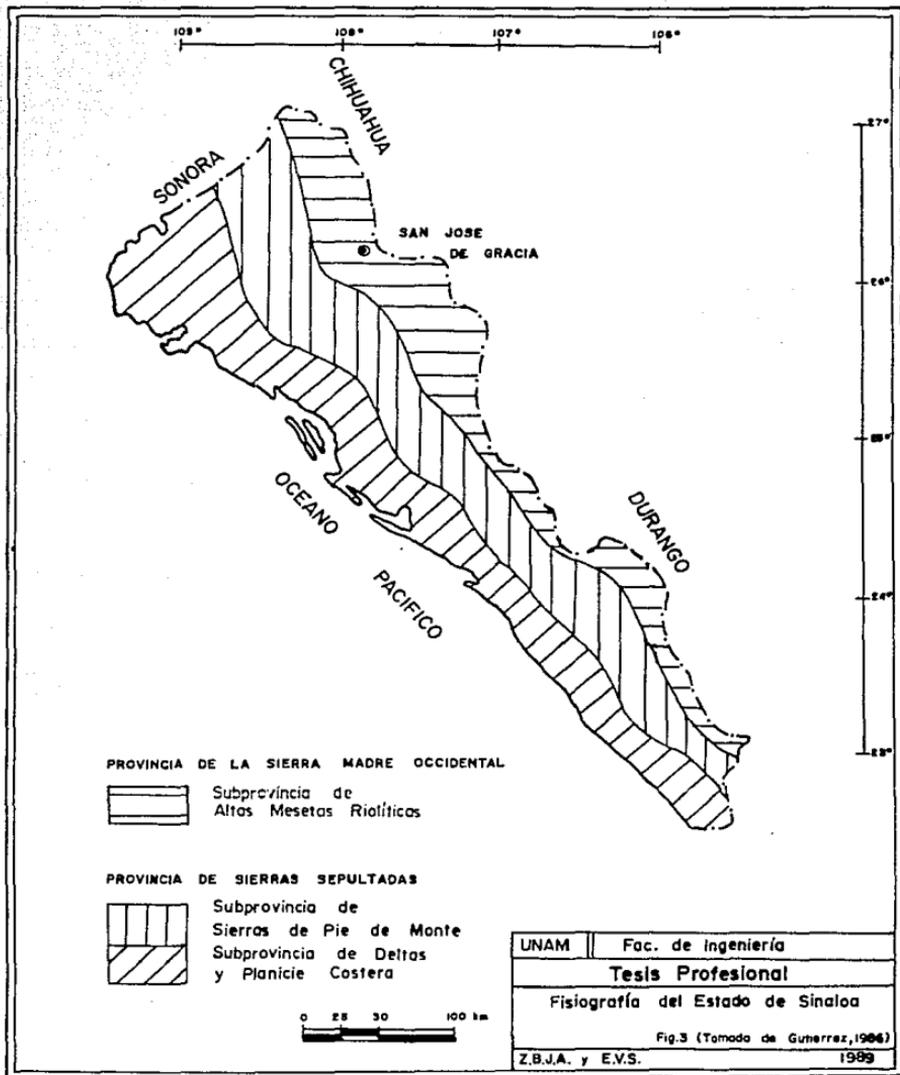
La zona presenta mesetas con elevaciones máximas de 1420 m. s. n. m. particularmente en las porciones centro y noroccidental. Los perfiles de los valles presentan formas de "V". Van de simétricos a asimétricos, siendo esto función de las litologías en que se desarrollan como de los rasgos estructurales que controlan el drenaje (principalmente fallas). Las divagaciones de las corrientes principales son escasas y en lugares donde disectan las rocas intrusivas, la mayor parte de los tributarios son cortos (máximo 2 Km), los interfluvios son extensos y poco espaciados, los perfiles longitudinales de las corrientes llegan a tener hasta 20° de pendiente, además existe una gran cantidad de carcavas.

Todas las características anteriores, evidencian una marcada inestabilidad de las vertientes, con predominancia de disección vertical, frecuente remoción en masa sobre las vertientes y una erosión remontante intensa.

### II.2.- Hidrografía.

El drenaje desarrollado en el área pertenece a la cuenca hidrológica del río Sinaloa, presenta un patrón dendrítico exorreico y se manifiesta controlado estructuralmente en muchas partes; los órdenes de corriente son de un máximo de tres y los tributarios generalmente son consecuentes.

De entre los arroyos, el principal es el de San José de Gracia el cual tiene como tributarios más importantes en el área de trabajo, a los arroyos del Rosario, Las Tunas, El Toste y Los Angeles; a su vez, el arroyo de San José de Gracia es tributario del río Sinaloa el cual se une al río Ocoroni para desembocar como uno solo en el Océano Pacífico.



PROVINCIA DE LA SIERRA MADRE OCCIDENTAL



Subprovincia de  
Altas Mesetas Riolíticas

PROVINCIA DE SIERRAS SEPULTADAS



Subprovincia de  
Sierras de Pie de Monte  
Subprovincia de Deltas  
y Planicie Costera

0 25 30 100 km



UNAM	Fac. de Ingeniería
<b>Tesis Profesional</b>	
Fisiografía del Estado de Sinaloa	
Fig.3 (Tomado de Guerrero, 1966)	
Z.B.J.A. y E.V.S.	1989

## *Capítulo III*

### III.- Geología.

#### III.1.- Estratigrafía.

Las rocas más antiguas que afloran en el área constan de una cubierta de rocas sedimentarias (calizas, lutitas negras fisiles apizarradas, lutitas pardo grisáceas, horizontes de pedernal y cuarzo-arenitas) de edad Jurásico Tardío - Cretácico Temprano (Tiloniano Tardío - Neocomiano Temprano), cuyo espesor mínimo estimado es de 800 m. (Carrillo, 1971).

Después del depósito de la secuencia antes mencionada y durante la evolución continental del área, se produjo un intenso magmatismo del cual derivaron un conjunto de rocas de composición andesítica diorítica y riolítica. Las rocas primeramente mencionadas sobreyacen en discordancia al paquete sedimentario y muy probablemente tienen correlación con las andesitas de la base de la Sierra Madre Occidental, emplazadas entre los 140 y 40 m. a. de antigüedad (Mc Dowell y Clabaugh, 1979), mientras que las de composición riolítica descansan por medio de una discordancia erosional sobre las rocas sedimentarias y andesíticas, teniendo casi seguramente correlación con las ignimbritas emplazadas en la Sierra Madre Occidental entre los 34 y 27 m.a. de antigüedad y en algunos casos hasta los 23 m. a. (Mc Dowell y Clabaugh, op. cit.). Por su parte las dioritas, fechadas en  $27.6 \pm 0.6$  m. a. de antigüedad (Clark, F. op. cit.), intrusionan únicamente a las rocas sedimentarias y andesíticas. Sin embargo de acuerdo con los datos publicados por Clark, F. (op. cit.) el magmatismo se desarrolló en el distrito entre los 79 y 20 m. a. de antigüedad, pues dicho autor considera que San José de Gracia estaba ubicado a 449 Km respecto a la paleotrinchera (Fig. 4).

#### III.2.- Unidad Sedimentaria (Jks)

##### III.2.1.- Generalidades.

Con esta designación informal se han agrupado un conjunto de rocas sedimentarias marinas sumamente deformadas que constituyen las rocas más antiguas de la zona de estudio. En las lutitas de la parte coronante de esta secuencia, expuestas en la localidad del "Puerto del Aire" se encontraron fósiles de ammonitas de los géneros *Berriassella* cf. aff. *zacatecana* (Imay), *Hoplites* sp., *Substeuroceras* sp., *Fronicerias* sp. y *Aulacosphinctes* cfr. *wilfridi* (Burckhardt), las cuales tienen un rango geocronológico que va del Jurásico Tardío a Cretácico

Temprano (Turoniano tardío - Neocomiano Temprano). De acuerdo con esto se sugiere que por lo menos la parte superior de la unidad pertenece al rango antes mencionado. Todas las determinaciones paleontológicas mencionadas fueron tomadas del informe elaborado por el Dr. J. Barceló Duarte, en el mes de noviembre de 1968, con las muestras colectadas por los autores del presente trabajo.

III.2.2.- Afloramientos.

La unidad presenta sus mejores exposiciones en la porción oriental del distrito aunque también aflora a lo largo de los arroyos de San José de Gracia (al sur), del Taste, El Guervo y en la zona centro-sur del área de estudio.

III.2.3.- Características Litológicas Macroscópicas.

La parte inferior de la secuencia está constituida por unas calizas negras a la fractura y de color pardo rojizo al intemperismo, de estratificación masiva (con potencia de 1.5 a 2 m aproximadamente) y con vetillas de cuarzo lechoso. Se muestran intensamente fracturadas, parcialmente silicificadas y recrystalizadas en las cercanías de su contacto con los cuerpos dioríticos. Dicho contacto no presenta halos de tipo metasomático, es decir, no existe una zona de skarn.

Hacia la parte intermedia de la secuencia existe una alternancia de calizas y lutitas negras fisiles, así como horizontes de cuarzo-arenitas y pedernal, estos últimos a menudo muestran boudinage. Las calizas presentan tonos que van del negro al gris oscuro, poseen vetillas de cuarzo y calcita y su estratificación varía de 5 a 50 cm. Los espesores del pedernal van de 3 a 30 cm mostrando un color negro rojizo al intemperismo y negro a la fractura. Las cuarzo-arenitas son esporádicas su color al intemperismo es blanco amarillento y blanco a la fractura y con espesores que varían de 3 a 20 cm ; las lutitas son carbonosas presentan ligero apizarramiento y su estratificación varía de 3 a 15 cm. En algunos lugares la alternancia de calizas y lutitas presenta estratificación cruzada, así mismo tampoco existe metasomatismo. en esta parte de la secuencia, al contacto con los cuerpos intrusivos.

La porción superior de la unidad esta compuesta por lutitas de color pardo grisáceo al intemperismo y gris oscuro a la fractura, su estratificación va de 1 a 10 cm y son menos fisiles que las lutitas de la parte intermedia.

Cabe señalar que la mineralización encajonada por esta unidad, muestra preferencia para su emplazamiento, por la alternancia de calizas y lutitas negras fisiles apizarradas de la parte intermedia de la secuencia que están espacialmente asociadas

a las dioritas.

### III.2.4.- Características Litológicas Microscópicas y Relaciones Texturales.

Las calizas basales son calcilutitas compuestas en un 90 % de micrita y un 8 % de espatita, esta última se presenta como relleno de fracturas. Existen además algunos fragmentos aislados de cuarzo subanguloso con extinción tanto ondulante como recta, minerales opacos y arcillas. La roca presenta vetillas rellenas de una sustancia opaca que probablemente sea relicto de hidrocarburos. En las cercanías de esta litología con los cuerpos intrusivos la micrita se encuentra reemplazada por cuarzo criptocristalino, el cual también se presenta en vetillas que brechan la roca y presentan hematita asociada.

Las calcilutitas de la parte intermedia, se muestran intensamente silicificadas llegando a presentar cuarzo hasta en un 90 %. En esta roca se pudieron observar fragmentos de microfósiles (no identificados) muy deteriorados y reemplazados por espatita y cuarzo, granos de cuarzo subanguloso, hematita, algunas veces con traza cúbica, así como epidota rellenando oquedades. Adicionalmente la roca presenta un conjunto de vetillas en algunos casos de espatita y en otros de cuarzo criptocristalino con hematita diseminada.

Los fragmentos de cuarzo de las cuarcos-arenitas son predominantemente subangulosos, sus tamaños varían entre 0.1254 y 0.38 mm y su extinción es tanto recta como ondulante. La matriz está compuesta de arcillas y representa el 8 % del volumen total de la roca. Microscópicamente el pedernal está constituido por un mosaico de cuarzo de grano muy fino con arcillas diseminadas y ocasionalmente orientadas.

### III.2.5.- Contactos.

El contacto inferior de la secuencia en cuestión no se observó ni tampoco se ha reportado en el área de estudio o en zonas aledañas a esta, por su parte el contacto superior es discordante erosional con la mayoría de las rocas presentes en el distrito, incluso llega a ser tectónico con el Miembro Volcánico Intermedio Seis en la parte suroeste del distrito (en la vertiente occidental del arroyo de San José de Gracia).

Así mismo, la secuencia se ve intrusionada por rocas de composición diorítica.

### III.2.6.- Origen.

La complejidad estructural en la unidad, no facilitó su subdivisión en miembros que permitiera reconocer distintos medios de depósito, si es que existieron. Así mismo, aunque no se cuenta

con argumentos totalmente contundentes para afirmar que se trata de una secuencia continua generada durante un solo episodio de depositación, en el presente trabajo se ha considerado que sí se trata de una secuencia continua.

La gran cantidad de materia carbonosa presente en las lutitas de la parte intermedia de la unidad, la relativa abundancia de clásticos angulosos y subangulosos de cuarzo dentro de las calizas así como por el tipo de fósiles encontrados en la localidad del Puerto del Aire, permite sugerir que estas rocas fueron originadas en un ambiente marino de plataformas, en aguas relativamente someras; esto se reafirma por la presencia de horizontes de pedernal, los que independientemente de su origen químico o bioquímico necesariamente requirieron de condiciones de pH no muy alcalino (lo que repercute en que la salinidad del agua no era muy elevada) para su precipitación. Así mismo la presencia de materia orgánica en las lutitas permiten sugerir que en la superficie de depósito predominaban condiciones reductoras, independientemente de que los organismos tuvieron que vivir en aguas oxigenadas y tal vez cálidas y cercanas al litoral.

Por otra parte es posible afirmar que el nivel del mar tuvo fluctuaciones después del depósito de las calizas basales de la secuencia, lo cual se tradujo en una alternancia de calizas y lutitas. La angulosidad y subangulosidad de los clastos de cuarzo presentes en las cuarzo-arenitas y las calizas sugieren un transporte relativamente corto y de por lo menos dos fuentes distintas de aporte, una metamórfica y otra de origen ígneo, ya que dichos clastos en ocasiones muestran extinción ondulante y en otras extinción recta.

Las calizas de esta unidad lo más probable es que sean de origen aloctono pues presentan en algunas ocasiones estratificación cruzada, están asociadas a cuarzo-arenitas y con frecuencia sus intersticios se encuentran rellenos de espatita, dando la apariencia de estar cementando a la roca.

### III.3.- Unidad Volcánica Intermedia.

Con esta designación informal, se han agrupado todas las rocas volcánicas de composición intermedia que afloran en el área de trabajo y que por acción neotectónica de fallamiento normal presentan un basculamiento hacia el poniente de aproximadamente 25°.

La unidad está constituida por un conjunto de rocas tanto cristalinas como piroclásticas, todas ellas de composición

andesítica, representando el primer episodio volcánico ocurrido en el área.

### III.3.1.- Miembro Volcánico Intermedio Uno (MVI-1)

#### III.3.1.1.- Generalidades.

Esta roca presenta una morfología muy peculiar, pues se manifiesta como un cuerpo semicircular que da lugar a una depresión muy notoria en el terreno.

#### III.3.1.2.- Afloramientos.

El miembro aflora únicamente en el poblado de San José de Gracia y en sus zonas aledañas tanto al este como al oeste, cubriendo un área de 3Km<sup>2</sup>, aproximadamente.

#### III.3.1.3.- Características Litológicas Macroscópicas.

Megascópicamente la roca presenta al intemperismo un color grisáceo con tonos castaños, ocasionados por oxidación; de modo generalizado, en todos los afloramientos se encuentran presentes una serie de vetillas de cuarzo con espesores máximos de 15 cm las cuales presentan limonitas, seguramente derivadas de sulfuros. Además se observan cristales de plagioclasas bastante sericitizadas, así como fragmentos líticos volcánicos angulosos sin clasificación.

#### III.3.1.4.- Características Litológicas Microscópicas y Relaciones Texturales.

En el microscopio muestra una textura piroclástica; su mineralogía esencial consta de vidrio en una proporción del 80 %, que se encuentra como constituyente fundamental de la matriz y cuyo índice de refracción es menor al balsamo; también posee fragmentos angulosos de plagioclasa del tipo oligoclasa-andesina en una proporción volumétrica del 15 % y sus tamaños varían de 0.1 a 0.7 mm.

El cuarzo también se encuentra presente como constituyente de la matriz o en fragmentos angulosos menores a 0.3 mm y en una proporción menor al 5 %. Los minerales accesorios presentes son la augita-aegirina, la cual se encuentra intensamente oxidada (principalmente en sus bordes) y el zircón. Adicionalmente como minerales secundarios existen sericita, óxidos supergénicos y cuarzo criptocristalino.

Los fragmentos de plagioclasa, cuarzo, piroxenos y zircón se encuentran incluidos dentro de una matriz vítrea, no observándose contacto entre estos. La sericita se desarrolla como alteración de las plagioclasas, los óxidos son derivados de los máficos y posiblemente de algún sulfuro hipogénico. El cuarzo

criptocristalino se encuentra en vetillas a las cuales se asocian algunos óxidos supergénicos.

De acuerdo con estas características la roca ha sido clasificada como una toba vítrea de composición andesítica.

#### III.3.1.5.- Contactos.

Debido a que esta roca constituye la base de la secuencia andesítica, se infiere que su contacto inferior está dado por una discordancia erosional con la Unidad Sedimentaria, ya que dicho contacto no se observó por estar cubierto de suelo y sedimentos aluviales. Sobreyaciendo indistintamente a este miembro y también por medio de un contacto erosional, se encuentran las andesitas del Miembro Volcánico Intermedio Dos y la cubierta de tobas riolíticas, tal como puede observarse aproximadamente a 1 Km al noreste del poblado de San José de Gracia.

#### III.3.1.6.- Origen.

Se infiere que esta roca es producto de una emisión volcánica, que dio lugar a un flujo de piroclastos, los cuales se emplazaron sin una marcada selección evitando así el desarrollo de una laminación o pseudoestratificación.

### III.3.2.- Miembro Volcánico Intermedio Dos (MVI-2).

#### III.3.2.1.- Generalidades.

Este miembro presenta una morfología de derrame de lava sobre todo en su porción sur y se ve afectado en su parte oriental por una falla normal de dirección NW-SE, sobre la cual se desarrolla el arroyo de la Purísima.

#### III.3.2.2.- Afloramientos.

La roca de este miembro aflora al noreste de San José de Gracia desde el cruce de los arroyos de Palo Chino y la Purísima, hasta la cabecera de este último cubriendo un área de aproximadamente 3 Km<sup>2</sup>.

#### III.3.2.3.- Características Litológicas Macroscópicas.

En sus afloramientos así como en fractura fresca, la roca muestra un color rojo ocre el cual se atribuye a oxidación. Macroscópicamente, se observan fenocristales de plagioclasa y con tamaño máximo de 3 mm bastante alterados a arcillas y clorita, fragmentos líticos angulosos de un tamaño promedio de 2.5 mm y fenocristales de minerales máficos muy oxidados. Adicionalmente la roca cuenta con vetillas orientadas en la misma dirección de los óxidos supergénicos.

### III.3.2.4.- Características Litológicas Microscópicas y Relaciones Texturales.

En lámina delgada la roca aparenta ser holocristalina con textura relicta porfídica, cuya matriz de plagioclasa está sumamente alterada a arcillas; su mineralogía esencial fue únicamente de plagioclasas en una proporción volumétrica mayor del 90 % y presenta a la hornblenda como mineral accesorio en fenocristales, la cual se muestra cloritizada y oxidada. Sus minerales secundarios son clorita, calcita, arcillas y óxidos.

Los fenocristales de plagioclasa y hornblenda están flotando en la matriz, la cual aparenta haber sido microlítica, las arcillas son producto de la alteración de plagioclasas y se distribuyen de una manera muy homogénea en toda la roca, también se presentan en vetillas en el interior de algunos fenocristales de plagioclasa; la mayor parte de los óxidos se encuentran en vetillas y como pseudomorfos de la hornblenda.

Por su parte la clorita se deriva de las plagioclasas y de la hornblenda, también distribuyéndose de forma homogénea. algo peculiar de algunos fenocristales de hornblenda es el desarrollo de clorita en sus partes internas mientras que sus bordes se muestran oxidados.

A causa de la extrema alteración que manifiesta la roca es difícil dar una clasificación exacta, sin embargo es muy probable que se trate de una andesita porfídica, la cual por efectos de hidrotermalismo, sólo manifiesta relictos texturales y mineralógicos.

### III.3.2.6.- Origen.

Es difícil precisar la génesis de la roca debido a que su clasificación es dudosa, sin embargo es posible que sea derivada de una emisión volcánica que dio lugar a una colada de lava la que tuvo dos estados de enfriamiento uno que favoreció la cristalización de los fenocristales y otro más rápido que permitió la cristalización de la matriz microlítica.

### III.3.3.- Miembro Volcánico Intermedio Tres (NVI-3).

#### III.3.3.1.- Generalidades.

Este miembro presenta tres afloramientos en la zona de trabajo, mismos que se originaron por una colada lávica.

#### III.3.3.2.- Afloramientos.

La roca aflora al norte del arroyo del Rosarito cerca de su cabecera, al noreste del poblado de San José de Gracia en el área comprendida entre la vertiente norte del arroyo de las Higueras y las cabeceras de los arroyos de Palo Chino y Los Cochis, ubicadas en la porción central del distrito.

#### III.3.3.3.- Características Litológicas Macroscópicas.

En muestra de mano, la roca presenta un color al intemperismo negro verdoso, con algunos tonos ocres, producto de oxidación. Localmente presenta unos tonos blanco-parduscos en las zonas de brechamiento, las que se presentan en las cercanías de las estructuras mineralizadas encajonadas por esta roca. En fractura sus tonos varían de verde grisáceo a verde olivo oscuro. Se observan fenocristales de plagioclasa, hornblenda, clorita y epidota, estas dos últimas especies se desarrollan preferentemente en los bordes de los fenocristales de hornblenda.

#### III.3.3.4.- Características Litológicas Microscópicas y Relaciones Texturales.

Al microscopio se observa que la roca es holocristalina, con textura inequigranular porfídica; su mineralogía esencial consta de cuarzo, en una proporción del 5 x y plagioclasas del tipo oligoclasa-andesina en un 85 x las que se encuentran tanto como constituyentes de una matriz microlítica así como en fenocristales, cuyo tamaño promedio es de 2.5 mm; la hornblenda es el único mineral accesorio presente; la mineralogía secundaria consiste de sericita, clorita, epidota, cuarzo, calcita, pirita y algunos óxidos supergénicos derivados de la hornblenda y de la pirita. Los fenocristales de hornblenda y plagioclasa, se encuentran incluidos dentro de una matriz microlítica; el contacto entre fenocristales aunque casual es tangencial.

La clorita y la epidota se encuentran desarrolladas, preferentemente en la periferia de los fenocristales de hornblenda y en algunas sacas de plagioclasa, aunque también se presentan rellenando huecos en la matriz. Por su parte la calcita se observa coexistiendo con clorita y epidota, reemplazando a la matriz, así como en vetillas. La sericita se presenta como alteración de los fenocristales de plagioclasa y en la matriz, mientras que el cuarzo secundario es criptocristalino y se muestra reemplazando a

la matriz y en vetillas. Ocasionalmente la matriz presenta pirla eudral diseminada, la cual muestra oxidación preferentemente hacia sus bordes.

En las zonas de brechamiento, existen fragmentos de cuarzo anguloso y de plagioclasas; estas últimas se encuentran dentro de un cuarzo criptocristalino y presentan macias que ocasionalmente muestran deformación, dicho brechado presenta un aspecto fluidal; también son comunes las vetillas de hematita con algo de clorita que rompen con la tendencia general del aspecto fluidal del brechado, por lo que es probable que sean posteriores al período de brechamiento.

La roca se clasificó como andesita porfídica propilitizada selectivamente, brechada y reemplazada parcialmente por cuarzo criptocristalino.

#### III.3.3.5.- Contactos.

Al norte del arroyo del Rosario, esta roca se presenta intrusionada por el cuerpo diorítico y sobreyacida en forma discordante por el Miembro Volcánico Cuatro.

En la porción central del distrito, su contacto inferior es de tipo erosional con el paquete sedimentario tal como se observa en las cercanías de las obras de Mina Grande, Veta Tierra y Palo Chino (aunque también dicho contacto puede ser por falla 7 m al oeste de la obra Frente de Paco sobre el arroyo de las Higueras). Sobreyace en forma discordante al Miembro Volcánico Dos al este de Piedras de Lumbre; en la vertiente oriental del arroyo de la Purísima, su contacto superior es discordante con el Miembro Volcánico Cuatro pudiéndose observar en la vertiente norte del arroyo de las Higueras. (fotografía No 2).

#### III.3.3.6.- Origen.

Este tipo de roca es producto de una emisión volcánica que dio lugar a una colada de lava, la cual por su carácter porfídico indica dos episodios de cristalización, uno lento que dio origen a los fenocristales y otro posterior más rápido que ocasionó la cristalización de la matriz microlítica.

### III.3.4.- Miembro Volcánico Intermedio Cuatro (MVI-4).

#### III.3.4.1.- Generalidades.

Este miembro presenta un solo afloramiento en la porción central del distrito; morfológicamente, esta andesita porfídica tiene aspecto de colada, dando lugar a lomeríos suaves; cabe indicar que localmente presenta un brechamiento en zonas de aparente mineralización.

#### III.3.4.2.- Afloramientos.

El miembro aflora en la vertiente noroccidental del arroyo del Rosarito al oeste de la rancharía de las Higueras. Presenta una extensión de aproximadamente 3 Km<sup>2</sup>.

#### III.3.4.3.- Características Litológicas Macroscópicas.

La roca presenta un color al intemperismo como a la fractura rojo ocre, producto de oxidación, con algunos tonos amarillentos. Se observan fenocristales de plagioclasa de hasta 2.5 mm bastante alterados a arcillas y clorita, así como fenocristales de minerales maficos muy oxidados. Aunque la roca es cristalina, la intensa alteración que manifiesta, la hace sumamente deleznable.

#### III.3.4.4.- Características Litológicas Microscópicas y Relaciones Texturales.

Microscópicamente, la roca es holocristalina, inequigranular porfídica con matriz microlítica, cuyos minerales esenciales son las plagioclasas del tipo oligoclasa-andesina en una proporción volumétrica del 90 %, mismas que se presentan como fenocristales subedrales y como constituyentes de la matriz; adicionalmente presenta cuarzo criptocristalino dentro de la matriz en una proporción del 5 %. Su mineralogía secundaria consta de sericita, calcita, clorita, cuarzo criptocristalino y algunos óxidos supergénicos pseudomorfo de maficos y en vetillas.

Los fenocristales de plagioclasa se encuentran dentro de la matriz microlítica y sus bordes junto con la matriz, se encuentran intensamente sericitizados. En las zonas de brechamiento se presentan fragmentos angulosos de plagioclasa, cuyos bordes se encuentran cloritizados y ocasionalmente se encuentran atravesados por vetillas de hematita que también presenta clorita asociada.

La calcita se presenta relleno de huecos en la matriz y reemplazando fenocristales de plagioclasa en sus partes internas. El cuarzo criptocristalino secundario aparece en vetillas únicamente en las zonas de brechamiento.

### III.3.4.5.- Contactos.

Su contacto superior es tanto por falla como erosional con la cubierta de tobas riolíticas. Por otra parte su contacto inferior es discordante erosional con el Miembro Volcánico Intermedio Tres (Fotografía No 2).

### III.3.4.6.- Origen.

De acuerdo con las relaciones de campo (emplazamiento y morfología) y de laboratorio (análisis microscópico), este miembro se infiere producto de una emisión volcánica que sufrió posteriormente a su emplazamiento alteración hidrotermal (propilitización y silicificación).

## III.3.5.- Miembro Volcánico Intermedio Cinco (MVI-5).

### III.3.5.1.- Generalidades.

Con esta designación informal se han englobado a tres coladas distintas de andesitas porfídicas cuyo contacto es discordante. Aproximadamente a 400 m al noreste de la ranchería el Palmarito, se encuentra el contacto entre la colada basal y la intermedia (cota 700 m. s. n. m.), mientras que el contacto entre esta última y la colada coronante se localiza aproximadamente a 200 m de la misma ranchería (cota 635 m. s. n. m.).

La posición estructural de este miembro respecto a las otras rocas es incierto, debido a que su contacto inferior está dado por una discordancia con la cubierta sedimentaria y no subyace a ninguna otra roca. Sin embargo, por su posición de afloramiento respecto al sistema de fallamiento mayor en bloques sugiere que su emplazamiento fue posterior al de la andesita del MVI-4.

### III.3.5.2.- Afloramientos.

El miembro aflora en el área comprendida entre las rancherías del Palmarito, El Platanito, El Potrero de los López y la Virgen, todas ellas ubicadas en el extremo suroeste del distrito.

### III.3.5.3.- Características Litológicas Macroscópicas.

La colada basal de este miembro presenta un color gris-verdoso al intemperismo y en fractura, su textura es porfídica y muestra fenocristales cloritizados de plagioclasa y hornblenda cuyo tamaño promedio es de 1.5 y 2 mm respectivamente.

La roca de la parte intermedia tiene un color gris claro al intemperismo con algunos tonos violáceos, mientras que en fractura su coloración es gris verdosa; su textura es porfídica, muestra fenocristales de plagioclasa (1mm) y hornblenda (1.2mm),

además presenta xenolitos de hasta 15 cm de una andesita gris-verdosa bastante cloritizada.

Por su parte la roca de la colada coronante, presenta un color al intemperismo verde pardusco y en fractura sus tonos son grisáceos aunque muestra anomalías verdosas debidas a cloritización. Su textura es porfídica con fenocristales de plagioclasa y hornblenda, estos últimos bastante hematitizados y con tamaños promedios de 3 mm ; por su parte los fenocristales de plagioclasa se observan sericitizados y bordeados por clorita, alcanzando tamaños de hasta 5 mm .

### III.3.5.4.- Características Litológicas Microscópicas y Relaciones Texturales.

La roca coronante es holocristalina de textura inequigranular porfídica y matriz microlítica. Su mineralogía esencial consta de plagioclasas del tipo oligoclasa-andesina en una proporción volumétrica del 90 % y de cuarzo, cuya proporción modal es menor al 3 % ; el único mineral accesorio es la hornblenda. Además presenta como minerales secundarios clorita, calcita, sericita y hematita.

Los fenocristales de hornblenda y plagioclasa que varían de subedrales a euedrales, se encuentran "flotando" dentro de una matriz de plagioclasa y cuarzo criptocristalino. La clorita se desarrolla en el interior y/o en los bordes de los fenocristales de plagioclasa, así como en algunas partes de la matriz.

Por otra parte los fenocristales de hornblenda que no están totalmente hematitizados, presentan en su interior clorita, mientras que sus bordes se encuentran oxidados. La calcita algunas veces rellena huecos y otras ocasiones reemplaza algunos fenocristales de plagioclasa.

Todas las plagioclasas se encuentran bastante alteradas a sericita. Adicionalmente, la roca posee vetillas en las cuales coexiste clorita y hematita.

La litología de la parte intermedia del miembro, es holocristalina con textura inequigranular porfídica. Su único mineral esencial es la oligoclasa-andesina, que se presenta tanto en microlitos como en fenocristales euedrales y en una proporción modal del 84 % . Otros componentes de la roca son el vidrio en un 8 % , cuyo índice de refracción es mayor al bálsamo y la hornblenda la cual solo se presenta en fenocristales.

La base del miembro es una roca holocristalina inequigranular porfídica; la oligoclasa-andesina son sus minerales esenciales y constituyen el 88 % de la roca. Como componentes accesorios se tienen el vidrio (cuyo índice de refracción es

ligeramente mayor al bálsamo; se encuentra incorporado a la matriz y presenta una proporción modal del 10 %) y hornblenda bastante hematitizada.

La clorita se desarrolla tanto en el interior de algunos fenocristales como en la matriz; la calcita reemplaza algunos fenocristales de plagioclasa o puede llegarse a encontrar con traza pseudocúbica.

Una característica especial de la roca, es la presencia de zonas de color verde olivo, lo cual también es evidente a nivel megascópico ocasionadas simplemente por una concentración de clorita y disminución del contenido de hematita.

#### III.3.5.5.- Contactos.

Este miembro sobreyace en discordancia erosional a la cubierta sedimentaria y además se encuentra intrusionada por cuerpos dioríticos, según puede observarse tanto en las inmediaciones de la ranchería del Platanito como en las partes sur y poniente del Cordón Puerto de la Cruz. Cabe mencionar, que estos últimos contactos pudieran contener valores interesantes pues evidencian mineralización.

#### III.3.5.6.- Origen.

De acuerdo a las relaciones y características antes mencionadas, es posible afirmar que estas rocas se derivaron de emisiones volcánicas efusivas y cuya cristalización tuvo dos episodios, uno inicial lento, el cual favoreció la formación de fenocristales y otro final que dio lugar a la cristalización de la matriz la cual incluso, presenta vidrio.

### III.3.6.- Miembro Volcánico intermedio Seis (NVI-6).

#### III.3.6.1.- Generalidades.

Esta definición informal engloba a dos litologías de composición andesítica, que subyacen a la Unidad Volcánica Ácida en la parte NW del distrito.

Al igual que el NVI-5 estas rocas presentan problemas en relación a su posición estructural precisa, pero en base a su distribución espacial y de acuerdo a su posición respecto al sistema de fallamiento en bloques que afecta el área, lo más factible es que sea producto del último episodio volcánico andesítico ocurrido en el área.

#### III.3.6.2.- Afloramientos.

El miembro aflora en la porción centro occidental y NW del distrito minero de San José de Gracia, en la base de las mesas Güisisarina y El Gringo, así como en el arroyo de la Lajita y en

la vertiente oeste del arroyo de San José de Gracia.

### III.3.6.3.- Características Litológicas Macroscópicas.

La roca basal de esta secuencia, presenta un color rojo óxido con algunos tonos ocres. Megascópicamente presenta fenocristales de plagioclasas y hornblenda, ambos muy alterados y con tamaños de hasta 3 mm; además se observan fragmentos líticos angulosos cuyo tamaño promedio es de 1.5 cm; cabe señalar que esta colada se presenta brechada localmente en su parte superior.

La litología que sobreyace a la anterior roca, muestra tonos rojizos castaños tanto en fractura como en roca fresca. Macroscópicamente se pueden distinguir cristales de plagioclasa, máficos muy oxidados, fragmentos líticos accidentales, cuarzo y vidrio; estos últimos en forma de bandas, dándole a la roca un aspecto de fluidez. El tamaño de los máficos y de las plagioclasas no exceden de 1 mm y son menos abundantes que en la litología antes descrita.

### III.3.6.4.- Características Litológicas Microscópicas y Relaciones Texturales.

La roca de la parte inferior es una andesita porfídica, holocristalina, inequigranular, con textura porfídica seriada.

Las plagioclasas zonadas y las del tipo oligoclasa-andesina representan el 80 % de la roca y se encuentran tanto en la matriz como en fenocristales de entre 1 y 3 mm; la hornblenda se presenta solamente en fenocristales euedrales y tiene una proporción volumétrica del 10 %, la mineralogía secundaria consta de clorita, sericita, calcita y hematita; la matriz de esta litología está constituida de microlitos, dentro de la cual "flotan" los fenocristales.

La clorita se encuentra en la matriz y en los bordes o interior de los fenocristales, mientras que la hematita se encuentra en los bordes de la hornblenda, en vetillas como pseudomorfo de la hornblenda y con traza pseudocúbica. Todas las plagioclasas se presentan sericitizadas y a veces reemplazadas por calcita, la cual también se encuentra en forma de vetillas los fragmentos líticos presentes representan el 10 % del volumen total de la roca.

La litología de la parte superior es una toba cristalina de naturaleza andesítica cuyos minerales esenciales son plagioclasas del tipo de la andesina y vidrio. La hornblenda es el único mineral accesorio presente, mientras que el cuarzo, clorita, sericita y hematita son los minerales secundarios.

La matriz ocupa volumétricamente el 35 % de la roca y está compuesta de esquirlas de vidrio (shards), siendo su índice

de refracción mayor al balsamo, la hornblenda y las plagioclasas (muy sericitizadas), se encuentran como cristales euedrales rotos y en una proporción del 3 % y 55 % respectivamente.

El cuarzo es criptocristalino y se presenta rellenando oquedades o en vetillas; por su parte la clorita se deriva tanto de las plagioclasas como de la hornblenda, muchas de las cuales se presentan hematizadas en sus bordes.

#### III.3.6.5.- Contactos.

En la vertiente poniente del arroyo de San José de Gracia, sobreyace tectónicamente a la cubierta sedimentaria; sobre la ladera poniente de la mesa Guisisarina presenta contacto por falla con la Unidad Volcánica Ácida, mientras que al sur de la ranchería de la Lajita, este miembro se muestra sobreyacido discordantemente por la Unidad Volcánica Ácida y subyace a la secuencia sedimentaria discordantemente.

#### III.3.6.6.- Origen.

Las relaciones de campo y las características litológicas del miembro, evidencian una emisión volcánica inicial no explosiva que dio lugar a una colada basal, sucedida de una violenta extrusión de tefra, la cual consolidó posteriormente y en donde las esquirlas de vidrio (shards) expelidos le confieren a la roca un aspecto fluidal.

### III.4.- Unidad Volcánica Ácida (UVA).

#### III.4.1.- Generalidades.

Esta designación informal es aplicada a una secuencia de tobas ácidas que coronan la secuencia descrita y que junto con la Unidad Volcánica Intermedia muestran un basculamiento hacia el poniente de aproximadamente 30°.

El contrastante contenido de SiO<sub>2</sub> de esta unidad, respecto a la Unidad Volcánica Intermedia, manifiesta la evidente bimodalidad del magmatismo acaecido en la región.

#### III.4.2.- Afloramientos.

La unidad presenta sus mayores afloramientos en la zona centro-norponiente del distrito, aunque también se encuentra expuesta al sur y al oeste.

#### III.4.3.- Características Litológicas Macroscópicas.

La base de la unidad es una toba de color rosa pálido, tanto al intemperismo como en fractura, presenta incluidos dentro de la matriz vítrea fragmentos accidentales de andesita con tamaños entre 2 mm y 15 cm, así como algunos cristales de cuarzo, plagioclasas y biotita, cuyas dimensiones no sobrepasan el

milímetro. Sobreyaciendo a la roca antes mencionada, se encuentra una toba de color crema con una matriz vítrea, la cual alberga cristales de cuarzo, plagioclasas y biotita siendo su tamaño no mayor de 1.5 mm .

Hacia la parte intermedia de la secuencia, se encuentran tobas de color blanco en donde se pueden distinguir megascópicamente fragmentos de cuarzo y feldespatos dentro de una matriz vítrea; también se observan ignimbritas de color rosáceo, compuestas de vidrio, así como de tonos blancos principalmente de cuarzo; la roca posee fragmentos accidentales de andesita porfídica de color verde de hasta 4 cm de tamaño.

Las rocas que coronan la unidad son unas tobas de color rosa, compuestas fundamentalmente de vidrio, aunque existen fragmentos de cuarzo, biotita, plagioclasas y clorita.

#### III.4.4.- Características Litológicas Microscópicas y Relaciones Texturales.

La roca basal ha sido clasificada como una brecha volcánica de composición riolítica cuyos componentes esenciales son el vidrio, cuarzo y plagioclasas del tipo oligoclasa. El único mineral accesorio es la biotita que se presenta hematizada; el vidrio conforma la matriz, ocasionalmente da lugar a perlitas y esferulitas siendo su índice de refracción menor al balsamo encontrándose en una proporción modal de 70 % ; el cuarzo, la biotita y la oligoclasa se presentan en su gran mayoría fragmentados y "flotan" dentro de la matriz. Además la roca presenta un 20 % de fragmentos accidentales todos ellos de andesita porfídica que se encuentran sericitizados y cloritizados, variando sus tonos de verde olivo a rojo óxido.

La roca que descansa sobre la brecha volcánica riolítica, es una toba cristaló-vítrea de composición dacítica y que posee como componentes esenciales vidrio, cuarzo y oligoclasa-andesina. La biotita y la hematita son los minerales accesorio y secundario respectivamente.

La matriz está constituida por vidrio en proceso de devitrificación, su índice de refracción es mayor al balsamo encontrándose en un 45 % en la moda; dentro de esta matriz, existen fragmentos angulosos de andesina-oligoclasa, cuarzo y biotita cuyas proporciones volumétricas son del 30, 20 y 5 % respectivamente.

Las rocas de la parte intermedia están constituidas por los siguientes paquetes: 1.- Toba vitro-cristalina riolítica, sus minerales esenciales son el vidrio, plagioclasas zonadas, oligoclasa, cuarzo y feldespato potásico; la biotita es el único

mineral accesorio, derivandose de este último la hematita. al igual que las rocas antes descritas, la matriz es de vidrio (aunque también llega a presentarse en fragmentos angulosos), su índice de refracción es menor al balsamo y su promedio volumétrico es de 55 % . Los fragmentos cristalinos presentes en la roca en conjunto representan el 45 % en la moda, de los cuales el 25 % son plagioclasas, 10 % feldespatos potásicos, 10 % de cuarzo y menos del 0.5 % de biotita. Cabe mencionar que los fragmentos cristalinos y accidentales de las rocas hasta aquí mencionadas no presentan selección ni orientación evidente. 2.- Ignimbrita riolítica. La roca presenta una fábrica de "flow layering" (Best, 1979), el vidrio, cuarzo y plagioclasas del tipo oligoclasa son sus minerales esenciales, mientras que los accesorios son el zircón y anfíboles; estos últimos bastante oxidados lo cual no permite su clasificación exacta. El vidrio y el cuarzo criptocristalino se presentan en bandas, a menudo deformadas dándole a la roca carácter fluidal; en el interior de las bandas existen fragmentos angulosos de oligoclasa, cuarzo, anfíboles y zircón, los que a menudo se presentan rotados y más excepcionalmente imbricados, la mayor parte de sus bordes son transicionales con la matriz. La proporción volumétrica de sus componentes es vidrio 70 %, cuarzo 20 %, oligoclasa 9 %, zircón y relictos de anfíbol 1 % ; el índice de refracción de este primero es menor al balsamo.

La roca coronante es una toba vítrea de composición riolítica siendo sus minerales esenciales cuarzo, plagioclasa del tipo oligoclasa-andesina y vidrio cuyo índice de refracción es menor al balsamo; el mineral accesorio presente es la biotita, como secundarios se tienen clorita, epidota y hematita derivada de la biotita; la matriz está compuesta de vidrio el cual representa volumétricamente el 80 % de la litología y se presenta en forma de esquirlas lo que le da a la roca un aspecto fluidal; la biotita y la oligoclasa-andesina que se presentan en la moda en 3 y 10 % se encuentran como fragmentos dentro de la matriz. Por su parte la epidota y la clorita se observan como grumos relleno de huecos en la matriz.

Algunos fragmentos parecen estar rotados e interrumpiendo la orientación general de las esquirlas de vidrio (shards) cuando éstos chocan con los cristales rotos y angulosos. Ocasionalmente, la matriz se presenta devitrificada y fracturada radialmente dando lugar a esferulitas.

#### III.4.5.- Contactos.

En las porciones sur y noreste del distrito la unidad

sobreyace en discordancia erosional al paquete sedimentario; al noroeste, en las laderas oriental y norte de la mesa Guisisarina descansa discordantemente sobre el Miembro Volcánico Intermedio Seis. En la vertiente occidental del arroyo de la Guisisarina su contacto es tectónico con el miembro ya citado. En el crestón de Piedras de Lumbre, esta unidad se presenta en contacto por falla con los Miembros Volcánicos Intermedios Dos y Cuatro, mientras que 250 m al norte del poblado de San José de Gracia su contacto es erosional discordante con el Miembro Volcánico Uno.

#### III.4.6.- Origen.

Las rocas que incluye esta unidad, son derivadas de emisiones ígneas explosivas que dieron lugar a una eyección de tefra a partir de un conducto central. Las relaciones de campo indican que la violencia de las evacuaciones magmáticas se iba incrementando progresivamente, hasta dar lugar en sus etapas finales a nubes ardientes. La evolución magmática aunada al comportamiento estructural de la región, en cierto modo podrían sugerir un desarrollo semejante al de una caldera volcánica.

### III.5.- Rocas Intrusivas (Tid).

#### III.5.1.- Generalidades.

A lo largo del arroyo del Rosario aflora (aunque de modo discontinuo) una roca de color verde olivo, la cual, presenta tonos amarillentos particularmente en las cercanías de los cuerpos mineralizados encajonados por esta roca. Así mismo intrusión a todas las rocas que afloran en el distrito, con excepción de la Unidad Volcánica Ácida.

#### III.5.2.- Afloramientos.

Estas rocas afloran en forma discontinua en la porción centro-oriental del área cartografiada desde el cruce de los arroyos del Cuervo y San José de Gracia, hasta aproximadamente 1.7 km al sur de la cabecera del arroyo del Rosario.

#### III.5.3.- Características Litológicas Macroscópicas.

La roca presenta un color verde olivo claro al intemperismo y ligeramente más oscuro en roca fresca. Esta litología presenta una textura porfídica, observándose fenocristales de plagioclasa y hornblenda, esta última muestra en sus bordes desarrollo de clorita y/o epidota.

En algunas porciones, este macizo rocoso se muestra brechado con cuarzo lechoso en los intersticios; también presenta sulfuros (pirita y calcopirita) diseminados, cuyas dimensiones máximas promedio son de 0.7 mm, además la roca presenta autolitos

generalmente redondeados, siendo sus tamaños de 1 a 25  $\mu$  ; así como xenolitos de rocas sedimentarias de entre 1 mm y 1 m (fotografías 3 y 4). Excepcionalmente se observan colgantes de roca sedimentaria, debidos seguramente a un proceso de "stoping" (Best, M. , 1979), los cuales exceden los 2 m<sup>3</sup>.

#### III.5.4.- Características Litológicas Microscópicas y Relaciones Texturales.

Se observa que la roca es holocristalina con textura porfídica seriada, siendo sus minerales esenciales cuarzo en una proporción del 4 % , feldespato potásico en un 3 % y plagioclasas del tipo oligoclasa-andesina en un 72 % , las cuales se presentan como constituyentes de la matriz microlítica, como en fenocristales cuyos tamaños máximos son de 6 mm ; como minerales accesorios están hornblenda, biotita y minerales opacos, que en conjunto constituyen el 10 % en la moda.

La mineralogía secundaria consta de epidota, clorita, calcita y sulfuros (pirita y calcopirita), los que definen una alteración propilitica. Adicionalmente presenta óxidos supergénicos, derivados de los minerales opacos; se observan también cuarzo, feldespatos potásicos y sericita.

Los fenocristales de hornblenda y plagioclasa presentan contactos tangenciales entre sí, pero generalmente se encuentran incluidos dentro de la matriz microlítica.

La epidota y la clorita se desarrollan selectivamente en la hornblenda y en la biotita; en menor proporción se encuentran en las zonas internas de plagioclasas zonadas y en los bordes de los sulfuros o incluso pueden encontrarse relleno dentro de la matriz. En algunas ocasiones la calcita y la clorita coexisten en los bordes y en el interior de los fenocristales de hornblenda.

El cuarzo y los feldespatos potásicos secundarios, se presentan en zonas de microbrechamiento, comunmente como fragmentos angulosos aunque el cuarzo también está en forma criptocristalina en la matriz.

La sericita se presenta en los bordes de algunas plagioclasas, en vetillas, así como en el contacto de algunas nacidas de plagioclasa. Adicionalmente, se pueden observar sobrecrecimientos de la misma composición en algunos fenocristales de plagioclasa, lo cual evidencia dos episodios distintos de cristalización; también existen vacuolas en las porciones no microbrechadas.

En función de las anteriores características, la roca se ha clasificado como una diorita porfídica propilitizada

selectivamente, localmente microbrechada y con posible alteración potásica.

#### III.5.5.- Contactos.

Esta roca se encuentra intrusionando a todas las otras unidades litológicas descritas, a excepción de la Unidad Volcánica Ácida (fotografías 5 y 6); además es preciso mencionar que no existe metasomatismo en dichos contactos. En las inmediaciones del cerro del Pirame, su contacto es de tipo tectónico con el paquete de lobas riolíticas como también con la Unidad Sedimentaria.

#### III.5.6.- Origen.

De acuerdo con las relaciones de campo y de laboratorio, se determinó que esta roca es producto de una intrusión hipabisal múltiple en estado semiplástico. Es posible distinguir tres eventos distintos de intrusión, de acuerdo a la existencia de contactos intrusionantes abruptos entre rocas de la misma composición cuyos elementos de diferenciación constituyen la variación en el tamaño de fenocristales, contenido de sulfuros, distribución de alteraciones, presencia de autolitos, encajonamiento de filones mineralizados y la existencia de microbrechamiento en uno solo de los eventos.

Esta roca, fue fechada por el método de K/Ar en hornblendas en  $27.6 \pm 0.6$  millones de años (Clark, K., op. cit.).

### III.6.- Geología Estructural.

Los rasgos estructurales (pliegues, fallas y fracturas) en conjunto, dan lugar a un patrón complejo particularmente en las rocas sedimentarias, debido a la existencia de por lo menos dos eventos tectónicos de plegamiento superpuesto. La cubierta tanto de suelo como vegetal, enmascaran en el terreno muchos rasgos estructurales sobre todo en la secuencia ígnea.

Cabe mencionar que buena parte del drenaje, está controlado por fallas y fracturas, aunque la capa aluvial es delgada impide definir con claridad dichos rasgos.

#### III.6.1.- Estructuras Observables.

En la zona de trabajo, existen dos sistemas mayores de fallamiento normal en bloques, los cuales se describen a continuación:

1.- El sistema más antiguo, que afectó el área, presenta una orientación NW-SE, la cual varía entre los  $15^{\circ}$  y  $39^{\circ}$  con buzamientos exclusivamente hacia el noreste. Lo anterior queda bien manifestado y definido por las fallas de los arroyos de San José de Gracia y la Purísima, así como por la falla del Puerto del Aire (Figura 5).

2.- El otro sistema presenta una variación de rumbo entre  $8^{\circ}$  y  $33^{\circ}$  en dirección NE-SV cuyos buzamientos son tanto al este como al oeste, dando lugar a la formación de un graben en la porción central del distrito. Dicho sistema está representado por las fallas del arroyo del Díez y la del Crestón de Piedras de Lumbre (Figura 5), (Fotografía No.7).

Se identificaron además otros sistemas de fallamiento normal menor con desplazamientos que varían entre 0.4 y 15 m con orientaciones que oscilan entre N  $10^{\circ}$  W y N  $10^{\circ}$  E, así como entre N  $60^{\circ}$  E y S  $70^{\circ}$  E estos dos sistemas son los de mayor importancia desde el punto de vista de la exploración minera, ya que muchas obras mineras han sido abandonadas cuando los cuerpos mineralizados se encuentran dislocados por las fallas de estos dos últimos sistemas, debido a la falta de asesoría de tipo técnico.

Cabe mencionar que varias de las fallas de los sistemas mayores se encuentran asociadas al contacto de los cuerpos intrusivos dioríticos con la cubierta sedimentaria.

Entre los rasgos observados en las rocas sedimentarias

se tiene una serie de micropliegues:

a).- Pliegues tipo chevrón, presentan una amplitud máxima entre flancos de unos 3.5 m y un ángulo interflancos que va de 35 a 45° este tipo de estructuras, presentan una orientación variable, sin embargo todos ellos son recumbentes con ángulos de 80 a 90° de inclinación en sus ejes y en dirección preferente hacia el oriente. Estos pliegues, se desarrollan en donde predominan estratos de lutitas negras.

b).- Micropliegues en forma de hongo, este tipo de estructuras se presentan donde existe una alternancia de calizas de estratificación delgada (10 a 15 cm) con lutitas negras, con espesores máximos de 10 cm. Dichos pliegues presentan frecuentemente estructuras de boudinage en sus crestas, tienen una amplitud máxima de aproximadamente 1.5 m y sus superficies de charnela siempre se orientan hacia el noreste.

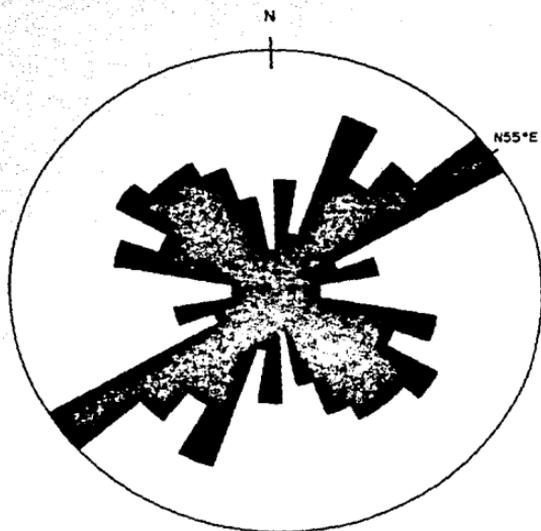
c).- Micropliegues simétricos, presentan una amplitud entre 1 y 1.5 m, el ángulo interflancos varía entre 90 y 120°, desarrollándose en calizas masivas y de estratificación media (25 a 60 cm).

Muchos de los pliegues de tipo chevrón presentan plegada su superficie axial particularmente en las cercanías de su cresta, así mismo la existencia de pliegues en forma de hongo, los cuales según Ramsay (1977) "se desarrollan normalmente cuando pliegues recumbentes son replegados por nuevas estructuras con superficies axiales fuertemente inclinadas", son las dos evidencias más importantes del plegamiento superpuesto ocurrido en el área.

Con los datos estructurales de fracturamiento tomados en campo y analizados estadísticamente por medio de rosetas, se pudo concluir que la orientación preferencial en las rocas sedimentarias es de N55°E (Fig. 6), mientras que para las rocas ígneas varía de N30°E a N70°E (Fig. 6A). De acuerdo con esto podemos concluir que es muy probable sean producto de un mismo sistema de esfuerzos.

### III.7.- Geología Histórica y Tectónica regional.

En el Distrito Minero de San José de Gracia se han podido distinguir grandes fenómenos geológicos que evidentemente han tenido que ver con los distintos eventos metalogénicos desarrollados en la región. El episodio más antiguo se manifestó



UNAM | Facultad de Ingeniería

Tesis Profesional

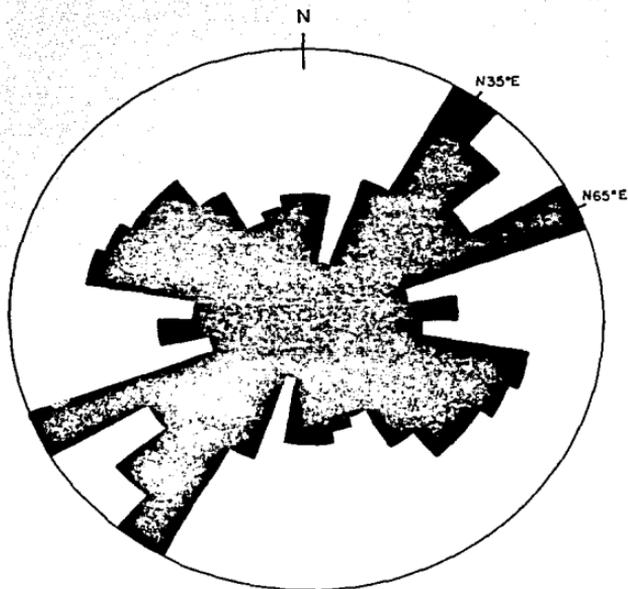
Diagrama de Fracturas  
(Rocas Sedimentarias)

Datos: 103

Fig. 6

Z.B.J.A. y E.V.S.

1989



UNAM	Facultad de Ingeniería	
	Tesis Profesional	
	Diagrama de Fracturas (Rocas Igneas)	
	Otos: 247	Fig. 6A
Z.B.J.A. y E.V.S.		1989



por la deposición de una secuencia de sedimentos marinos de plataforma, representados en el área por un paquete de calizas masivas, lutitas alternadas con calizas de estratificación delgada, areniscas y horizontes de pedernal. A este paquete se le ha asignado una edad Jurásico Tardío-Cretácico Temprano por la presencia de Cefalópodos (Amonoideos), los cuales tienen un rango que abarca del Titiánico Tardío a Neocomiano Temprano, por lo que es posible afirmar que las rocas de esta área pertenecen al Mesozoico (Barceló, op. cit.).

El depósito de este paquete se llevó a cabo en una cuenca de post-arco, generada por la colisión de la paleoplaca Farallón y la placa Norteamericana. El arco magmático se edificó a menos de 100 Km de la paleotrinchera desde el Jurásico Medio hasta el Cretácico Superior (Gastil, 1976), periodo durante el cual el arco migró hacia el oriente aproximadamente 0.7 cm por año (Coney y Reynolds, 1977).

Durante el Cretácico Superior y parte del Paleoceno, la cubierta sedimentaria estuvo sujeta a esfuerzos compresivos, debido a la evolución continental del área, lo cual es atribuido al cambio de rotación del polo de la paleoplaca Farallón (Coney, 1978), (Figura. 7).

Una vez que cesaron los esfuerzos y tal vez desde el Paleoceno Tardío hasta el Eoceno Tardío, se llevó a cabo el emplazamiento del paquete andesítico, quedando englobado este periodo dentro de dos eventos tectónicos de gran importancia.

1).- Desarrollo de la orogenia Laramide (Cretácico Superior-Eoceno), durante la cual el arco avanzó hacia el oriente a razón de 2.3 cm por año (Coney y Reynolds, op. cit.).

2).- Manifestaciones ígneas de composición intermedia, que constituyen la base de la Sierra Madre Occidental, entre los 140 y 40 m.a. (Mc Dowell y Clabaugh, op. cit.).

Durante el Eoceno Tardío y el Oligoceno Temprano se desarrollaron dos sistemas de fallamiento (que a la postre servirían como los conductos preferentes de las soluciones mineralizantes), uno de rumbo NW-SE y otro NE-SW, ambos con echados preferentes hacia el oeste. Durante esta etapa se nota un decaimiento del vulcanismo, lo cual podría correlacionarse con el cese magmático acaecido durante los 45 y 34 m.a. atribuido por Coney y Reynolds (op. cit.) así como por Damon (1981) a una disminución del ángulo de inclinación de la zona de Benioff; no obstante Mc Dowell y Clabaugh (op. cit.) lo asocian a un cese parcial de la subducción.. (figura. 7).

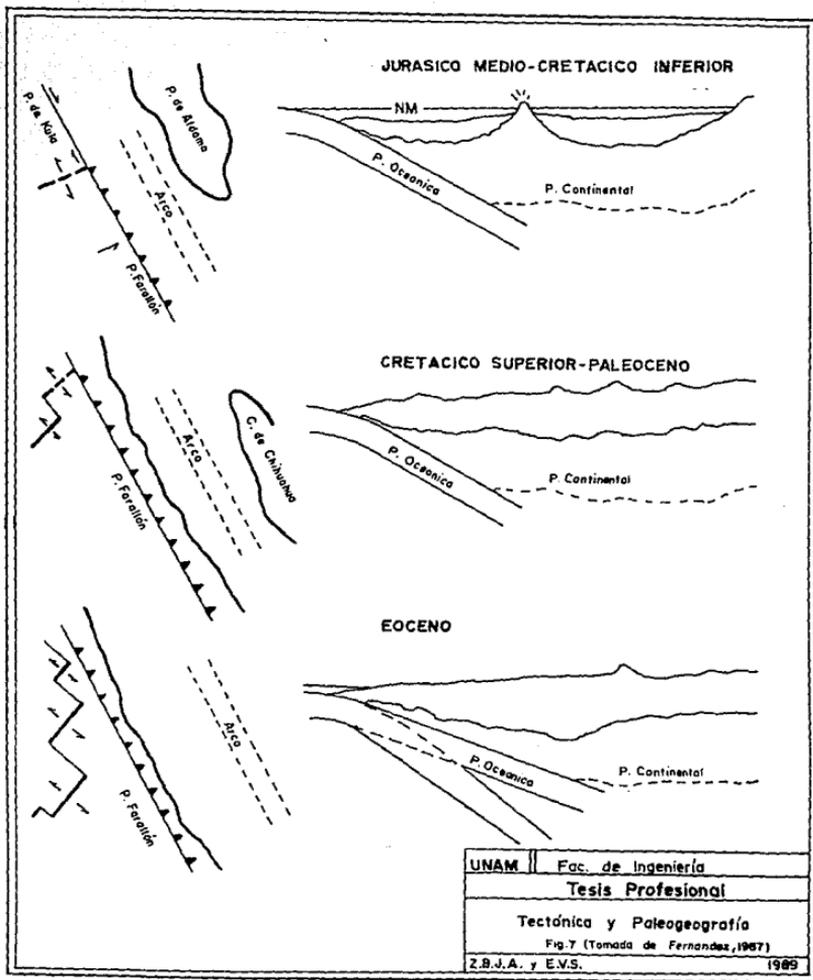
Desde el Oligoceno Tardío hasta los  $27.6 \pm 0.6$  m. a.

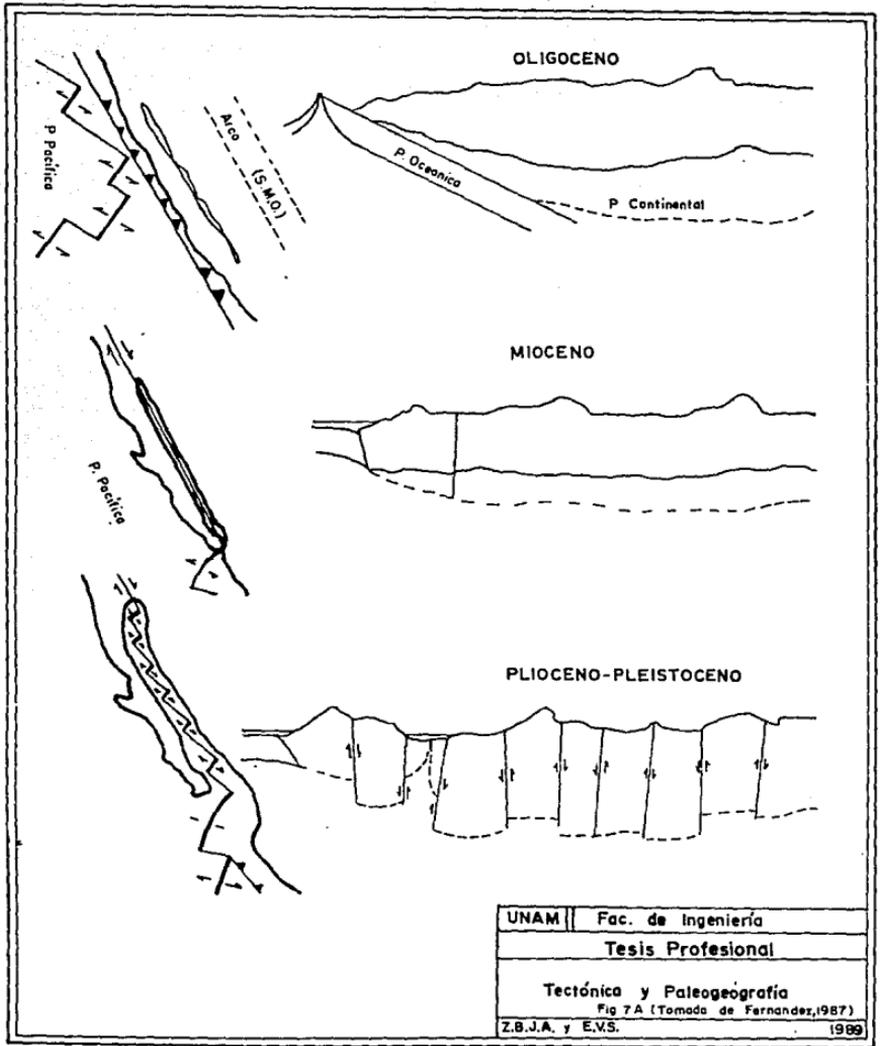
Cedad de las dioritas del arroyo del Rosario datadas por medio de K/Ar en hornblendas por Clark. F. . op. cit.). se reanuda subitamente la actividad ignea la cual se manifiesta por una cubierta de tobas rioliticas así como por una intrusión múltiple de dioritas.

Durante esta etapa y asociada espacio-temporalmente a los últimos eventos de intrusión múltiple del cuerpo diorítico muy probablemente se llevó a cabo la mineralización de la zona, la que se emplazó en las cubiertas sedimentaria y andesítica, en la base del paquete riolítico y en la diorita.

Esta reincidencia ignea que manifiesta la bimodalidad del magmatismo, pudiera tener relación con el retroceso del arco magmático entre los 34 y 27 m. a. (Mc Dowell y Glabaugh op. cit.), ocurriendo a razón de 5 cm por año (Damon op. cit.).

Después de que el magmatismo declinó totalmente y que según Atwater (1976) fue debido a la subducción del rift oceánico del Pacifico se tiene el último fenómeno del área, representado por la formación de dos sistemas de fallamiento normal en bloques el mayor de orientación N 15°-39° W y el adyacente más joven de rumbo N 8°-33° E; el primero con buzamientos hacia el oriente y el otro con echados tanto al oeste como al este, al cual están asociadas una serie de fallas normales con desplazamientos que no rebasan los 15 m.





UNAM	Fac. de Ingeniería
Tesis Profesional	
Tectónica y Paleogeografía	
Fig 7A (Tomada de Fernandez, 1987)	
Z.B.J.A. y E.V.S.	1989

## *Capítulo IV*

#### IV.- Yacimientos Minerales.

En el distrito Minero de San José de Gracia existen tres tipos de estructuras mineralizadas: mantos, vetas y stockworks.

Los mantos están encajonados por la cubierta de rocas sedimentarias particularmente en donde existe alternancia de calizas con lutitas negras fisiles.

Las vetas y stockworks se encuentran encajonados por todas las rocas presentes en el distrito con excepción de la Unidad Volcánica Acida. Su distribución se divide en dos grupos en función de su orientación:

El primer grupo se orienta con rumbos que varían entre N 3° W y N 68° W con buzamientos hacia el suroeste (Figura. 8). El segundo presenta rumbos que oscilan entre N 25° E y N 65° E con buzamientos, generalmente, hacia el noroeste (Figura. 8).

De acuerdo con lo anterior se puede afirmar que dichas vetas y stockworks, dan lugar a una distribución de "Malla en Enrejado con Angulo Agudo" (Mc Kinstrey, op. cit.), (Figura. 8).

Cabe señalar que en las vetas y stockworks del distrito se presentan dos eventos de mineralización. En el primero la forma del cuarzo va de subedral a eudral, es incoloro y está asociado con sulfuros y clorita en grumos diseminados, formando un mosaico homogéneo de grano grueso; este mosaico se muestra brechado como producto de un segundo evento mineralizante compuesto por un cuarzo criptocristalino, cuyas tonalidades varían de gris a rojizo; sulfuros, clorita y arcillas. También llegan a presentarse asociados a este segundo evento la calcita, relleno de espacios abiertos o intersticios del mosaico primario, y mas excepcionalmente yeso.

Las asociaciones minerales y secuencia de depósito de los sulfuros es distinta en las diferentes vetas y stockworks, siendo necesaria una descripción individual de cada uno de ellos.

##### IV.1.- Factores que controlaron la mineralización.

La actitud de los cuerpos tabulares mineralizados tiene relación directa con un sistema de fracturamiento y fallamiento normal premineralización, el cual se ha dividido en dos grupos, uno de orientación que oscila entre N 03° W y N 68° W con buzamientos hacia el suroeste y otro de de rumbo variable entre N 25° E y N 68° W con echados al noroeste. La presencia de dichas



discontinuidades favoreció el ascenso de las soluciones Mineralizantes y consecuente precipitación de los metales en el interior de estos canales abiertos, dando lugar a la formación de vetas y stockworks.

La presión ejercida por los fluidos mineralizantes en los conductos de las rocas por las cuales circularon fue suficiente para brechar dichas rocas, así como para provocar el ascenso de fragmentos de caliza y lutita, del subestrato sedimentario, que junto con fragmentos andesíticos dieron lugar a la formación de brechas exóticas cementadas por cuarzo (contemporáneas con las vetas y stockworks), que se emplazaron al alto y/o al bajo de las estructuras tabulares; incluso dentro de estos mismos cuerpos existen fragmentos originados de esta manera.

La alternancia de calizas y lutitas negras fisiles de la parte intermedia de la cubierta sedimentaria, favoreció la formación de mantos mineralizados al circular las soluciones ascendentes por estas rocas, pues dicha alternancia puede traducirse como una alternancia de permeabilidades y reactividad química, siendo las calizas las rocas reactivas y permeables; esto último incrementado, muy probablemente por disolución ocasionada al reaccionar la roca con las soluciones mineralizantes.

Una vez emplazada la mineralización, la zona estuvo sujeta a esfuerzos distensivos, originándose así un sistema de fallamiento normal en bloques (descrito en el inciso de Geología Estructural). Sin embargo debido al actual desarrollo de las obras mineras no se han presentado problemas de dislocamiento de los cuerpos mineralizados a causa de este sistema (pues no se ha cortado aún, ninguna de las fallas mayores que conforman el mencionado sistema), pero sí por un conjunto de fallas menores con desplazamientos de entre 0.40 y 15 m, cuyas tendencias de orientación preferente varían de N10°E a N10°W y de N60°E a S70°E con buzamientos tanto al poniente como al oriente.

#### IV.2. - Stockwork Tres Amigos.

##### IV.2.1. - Generalidades.

La mina de Tres Amigos de encuentra en la parte noreste del distrito, sobre la vertiente oriental del arroyo del Rosarito, aproximadamente a 3.8 Km en línea recta al nororiente del poblado de San José de Gracia y a 700 m al norte de la ranchería del Rosarito.

##### IV.2.2. - Rocas Encajonantes.

La roca huésped de esta estructura mineralizada, es una

diorita porfídica que se encuentra propilitizada selectivamente, quedando ello establecido por la presencia de clorita, epidota, calcita, arcillas y sulfuros (ver relaciones texturales de estos minerales en el apartado de rocas intrusivas).

Así mismo, esta roca se encuentra silicificada particularmente en las tablas del stockwork. Por otra parte es posible que la roca presente una alteración potásica, pues en algunas porciones se muestra microbrechamiento en donde existen fragmentos de feldespatos potásicos de origen secundario.

#### IV.2.3.- Geometría y Estructuras.

La estructura mineralizada consiste de un stockwork, cuyo rumbo varía de N 30° E a N 40° E con echados de 43 a 67° en dirección noroeste. Tiene una longitud reconocida de 100 m en el interior de la mina y de aproximadamente 1 Km en superficie, presentando un desnivel máximo de 190 m (entre las cotas 590 y 780 m. s. n. m.), la potencia de la estructura es superior a los 4 m.

#### IV.2.4.- Mineralización.

La estructura está constituida por un mosaico de cuarzo y clorita, presentando sulfuros como la pirita, galena, calcopirita y esfalerita. Así mismo, se pueden observar fragmentos angulosos de hasta 15 cm de caliza y lutita dentro del mosaico. Al alto del stockwork existe una brecha de caliza y lutita cementada por cuarzo, con algunos sulfuros diseminados (Fotografía. 8).

Microscópicamente se observa una textura de relleno de fisuras y se puede distinguir la existencia de dos eventos de mineralización:

El primer episodio, está caracterizado por una asociación de cuarzo incoloro + clorita + pirita + galena, dando lugar a un mosaico de grano grueso. La pirita es subedral y eudral, sus tamaños oscilan entre 1.832 y 0.0499 mm y se encuentra relleno los intersticios del mosaico de cuarzo y clorita.

En la mayor parte de las ocasiones la galena que es anedral, se manifiesta en el interior de algunas piritas, aunque también de modo ocasional se llega a presentar diseminada. Su tamaño promedio es 0.0364 mm.

La clorita se encuentra distribuida homogéneamente en el mosaico y muchas veces está en contacto con la pirita.

El segundo evento lo constituye la asociación cuarzo + clorita + calcita + arcillas + pirita + calcopirita + esfalerita. El cuarzo de este segundo evento es criptocristalino y se presenta en vetillas las cuales provocan brechamiento del mosaico del primer evento.

En forma diseminada, euedral y con tamaños que varían entre 0.166 y 0.266 mm , se encuentran las piritas de este último episodio. La calcopirita se presenta en forma anedral tanto en diseminaciones como en cristales de hasta 3.831 mm , mismos que junto con el cuarzo criptocristalino, bordean y/o brechan a las piritas del evento inicial. La esfalerita es anedral y se encuentra en contacto tangencial con las piritas del primer evento; su tamaño promedio es de 0.320 mm . Todas las vetillas de cuarzo criptocristalino presentan en forma diseminada una gran cantidad de clorita y esporádicamente coexiste con calcita, la cual también forma vetillas. Finalmente, las arcillas se presentan diseminadas de forma bastante homogénea en todo el mosaico.

Diagrama de Sucesión Mineralógica del Stockwork Tres Amigos

	Primer Evento	Segundo Evento
CUARZO	De Subedral a Eudral Incoloro	Cripcristalino Grisáceo
PIRITA	De Subedral a Eudral	Eudral
GALENA	Anedral	Anedral
CALCOPIRITA		Anedral
ESFALERITA		Anedral
CALCITA		En vetillas
CLORITA	Diseminada	Diseminada
ARCILLAS		Diseminadas

\*Por medio del estudio mineralográfico no se pudo identificar la presencia de oro, sin embargo se infiere su existencia de acuerdo con los ensayos químicos que nos fueron proporcionados por la Compañía Minera Metalúrgica Rosarito S.A. de C.V.

### IV.3.- Veta San José.

#### IV.3.1.- Generalidades.

La veta San José se localiza en la parte NE del distrito aproximadamente a 200 m al N de la ranchería del Rosarito sobre el arroyo del mismo nombre.

#### IV.3.2.- Rocas Encajonantes.

En su parte NE, la veta aflora encajonada por una diorita porfídica, la cual contiene minerales secundarios como la clorita, epidota, calcita, arcillas y sulfuros, que demuestran alteración propilitica; esta alteración tiene un carácter selectivo, pues la epidota y la clorita se desarrollan en los cristales de la hornblenda y en algunos casos en la matriz, mientras que la calcita rellena espacios abiertos y las arcillas se derivan de los fenocristales de plagioclasas ( ver relaciones texturales de rocas intrusivas ). Esta diorita también se encuentra silicificada, particularmente en los respaldos de la veta y probablemente presenta una incipiente alteración potásica en zonas de microbrechamiento presente en la roca.

Otra roca que encajona la veta en su porción SV, la constituye una andesita porfídica (Miembro Volcánico Intermedio Cuatro); en los respaldos de la estructura, la matriz está parcialmente substituida por cuarzo criptocristalino y microbrechada por una introducción de cuarzo también criptocristalino en forma de vetillas a las cuales se asocia la hematita; muchos fenocristales brechados de plagioclasa se presentan cloritizados; además en esta zona existe una alta concentración de arcillas distribuidas homogéneamente en la roca. Al alejarse entre 5 y 7 m de la zona mineralizada la roca ya no se manifiesta microbrechada, sin embargo la matriz se mantiene silicificada; por su parte, la calcita se presenta relleno de huecos en la matriz y reemplazando fenocristales de plagioclasa en sus partes internas.

#### IV.3.3.- Geometría y Estructuras.

La estructura mineralizada de San José, es una veta cuyo rumbo varía de N 45° E a N 65°E, con echados que oscilan de 38° a 65° al noroeste. Tiene una longitud de al menos 2.4 Km, presenta un desnivel de aproximadamente 300 m (sobre la vertiente oriental del arroyo del Rosarito), entre las cotas 570 y 870 m. s. n. m. ; presenta una potencia que fluctúa entre 0.90 y 1.40 m y se encuentra encajonada por una diorita y por las rocas del Miembro Volcánico Intermedio Cuatro.

#### IV.3.4.- Mineralización.

La estructura está constituida por un mosaico de cuarzo + clorita en donde se encuentran alojados fragmentos de angulosos de roca silicificada (de hasta 3.5 cm de tamaño) y sulfuros como la pirita y la calcopirita. Al microscopio se observa una textura de relleno de fisuras manifestando dos eventos de asociación mineral. El primer episodio forma un mosaico de grano grueso de cuarzo + clorita + pirita. el cuarzo se presenta subedral y euedral creciendo en gran medida a partir de los fragmentos de roca. en la gran mayoría de los intersticios de este mosaico, se encuentra la pirita la cual existe en cristales subedrales y euedrales con tamaños que varían entre 1.25 mm y 0.25 mm.

Por su parte la clorita se observa diseminada en forma homogénea en el mosaico primario y en algunas ocasiones se asocia a los bordes de la pirita.

La segunda etapa de mineralización está constituida por una asociación de cuarzo + clorita + arcillas + pirita + calcopirita + galena + covelita + esfalerita.

El cuarzo de este último evento es criptocristalino, emplazándose en vetillas, las cuales brechan al mosaico primario y presentan un diseminado de arcillas y clorita.

Las piritas son euedrales, diseminadas y su tamaño promedio es de 0.095 mm, la calcopirita se muestra en cristales anedrales, frecuentemente bordea a los cristales de pirita del mosaico inicial, también se presenta diseminada en pequeños cristales con tamaño promedio de 0.137 mm; algunas piritas brechadas se muestran parcialmente bordeadas por diminutos cristales de galena o esfalerita (esta última con inclusiones de calcopirita de forma anedral) con tamaños de 0.043 mm y 0.158 mm, respectivamente. Sin embargo nunca se presentan en contacto estas dos últimas especies minerales.

Así mismo la galena se encuentra en el interior de algunas piritas del primer evento mineralizante. La covelita se deriva supergenicamente de la calcopirita existiendo en cristales anedrales con tamaños que varían entre 0.116 mm y 0.049 mm, localizándose en los bordes de la galena y pirita o en diseminaciones.

Diagrama de Sucesión Mineralógica de la Veta San José.

	Primer Evento	Segundo Evento
CUARZO	Eudral	Cripcristalino
CLORITA	Diseminada	Diseminada
ARCILLAS		Diseminadas
PIRITA	De Subedral a Eudral	Eudral
CALCOPIRITA		Anedral
GALENA	Anedral	Anedral
ESFALERITA		Anedral
COVELITA		Anedral

\* De acuerdo con análisis químicos se manifiesta la presencia de oro, probablemente nativo, en proporción tal que ninguna de las estructuras mineralizadas estudiadas han superado los contenidos reportados para esta veta.

#### IV.4.- Veta San Josecito.

##### IV.4.1.- Generalidades.

La mina de San Josecito se encuentra a 800 m al sureste en línea recta de la ranchería El Rosario y sobre la vertiente norte del arroyo de los Cochis, la obra consta de un pequeño socavón, que va a rumbo de veta con un desarrollo de aproximadamente 8 m de longitud.

##### IV.4.2.- Rocas Encajonantes.

La veta de San Josecito es un caso excepcional entre las demás estructuras mineralizadas reconocidas en el distrito, ya que se emplazó exactamente en el contacto del cuerpo diorítico con una secuencia de lutitas que forma parte de la Unidad Sedimentaria (Fotografía No 9).

##### IV.4.3.- Geometría y Estructuras.

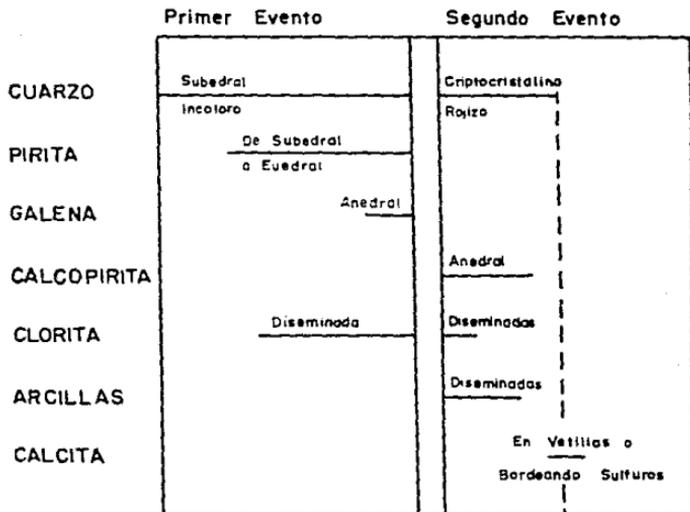
La veta de San Josecito presenta un rumbo NE-SW, con echados de hasta 80° en dirección sureste. La potencia promedio de la estructura observada en la mina es de 1 m; se pudo reconocer por medio de afloramiento una longitud de aproximadamente 65 m en su porción norte.

##### IV.4.4.- Mineralización.

La estructura es una veta de cuarzo en la que megascópicamente se observan cristales de pirita de hasta 0.8 cm de tamaño, trazas de calcopirita y en afloramiento una gran cantidad de limonitas. Microscópicamente la textura es del tipo de relleno de fisuras, definida por un mosaico homogéneo de cuarzo + pirita + galena + clorita, el que presenta brechado por un cuarzo criptocristalino que muestra relación con la siguiente asociación de minerales: calcopirita + clorita + arcillas + calcita.

La pirita se presenta de subedral a eudral con tamaños de entre 8 y 0.0166 mm, ocupando huecos dentro del mosaico de clorita y cuarzo subedral; la galena se aloja dentro de las piritas y en diseminaciones frecuentemente asociadas con clorita. La calcopirita es anedral y su tamaño promedio es de 0.171 mm, encontrándose preferentemente bordeando los cristales de pirita, adaptándose a la forma de los cristales de esta última. La clorita y las arcillas se mantienen diseminadas; la calcita se observa en vetillas y comúnmente bordeando a los sulfuros.

Diagrama de Sucesión Mineralógica de la Veta Sas Josecito



\* De acuerdo a análisis químicos sabemos de la presencia de oro, probablemente nativo, aunque en pequeña proporción.

#### IV.5.- Veta San Pablo.

##### IV.5.1.- Generalidades.

Esta estructura mineralizada se localiza a 2.7 Km en línea recta al noreste de San José de Gracia y a 600 m, al suroeste de la ranchería del Rosario sobre el arroyo de las Higueras.

Las obras mineras realizadas sobre la estructura de San Pablo están constituidas por tres socavones (Frente de Paco, Frente Intermedia y la Frente Superior) y un tiro (San Pablo). Sin embargo la única obra que en el tope está a rumbo de veta es la Frente de Paco (cota 630 m. s. n. m.) ya que la Frente Superior (cota 662 m. s. n. m.) va fuera de la veta la mayor parte del cuele, mientras que en la Frente Intermedia, la veta está dislocada por una zona de falla de aproximadamente 2 m de ancho, cuyos rumbos oscilan entre N 74° W y N 72° W con buzamientos al sureste entre 45° y 83°. Cabe indicar que en la Frente de Paco se han atravesado tres vetas distintas una de rumbo N 47° E con 75° de echado al oeste y que tiene un desarrollo a rumbo de veta de aproximadamente 5 m (en la Frente del Arroyo) y otras dos más o menos paralelas con rumbos que oscilan entre N 25° E y N 43° E y echados que fluctúan entre 60° y 84° al noroeste.

##### IV.5.2.- Rocas Encajonantes.

La roca huésped de la veta San Pablo es una andesita porfídica (Miembro Volcánico Intermedio Tres) brechada y silicificada en los respaldos de la estructura; fuera de la zona de silicificación la roca se muestra propilitizada selectivamente (ver relaciones texturales del Miembro Volcánico Intermedio Tres); esta alteración está representada por la asociación de clorita + epidota + piritita + calcita.

Cabe mencionar que al bajo de la veta, en la Frente Superior se observa una brecha de caliza, lutita y andesita muy silicificada (brecha exótica).

##### IV.5.3.- Geometría y Estructuras.

La veta principal tiene un rumbo que varía de N 30° E a N 45° E y echados que fluctúan entre 65° y 84° en dirección noroeste; su espesor no es uniforme y varía de 15 cm a 1.5 m, su longitud reconocida es de al menos 300 m con un desnivel de 40 m entre las cotas 630 y 670 m. s. n. m.

##### IV.5.4.- Mineralización.

La veta está constituida de cuarzo en donde es posible

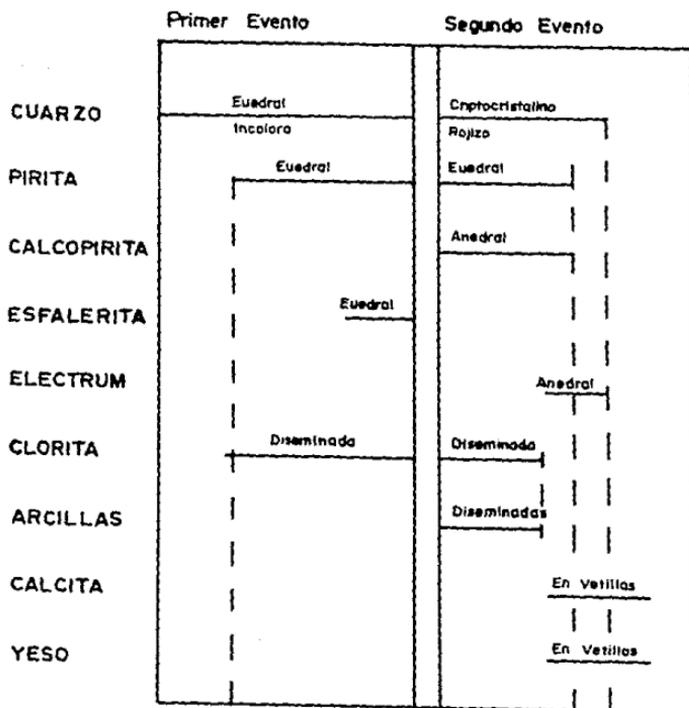
distinguir macroscópicamente pirita, calcopirita, algunos sulfatos de cobre y óxidos de manganeso; también localmente existen vetillas de yeso. Microscópicamente se distinguen dos eventos de depósito mineral en ambos los sulfuros se presentan relleno de fisuras; el episodio inicial está representado por la asociación de cuarzo + clorita + pirita + esfalerita; estas dos últimas especies mineralógicas se alojan relleno de espacios o intersticios del mosaico de grano grueso formado de cuarzo (eudral e incoloro) y de clorita.

La pirita y la esfalerita son eudrales y sus dimensiones promedio son de 0.1002 mm y 0.016 mm respectivamente.

El mosaico primario se encuentra brechado por un cuarzo rojizo criptocristalino que se presenta relacionado temporalmente a la asociación eléctrum + pirita + calcopirita + clorita + arcillas + calcita + yeso; la calcopirita es anedral con tamaños que fluctúan de 0.0149 mm y 0.0166 mm y se manifiesta tanto diseminada como bordeando a la pirita del primer evento. Las piritas muestran un tamaño promedio de 0.063 mm y se encuentran en forma de cristales eudrales diseminados.

Las arcillas y la clorita están diseminadas, mientras que la calcita y el yeso en vetillas. El eléctrum se encuentra en forma de pequeños cristales aislados y anedrales de hasta 0.681 mm de tamaño y a veces presenta contacto tangencial con piritas de cualquiera de los dos eventos.

Diagrama de Sucesión Mineralógica de la Veta San Pablo.



#### IV.6.- Veta Palo Chino.

##### IV.6.1.- Generalidades.

La mina de Palo Chino se encuentra en la porción central del distrito aproximadamente a 1.3 Km al sur-suroeste de la ranchería del Rosarito sobre la vertiente occidental del arroyo de Palo Chino, mismo que es afluente del arroyo de la Purísima.

##### IV.6.2.- Rocas Encajonantes.

La veta de Palo Chino se encuentra encajonada por dioritas en su porción sur, por lutitas y calizas de la secuencia sedimentaria en la parte central y por las andesitas porfídicas del Miembro Volcánico Intermedio Tres en su porción norte. Sin embargo la estructura solamente es y ha sido explotada dentro de esta última litología, la cual presenta una evidente alteración propilítica, de acuerdo con la presencia de minerales secundarios como clorita + epidota + calcita + pirita; así mismo la roca presenta una intensa silicificación hacia los respaldos de la estructura mineralizada.

##### IV.6.3.- Geometría y Estructuras.

La veta tiene un rumbo que varía entre N 3° W y N 64° W con echados entre 38° y 66° hacia en suroeste, su espesor fluctúa entre 0.81 y 3.2 m; la longitud apreciada por medio de afloramientos es de 1.5 Km, la estructura se ve afectada por una serie de fallas cuyos rumbos y echados son muy semejantes a los de la veta y es a causa de estas que la veta llega a alcanzar los 3.2 m de potencia, así mismo la distribución de las mencionadas fallas, en algunos casos dan la apariencia de que existen dos vetas distintas dentro de la mina. Su desnivel dentro de la mina es de 40 m, entre las cotas 510 m. s. n. m. (nivel Piso Rieles) y 550 m. s. n. m. (lumbera Tajo Verde).

##### IV.6.4.- Mineralización.

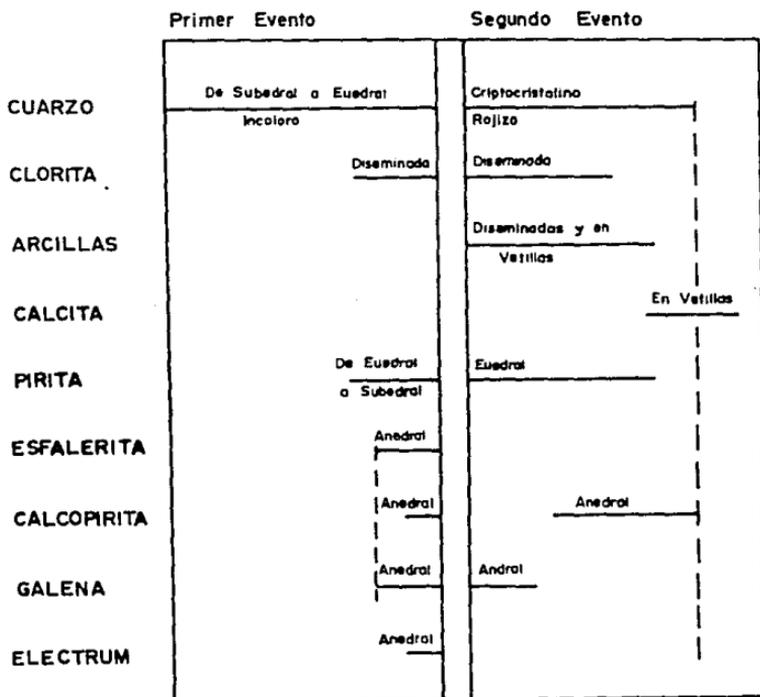
Megascópicamente se observa pirita, calcopirita y limonitas todas ellas dentro de una masa de cuarzo incoloro y roca alterada. Ocasionalmente existen vetillas de cuarzo rojizo con algunas piritas diseminadas; a nivel microscópico se observa una textura de relleno de fisuras y la presencia de dos eventos de depositación mineral. El primero de estos está constituido por un mosaico de grano grueso de cuarzo incoloro subedral a eudral y clorita diseminada, en cuyos intersticios se alojan piritas cuedrales o subedrales de 0.374 mm de tamaño promedio; en el interior de este mineral se presentan algunos granos de galena anedral que varía de 0.066 mm y 0.149 mm, misma que presenta

exsoluciones de calcopirita. Este mosaico además presenta una cantidad mínima de disecciones de esfalerita anedral con tamaños de hasta 0.0833 mm. La mineralización económica está asociada a este evento, pues algunas piritas presentan en su interior, cristales anedrales de electrum cuyos tamaños oscilan entre 0.0833 mm y 0.0166 mm.

El episodio final de depósito mineral, dio lugar a una asociación de cuarzo + clorita + arcillas + calcita + pirita + calcopirita + galena. El cuarzo de este evento es criptocristalino rojizo, presentándose en forma de vetillas las cuales provocan brechamiento del mosaico primario. La pirita se presenta de subedral a eudral en disecciones con un tamaño promedio de 0.045 mm. Por su parte la calcopirita es anedral y sus tamaños van de 0.549 mm a 0.033 mm y puede encontrarse tanto en disecciones como bordeando principalmente a las piritas del primer evento o a los cristales de galena anedral con exsoluciones de calcopirita del segundo evento.

La calcita y las arcillas se presentan en vetillas, aunque estas últimas también pueden presentarse en disecciones junto con la clorita.

Diagrama de Sucesión Mineralógica de la Veta de Palo Chino.



IV.7.- Hipótesis Genética.

Es muy probable que los yacimientos del distrito se encuentren asociados espacial y temporalmente con las fases finales de intrusión de las dioritas; sin embargo con los datos actuales es difícil establecer con precisión los parámetros genéticos involucrados en los procesos de fuente-transporte-depósito de los metales.

Tal vez la primera fase de la evolución de la cámara magmática de la cual se supone derivaron los fluidos mineralizantes se tradujo en un fraccionamiento del magma en cristales, mezcla y fases volátiles. Una vez desarrollado el primero y tal vez el segundo de los eventos intrusivos se formó dentro de la cámara magmática una solución subalcalina enriquecida en agua (debido a la cristalización de los minerales anhidros: cuarzo y plagioclasas) así como en elementos incompatibles (Au, Ag, Zn, Pb, Cu, Te, Se, Cl, As, Sb, etc.). Entonces, los metales probablemente tuvieron su fuente de origen en el magma.

Posteriormente a la caída de temperatura dentro de la cámara magmática (causada por difusión con la roca huésped o por convección del sistema), probablemente se produjo una nueva nucleación de plagioclasas y en proporción mínima cuarzo, aumento de la fase acuosa y decremento de la solubilidad, lo cual posiblemente promovió la exsolución de la fase fluida y la expansión volumétrica del sistema hidrotermal; esto produjo una rápida pérdida de volátiles los cuales alteraron las rocas encajonantes y precipitaron los metales a través de un sistema de fracturamiento y fallamiento normal preexistente o por medio de reemplazamiento de estratos de caliza que alternan con lutitas negras fisiles. Es muy probable que durante esta etapa haya existido una fuerte influencia de agua meteórica en el sistema hidrotermal, el cual tal vez se manifestó como un campo geotérmico.

Durante el proceso antes mencionado, teóricamente, los metales preciosos comenzaron a precipitar cuando más del 20 % de la masa de la solución mineralizante se transformó en vapor (Ohmoto y Drumond, 1979), es decir cuando existió una elevada fugacidad de oxígeno.

La ausencia de la paragénesis bohemita-muscovita sugieren que las condiciones físico-químicas de precipitación metálica fueron alcalinas y oxidantes (Barnes, 1979), por ello se ha considerado que durante el transporte de los metales preciosos los complejos de cloro dominaban sobre los campos del azufre, sin descartar la posible presencia de compuestos de As, Se, Te y Sb.

La depositación del oro a partir de los complejos de cloro tuvo que llevarse a cabo por combinación de algunas de las siguientes causas:

- Incremento de las concentraciones de  $H_2S$ , ya que los complejos de cloro se encuentran en equilibrio cuando son bajas las concentraciones de este compuesto.

- Incremento del pH causado por la reacción de los fluidos mineralizantes con los minerales de las rocas encajonantes.
- Decremento de las concentraciones de cloro como resultado de la circulación de aguas meteóricas o causadas por reacciones que adicionan fuertes cantidades de cloro a cationes de calcio.
- Decremento de temperatura.

De acuerdo con el escaso contenido de metales base, textura de los cuerpos mineralizados, alteración de las rocas encajonantes y con los datos termométricos, obtenidos por alumnos de la Facultad de Ingeniería (inédito), en los que se obtuvieron temperaturas de homogenización de entre 290 y 230° C, los yacimientos del distrito se han clasificado tentativamente como epitermales, pero es necesario un estudio más preciso para definir si los yacimientos en cuestión son epitermales tipo "Bonanza" o "Hot Spring".

## *Capitulo V*

## V.- Conclusiones y Recomendaciones.

En el área las rocas que alojan la mineralización son todas las andesitas de la Unidad Volcánica Intermedia, la cubierta sedimentaria y en ocasiones esporádicas la base de la Unidad Volcánica Acida. En el caso de la Unidad Sedimentaria las condiciones más atractivas a la recepción de la mineralización se dieron hacia su parte intermedia donde alternan calizas con lutitas carbonosas fisiles.

La oxidación y las guías fisiográficas han sido las únicas usadas por los lugareños en la localización de los cuerpos mineralizados, sin embargo existen otras guías que pudieran usarse en la prospección:

A.- Guías por Contactos: El contacto de los cuerpos dioríticos con las andesitas y con la cubierta sedimentaria, puede ser importante en la localización de bolsadas de mineral económico, ejemplo de lo anterior son las inmediaciones de la ranchería del Potrero de los López y la veta de San Josecito, respectivamente.

B.- Guías Litológicas: Las rocas que encajonan mineralización se presentan brechadas en las cercanías de los cuerpos mineralizados particularmente vetas y stockworks, así mismo algunas presentan ya sea al bajo y/o al alto brechas exóticas de caliza, lutita y andesita cementadas por cuarzo.

C.- Guías Mineralógicas: Los respaldos de todas las estructuras mineralizadas se encuentran fuertemente silicificados. Mientras que la propilitización es la alteración con mayor distribución espacial en torno a las estructuras mineralizadas.

El espesor de los cuerpos mineralizados tabulares, es muy variable oscilando entre unos cuantos centímetros y en ocasiones sobrepasando los 4 metros. Las leyes de oro varían entre cada estructura y aun dentro de un mismo cuerpo, pues los altos valores de oro registrados se encuentran o se han encontrado en forma de "clavos". Por otra parte se puede notar una marcada relación entre los contenidos de oro con la abundancia y el tamaño de la pirita, ya que generalmente cuando ésta es de grano más fino y su concentración es mayor, el contenido de oro se incrementa.

De acuerdo con el análisis estructural del fallamiento normal que disloca a los cuerpos mineralizados estudiados y a los resultados obtenidos con muestreo sistemático realizado en el interior de mina y en superficie, se pudieron distinguir zonas de prioridad en la explotación y la exploración.

A corto plazo los objetivos más viables son:

1.- Explotación de la veta de Palo Chino por debajo de su nivel

inferior conocido como Piso Rieles. Para ello la mencionada veta podría cortarse a través de la veta oxidada ubicada en la vertiente oriental del arroyo de la Purísima (frente a la mina El Salto), dicho crucero tendría un máximo de 90 m y sería a rumbo de la veta oxidada (N 10° E, 34° W).

2.- Desarrollo de un crucero en el tope del lado este de la Frente Intermedia de San Pablo, de aproximadamente 15 m con un rumbo entre 50 y 60° al suroeste con el fin de cortar nuevamente la veta, la cual está dislocada por una pequeña zona de falla de orientación promedio E-W y echado de 56° al sur.

3.- La veta de San José se encuentra prácticamente virgen, así mismo las leyes de oro registradas (entre 4 y 74 g/Ton) lo hacen el mejor objetivo de explotación a corto plazo. En función de la posición de dicha veta y la topografía del terreno donde aflora, lo más factible sería continuar en crucero proyectado (el cual ya está encapsillado) frente a la iglesia de la ranchería del Rosario, la longitud sería de un máximo de 85 m y además de esta veta cortará otras tres, una de ellas con una potencia cercana a los 2.3 m.

Los trabajos que podrían llevarse a largo plazo serían:

- 1.- Proyectar un tiro que corte la veta del Tepeguaje por debajo de los trabajos antiguos.
- 2.- Desarrollar un crucero de aproximadamente 185 m perpendicular al rumbo de la veta de los Hilos sobre la vertiente norte del arroyo de las Higueras 100 m antes de que se junte con el arroyo del Rosario, con el fin de cortar la veta por debajo de los trabajos antiguos. Otra opción para este objetivo sería que una vez cortada la veta de San José, se reorientara el crucero en dirección perpendicular a la veta primeramente mencionada.
- 3.- Exploración detallada de las áreas circundantes a las rancherías de las Higueras, Guisisarina y el Potrero de los López, en esta última zona poniendo especial atención en el contacto de las andesitas del Miembro Volcánico Intermedio Cinco y los intrusivos dioríticos, ya que aquí se presentan indicios de mineralización.
- 4.- Proyectar una barrenación de diamante para conocer la continuidad vertical de las estructuras en explotación, con el fin de calcular reservas, así como para conocer las variaciones de la mineralización a profundidad.
- 5.- Levantamiento geológico a detalle en la zona comprendida entre el arroyo del Díez y el cerro del Cedro, con el fin de elaborar una malla para barrenación de diamante, pues esta área presenta

condiciones geológicas favorables así como evidencias de la existencia de cuerpos mineralizados tanto en forma de filones como en mantos.

6.- Desagüe de las minas desarrolladas por Anglo-Mexicana Co. con objeto de valorizar la factibilidad de continuar la explotación.

El potencial minero del distrito en términos relativos, es halagador, sin embargo no se tiene conocimiento de la continuidad vertical de los cuerpos mineralizados, ni tampoco se sabe en términos prácticos, el comportamiento de la mineralización a profundidad. En este sentido la falta de exploración a profundidad restringe la estimación de reservas; esto implica que el verdadero potencial minero del distrito no se pueda precisar.

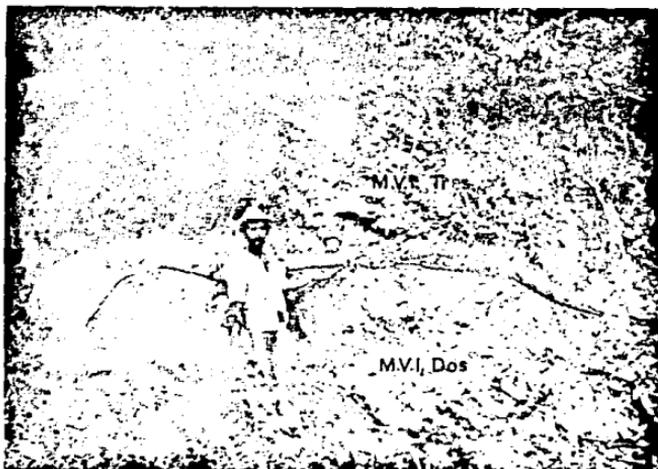
El aprovechamiento óptimo de los recursos que ofrece el distrito exige de una infraestructura mayor a la existente y de una exploración detallada fuera de la porción central del distrito, es decir en las zonas que al parecer permanecen vírgenes.

### Lista de Figuras

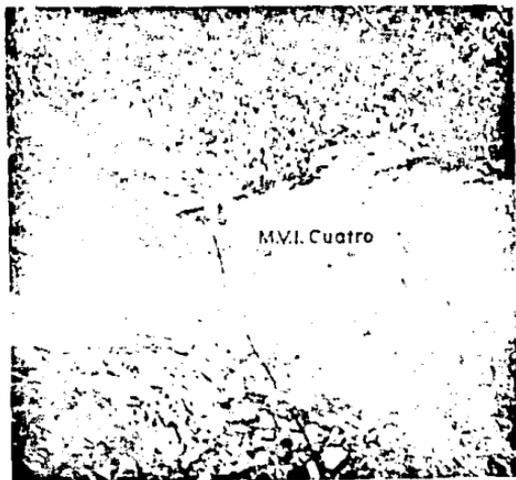
- 1.- Plano de localización y vías de acceso.
- 2.- Gráficas meteorológicas.
- 3.- Fisiografía del estado de Sinaloa.
- 4.- Distribución del magmatismo en la Sierra Madre Occidental.
- 5.- Sistemas de fallamiento y fracturamiento del Distrito Minero de San José de Gracia.
- 6.- Diagrama de fracturas (rocas sedimentarias).
- 6A.- Diagrama de fracturas (rocas ígneas).
- 7 y 7A.- Tectónica y paleogeografía.
- 8.- Distribución de vetas y stockworks en el Distrito Minero de San José de Gracia.

*Apéndice*

*Fotográfico*



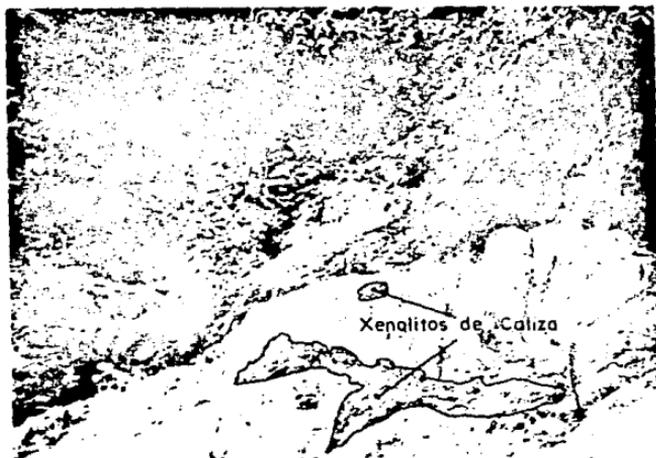
Fotografía No. 1.- Contacto discordante entre el MVI-2 y el MVI-3, en la vertiente oriental del arroyo de La Purísima.



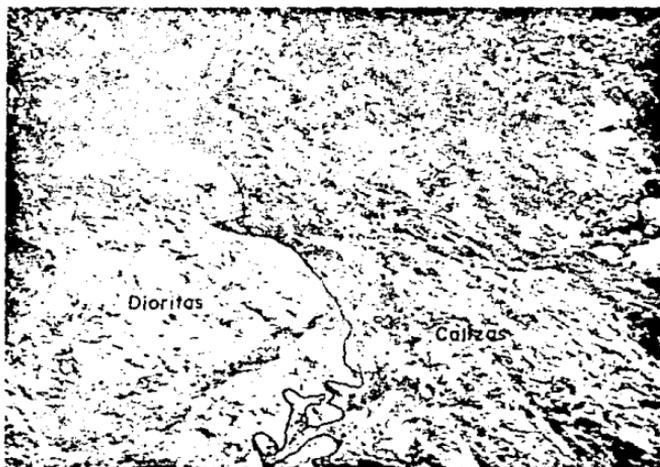
Fotografía No. 2.- Contacto discordante entre el MVI-3 y el MVI-4, en las inmediaciones de la rancharía del Rosario.



Fotografía No. 3.- Autolitos dentro de la diorita.



Fotografía No. 4.- Xenolitos de caliza dentro de la diorita.



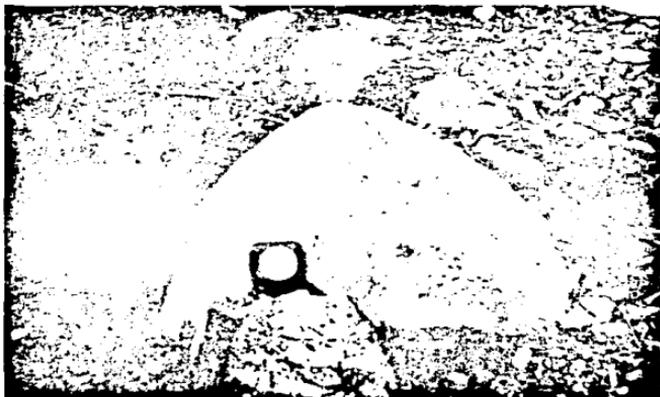
Fotografía No. 5. - En el contacto entre la Unidad Sedimentaria y las dioritas no existen halos metasomáticos.



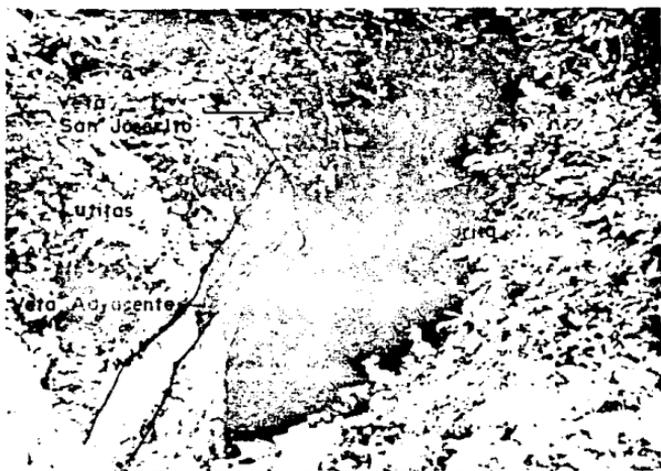
Fotografía No. 6. - Manto de diorita emplazado en el seno de la Unidad Sedimentaria.



Fotografía No. 7.- La falla del crestón de Piedras de Lumbre pone en contacto al HVI-4 y a la UVA, en las inmediaciones de la mina de San Pablo.



Fotografía No. 8.- Muestra de la brecha de calizas y lutitas emplazadas al alto del stockwork de Tres Amigos.



Fotografía No. 9.- La veta de San Josecito se encuentra ubicada en la vertiente norte del arroyo de Los Cochis y está emplazada en el contacto de la Unidad Sedimentaria con uno de los cuerpos dioríticos aflorantes en esa zona.

## BIBLIOGRAFIA

- Atwater, T. , 1970. Implications of plate tectonics for the Cenozoic tectonic evolution of western North America. Geol. Soc. American, Bull. V. 81. p. 3513-3536.
- Barceló, J. , 1988. Informe paleontológico, de muestras colectadas por los autores del presente trabajo, para Tesis de Licenciatura (Inédito). D. E. P. F. I. , U. N. A. M.
- Barnes, H. L. , 1979. Geochemistry of hidrotermal ore deposits. Willey Interscience Publications. New York.
- Best, M. G. , 1979. Igneous and Metamorphic petrology. W. H. Freeman & Co. New York.
- Buchanan, L. J. , 1981. Precious metals deposits associated with volcanic environments in the southwest. In: Tectonics to ore deposits in the southern California, Ariz. Geol. Soc. Digest, Vol.14, p. 237-262.
- Cárdenas, B. J. , 1975. Posibilidades mineras del distrito aurífero de San José de Gracia, estado de Sinaloa. V seminario sobre exploración geológica-minera. Consejo de Recursos Minerales, p. 245-283.
- Carrillo, M. , 1971. Geología de la hoja San José de Gracia, Estado de Sinaloa. Tesis profesional, Ingeniero Geólogo U. N. A. M.
- Clark, F. K. , Damon, E. P. , Shaffiqulla, M. , Schutter, S. , 1979. Magmatismo en el norte de México en relación a los yacimientos metalíferos. Revista Geomimet, Vol. 106, p. 8-37.
- Coney, P. M. , 1978. Mesozoic-Cenozoic cordilleran plate tectonics. Geol. Soc. American Mem. 152, p. 33-50.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

- Coney, P. M. and Reynolds, S. J. , 1977. Cordilleran Benioff zones. Nature vol. 270, p. 403-406.
- Damon, P. E. , Shaffiqulla, M. and Clark, F. K. , 1981. Age trends of igneous activity in relation to metallogenesis in southern cordillera. Ara. Geol. Soc. Digest. V. XIV. Tucson Arizona, p. 137-154.
- Desant, A. y Robin, G. , 1975. Las fases del vulcanismo en México. una síntesis en relación con la evolución geológica desde el Cretácico Tardío. Revista del Instituto de Geología U. N. A. M. , 75(1), p. 70-83.
- Drumond, S. E. and Ohmoto, H. , 1979. Effects of boiling on mineral solubilities on hidrothermal solutions. Geol. Soc. of Am. 92nd Ann.
- Félix, J. M. y Castro, R. , 1980. Estudio geológico minero preliminar sobre algunas minas del distrito aurífero de San José de Gracia, Municipio de Sinaloa de Leyva, estado de Sinaloa. C. R. M. Residencia Sinaloa, p. 65.
- Fernández, T. R. , 1987. Estudio geológico del área "El Fuerte-Las Estacas" estados de Sonora y Sinaloa. Tesis profesional, Ing. Geólogo U. N. A. M.
- García, E. , 1964. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, Mex. ,D. F.
- Gastil, R. G. , Jensky, V. and Barthelmy. , 1976. La Zona Batolítica del Sur de California y el Occidente de México. Bol. Soc. Geol. Mexicana. V. 37, p. 84-90.
- Gutiérrez, M. I. , 1986. Estudio Metalogenético del Estado de Sinaloa. Tesis profesional. Ing. Geólogo. U. N. A. M.

- Malpica, C. R. , 1972. Rocas marinas del Paleozoico Tardío en el área de San José de Gracia, Sinaloa. (Abs): Soc. Geol. Mex. Memoria 2, p. 174-175.
- Mc Dowell, F. W. and Clabaugh, M. , 1979. Ignimbrites of the Sierra Madre Occidental and their relations to the tectonic history of western México. Geol. Soc. Am. Bull. ; special paper 180, p.113-124.
- Mc Dowell, F. W. and Clabaugh, M. , 1981. The igneous history of the Sierra Madre Occidental to tectonic evolution of western México. Revista del Instituto de Geología. Vol. 5. Num. 2. U. N. A. M. , p. 195-206.
- Mc Kinstry, H. , 1977. Geología de Minas. Ed. Omega. Barcelona, España. p. 671.
- Pettijohn, E. J. , 1975. Sedimentary rocks. Ed. Harper & Row, publications. 3rd. edition. New York.
- Ragan, D. M. , 1980. Geología Estructural. Ed. Omega. Barcelona España.
- Ramsay, J. G. , 1977. Plegamiento y Fracturación de Rocas. Ed. H. Blume. Madrid, España. p. 590
- Rize, E. , 1959. Land Forms of México. Cambridge Mass. Geographyc Branch of Office of Naval Reseach.
- Rodríguez, T. R. y Córdova, A. D. , 1978. Distrito Minero de San José de Gracia. Atlas Geológico y Evaluación Minera del Estado de Sinaloa. Instituto de Geología U. N. A. M. , p. 149-158.
- Stanton, R. L. , 1972. Ore Petrology. Ed. Mc Graw-Hill. U. S. A. p. 713.